

UNIVERSITÉ DE LILLE

ÉCOLE DOCTORALE SCIENCES ÉCONOMIQUES, SOCIALES, DE L'AMÉNAGEMENT ET
DU MANAGEMENT (ED N° 73)

LABORATOIRE LILLE ÉCONOMIE ET MANAGEMENT LEM UMR-CNRS 9221

Frontière de coût stochastique et performance des hôpitaux Québécois

Thèse préparée pour obtenir le grade de Docteur en Sciences Économiques par

Thomas BLAVET

Sous la direction de :

Stéphane Vigeant, Professeur à l'Université de Lille, Directeur de thèse

Pierre Ouellette, Professeur à l'Université du Québec à Montréal, Co-directeur de thèse

Soutenue publiquement le 27/01/2021 :

devant le jury composé de :

Stéphane Blancard, Professeur, Agrosup Dijon

Clémentine Garrouste, Maître de conférences, Université Paris-Dauphine, *Rapporteur*

Hervé Leleu, Directeur de recherche CNRS, Professeur, IÉSEG School of Management

Pierre Mohnen, Professeur, Université de Maastricht, *Rapporteur*

Anne-Laure Samson, Professeur, Université de Lille, *Présidente de jury*

Stéphane Vigeant, Professeur, Université de Lille, *Directeur de thèse*

L'Université de Lille n'entend donner aucune approbation ni improbation aux opinions émises dans les thèses. Ces opinions doivent être considérées comme propres à leurs auteurs.

Remerciements

Je tiens tout d'abord à remercier mon directeur de thèse, le professeur Stéphane Vigeant d'avoir accepté de m'encadrer pendant ces années et de m'avoir transmis une partie de ses connaissances. J'ai apprécié travailler et apprendre à ses côtés, je garderai en mémoire les nombreux points thèses que nous avons réalisés où nous discutons de mes travaux de recherche mais c'était surtout l'occasion de discuter de tous les sujets, à la fois les sujets économiques, politiques mais aussi viticoles. J'ai découvert une personne sympathique avec beaucoup de compassions dans les moments que j'ai dû traverser. Je remercie également mon codirecteur de thèse, le professeur Pierre Ouellette pour son accueil chaleureux lors de mon séjour de recherche à Montréal mais également pour ses conseils dans la réalisation de ma contribution théorique. Je tiens également à le remercier de m'avoir confié la base de données sur les hôpitaux Québécois qui m'a permis d'avoir un chapitre empirique d'un grand intérêt.

Je souhaite remercier les membres de mon jury, Monsieur Stéphane Blancard, Madame Clémentine Garrouste, Monsieur Hervé Leleu, Monsieur Pierre Mohnen et Madame Anne-Laure Samson d'avoir accepté d'évaluer mes travaux de recherches doctorales.

Je voudrais également remercier l'ensemble des enseignants-chercheurs du LEM pour leurs remarques constructives dans le cadre des séminaires internes mais également leurs bienveillances et sympathies. Je pense en particulier à Fabrice Gilles avec qui j'ai eu le plaisir durant deux années d'être coorganisateur du séminaire du LEM de l'axe Marchés, Organisa-

tions, Finances et de l'axe Analyse de la Décision Publique. Bien évidemment, mes pensées vont également à l'ensemble des doctorants de la « ruche » notamment Laura et Hancito qui ont toujours été présents pour échanger et me conseiller dans mes travaux de recherche.

Je tiens à remercier mon amie Anne-Claire, son amitié sans faille m'a accompagné durant ma thèse. J'ai toujours trouvé auprès d'elle une oreille attentive lorsque j'avais des craintes sur la poursuite de ma thèse. Elle a toujours été de bons conseils lorsque je cherchais une solution à un problème.

Enfin, je voudrais remercier chaleureusement mes parents qui grâce à leur soutien durant mes études m'ont permis aujourd'hui de soutenir cette thèse. Je pense à mère qui m'a épaulé et a fait preuve de patience durant mes années en thèse et je pense à mon père qui nous a quitté au début de ma deuxième année de thèse et qui était si fier de me voir faire un doctorat. Il m'a fait promettre au début de sa maladie de poursuivre en doctorat ... C'est grâce à lui que j'ai su trouver la force d'arriver au bout de mes recherches.

Table des matières

Remerciements	i
Liste des figures	x
Liste des tableaux	xii
Liste des abréviations	xiii
Introduction	1
1 Chapitre théorique sur la mesure de l'efficacité de la production. Du coût observé au coût minimal : l'identification d'une décomposition en inefficacité technique et allocative	7
1.1 Introduction	8
1.2 La technologie de production et les indicateurs technologiques	12
1.2.1 Représentation de la technologie de production	12
1.2.2 Rendements d'échelle	14
1.2.3 Élasticité de substitution	16
1.2.4 Progrès technique	18
1.3 Dualité entre la fonction de transformation et la fonction de coût	19
1.4 Contribution à la mesure de l'inefficacité : nouvelle décomposition de l'inefficacité de coût	25

1.5	Mise en évidence des problèmes d'endogénéité et présentation de la stratégie d'estimation	35
	Conclusion	39
2	Présentation du système de santé et de la base de données sur les hôpitaux Québécois	41
2.1	Introduction	42
2.2	Présentation du système de santé Québécois	42
2.2.1	La mise en place du système de santé	43
2.2.2	Missions du Ministère de la Santé et des Services Sociaux (MSSS) et des différents établissements de santé	43
2.2.3	Modes de financement des hôpitaux	48
2.3	Présentation des différents facteurs de production : inputs variables	50
2.3.1	La quantité de travail	50
2.3.2	La quantité de médicaments	51
2.3.3	La quantité de nourriture	51
2.3.4	La quantité de fournitures	52
2.3.5	La quantité d'énergie	52
2.3.6	La quantité d'autres inputs	52
2.4	Présentation des différents facteurs de production : inputs quasi-fixes	53
2.4.1	La quantité de médecins	53
2.4.2	Le stock d'équipement	53
2.4.3	La superficie des bâtiments	54
2.5	Présentation des différents services de santé : outputs	54
2.5.1	Les patients hospitalisés	54
2.5.2	Les services ambulatoires	55
2.5.3	Les services de laboratoire	55
2.5.4	Les services de restauration et de blanchisserie	55

2.5.5	Le nombre de résidents	56
2.6	Hétérogénéité entre les établissements hospitaliers	58
2.6.1	Municipalité Régionale de Comté	58
2.6.2	Coordonnées géographiques et éloignement par rapport au CHUM	58
	Conclusion	61
3	Chapitre méthodologique. Estimation de l'inefficacité technique et allocative à l'aide du système de demandes conditionnelles de facteurs de production	64
3.1	Introduction	65
3.2	Les frontières stochastiques : distinction entre l'hétérogénéité et l'inefficacité	68
3.2.1	Hétérogénéité sous la forme d'effet aléatoire	70
3.2.2	Hétérogénéité sous la forme d'effet fixe	72
3.3	Estimation de l'inefficacité technique et allocative à l'aide du système de demandes conditionnelles de facteurs de production	73
3.3.1	Présentation du système avec la prise en compte de l'hétérogénéité	74
3.3.2	Estimation du système d'équations apparemment indépendantes en trois étapes	76
3.3.2.1	Première étape : estimation du SUR par la méthode des moments généralisée	76
3.3.2.2	Deuxième étape : estimation de l'inefficacité technique variante dans le temps.	81
3.3.2.3	Troisième étape : estimation des résidus de la deuxième étape sous la forme d'un système d'équations apparemment indépendantes	83
	Conclusion	90
4	Chapitre empirique. Estimation de l'inefficacité technique et allocative à	

l'aide du système de demandes conditionnelles de facteurs de production :	
une application aux hôpitaux Québécois	92
4.1 Introduction	93
4.2 Estimation de la technologie de production : 1ère étape	93
4.2.1 Un peu de théorie	93
4.2.2 Recherche du meilleur ensemble d'instruments	96
4.2.3 Estimation de la technologie de production des hôpitaux Québécois	98
4.3 Estimation de l'inefficacité technique variante dans le temps : 2ème étape	106
4.3.1 Construction des variables à expliquer	106
4.3.2 Interprétation des résultats	106
4.3.2.1 Évolution de la moyenne de l'efficacité technique sur l'en-	
semble des hôpitaux	107
4.3.2.2 Évolution de la moyenne de l'efficacité technique sur les hô-	
pitaux de moins de 20.000 mètres carrés	110
4.3.2.3 Évolution de la moyenne de l'efficacité technique sur les hô-	
pitaux compris entre 20.000 et 40.000 mètres carrés	111
4.3.2.4 Évolution de la moyenne de l'efficacité technique sur les hô-	
pitaux de moins de 40.000 mètres carrés	112
4.3.2.5 Évolution de la moyenne de l'efficacité technique sur les hô-	
pitaux de plus de 40.000 mètres carrés	113
4.4 Estimation des matrices de variances-covariances des effets aléatoires : 3ème	
étape	115
4.4.1 Interprétation des matrices de variances-covariances	115
4.4.1.1 Matrice de variances-covariances de l'effet individuel aléa-	
toire : hétérogénéité	116
4.4.1.2 Matrice de variances-covariances de l'effet temporel aléatoire	117
4.4.1.3 Matrice de variances-covariances de l'inefficacité allocative	118

4.4.2	Présentation des résultats de la prise en compte de l'hétérogénéité par la distance par rapport au Centre Hospitalier de l'Université de Montréal (CHUM)	119
4.4.2.1	Hôpitaux de moins de 20.000 mètres carrés	119
4.4.2.2	Hôpitaux entre 20.000 et 40.000 mètres carrés	121
4.4.2.3	Hôpitaux entre 40.000 et 100.000 mètres carrés	122
4.4.2.4	Hôpitaux de plus de 100.000 mètres carrés	123
4.4.3	Présentation des résultats de la prise en compte de l'hétérogénéité par la distance par rapport au Centre Hospitalier de l'Université de Montréal et par la région sociosanitaire	124
4.5	Préconisations de politiques de santé à réaliser	130
	Conclusion	132
	Conclusion générale	133
	Annexes	136
A	Annexes du chapitre théorique	137
A.1	Résolution du problème de minimisation du coût sans inefficacité	138
A.2	Résolution du problème de minimisation du coût avec de l'inefficacité technique et allocative	142
B	Annexes du chapitre méthodologique	145
B.1	Démonstration : Platoni et al. (2012)	145
C	Annexes du chapitre empirique	149
C.1	Résultats d'estimation du système de demandes conditionnelles de facteurs de production variables par la méthode des moments généralisée	149
C.1.1	Équation de la demande de travail	149
C.1.2	Équation de la demande de médicaments	154

C.1.3	Équation de la demande de nourriture	159
C.1.4	Équation de la demande de fournitures	164
C.1.5	Équation de la demande d'énergie	169
C.2	Représentations graphiques de la relation entre la superficie des hôpitaux et l'efficacité technique de 1982 à 2009	174
C.3	Moyenne de l'efficacité technique par année et par superficie des hôpitaux .	180
C.3.1	Moyenne de l'efficacité technique par année pour les hôpitaux de moins de 20.000 mètres carrés	180
C.3.2	Moyenne de l'efficacité technique par année pour les hôpitaux compris entre 20.000 et 40.000 mètres carrés	181
C.3.3	Moyenne de l'efficacité technique par année pour les hôpitaux de moins de 40.000 mètres carrés	182
C.3.4	Moyenne de l'efficacité technique par année pour les hôpitaux de plus de 40.000 mètres carrés	183
C.3.5	Moyenne de l'efficacité technique par année pour l'ensemble des hôpitaux	184
C.4	Résultats de la troisième étape d'estimation : Estimation de l'effet de la distance par rapport au Centre Hospitalier de l'Université de Montréal	185
C.4.1	Hôpitaux de moins de 20.000 mètres carrés	185
C.4.2	Hôpitaux entre 20.000 et 40.000 mètres carrés	187
C.4.3	Hôpitaux entre 40.000 et 100.000 mètres carrés	189
C.4.4	Hôpitaux de plus de 100.000 mètres carrés	191
	Bibliographie	193

Table des figures

1.1	Décomposition de l'inefficacité de coût	28
1.2	Décomposition de l'inefficacité technique et de l'inefficacité allocative	31
2.1	Localisation des régions sociosanitaires du Québec	45
2.2	Différents climats au Québec, Classification de Köppen-Geiger	62
4.1	Évolution de la moyenne de l'efficacité technique par année d'étude : ensemble des hôpitaux	107
4.2	Relation entre la superficie des hôpitaux et l'efficacité technique : 1990	109
4.3	Évolution de la moyenne de l'efficacité technique par année d'étude : hôpitaux de moins de 20.000 mètres carrés	111
4.4	Évolution de la moyenne de l'efficacité technique par année d'étude : hôpitaux compris entre 20.000 et 40.000 mètres carrés	112
4.5	Évolution de la moyenne de l'efficacité technique par année d'étude : hôpitaux de moins de 40.000 mètres carrés	113
4.6	Évolution de la moyenne de l'efficacité technique par année d'étude : hôpitaux de plus de 40.000 mètres carrés	114
C.1	Relation entre la superficie des hôpitaux et l'efficacité technique : 1982 à 1987	175
C.2	Relation entre la superficie des hôpitaux et l'efficacité technique : 1988 à 1993	176
C.3	Relation entre la superficie des hôpitaux et l'efficacité technique : 1994 à 1999	177
C.4	Relation entre la superficie des hôpitaux et l'efficacité technique : 2000 à 2005	178

C.5 Relation entre la superficie des hôpitaux et l'efficacité technique : 2000 à 2005 178

C.6 Relation entre la superficie des hôpitaux et l'efficacité technique : 2006 à 2009 179

Liste des tableaux

2.1	Nom des régions sociosanitaires du Québec	44
2.2	Statistiques Descriptives (2,892 Observations)	57
2.3	Nombre d'hôpitaux par Municipalité Régionale de Comté	59
4.1	Recherche valeur Lambda : Transformation Box-Cox	97
4.2	Abréviations utilisées dans les tableaux de résultats	100
4.3	Estimation du système de demandes de facteurs de production variables par la méthode des moments généralisée : logarithme de la quantité de travail . .	101
4.4	Estimation du système de demandes de facteurs de production variables par la méthode des moments généralisée : logarithme de la quantité de médicaments	102
4.5	Estimation du système de demandes de facteurs de production variables par la méthode des moments généralisée : logarithme de la quantité de nourriture	103
4.6	Estimation du système de demandes de facteurs de production variables par la méthode des moments généralisée : logarithme de la quantité de fournitures	104
4.7	Estimation du système de demandes de facteurs de production variables par la méthode des moments généralisée : logarithme de la quantité d'énergie . .	105
4.8	Moyenne de l'efficacité technique par année : ensemble des hôpitaux	108
4.9	Estimation de l'effet de la distance par rapport au Centre Hospitalier de l'Uni- versité de Montréal	120
4.10	Estimation de l'effet de la distance par rapport au Centre Hospitalier de l'Uni- versité de Montréal et de la région sociosanitaire	125

4.11 Moyenne de l'efficacité technique par région sociosanitaire et par taille des hôpitaux	131
C.1 Résultats d'estimation : logarithme de la quantité de travail	149
C.2 Résultats d'estimation : logarithme de la quantité de médicaments	154
C.3 Résultats d'estimation : logarithme de la quantité de nourriture	159
C.4 Résultats d'estimation : logarithme de la quantité de fournitures	164
C.5 Résultats d'estimation : logarithme de la quantité d'énergie	169
C.6 Moyenne de l'efficacité technique par année : hôpitaux de moins de 20.000 mètres carrés	180
C.7 Moyenne de l'efficacité technique par année : hôpitaux compris entre 20.000 et 40.000 mètres carrés	181
C.8 Moyenne de l'efficacité technique par année : hôpitaux de moins de 40.000 mètres carrés	182
C.9 Moyenne de l'efficacité technique par année : hôpitaux de plus de 40.000 mètres carrés	183
C.10 Moyenne de l'efficacité technique par année : ensemble des hôpitaux	184
C.11 Troisième étape d'estimation : hôpitaux de moins de 20.000 mètres carrés	185
C.12 Troisième étape d'estimation : hôpitaux entre 20.000 et 40.000 mètres carrés	187
C.13 Troisième étape d'estimation : hôpitaux entre 40.000 et 100.000 mètres carrés	189
C.14 Troisième étape d'estimation : hôpitaux de plus de 100.000 mètres carrés	191

Liste des abréviations

AES : Élasticité de Substitution d'Allen

CH : Centre Hospitalier

CHPSY : Centre Hospitalier de Soins Psychiatriques

CHSGS : Centre Hospitalier de Soins Généraux et Spécialisés

CHSLD : Centre d'Hébergement et de Soins de Longue Durée

CHU : Centre Hospitalier Universitaire

CHUM : Centre Hospitalier de l'Université de Montréal

CISSS : Centre Intégrés de Santé et de Services Sociaux

CIUSSS : Centre Intégrés Universitaires de Santé et de Services Sociaux

CLSC : Centre Local de Services Communautaires

CPEJ : Centre de Protection de l'Enfance et de la Jeunesse

CR : Centre de Réadaptation

CSN : *Closed-Skew Normal*

CSSS : Centre de Santé et de Services Sociaux

DEA : *Data Envelopment Analysis*

DMU : *Decision Making Units*

FDH : *Free Disposal Hull*

HES : Élasticité de Substitution de Hicks

LIML : *Limited Information Maximum Likelihood*

MCG : Moindres Carrés Généralisés

MCO : Moindres Carrés Ordinaires

MMG : Méthode des Moments Généralisée

MRC : Municipalité Régionale de Comté

MSSS : Ministère de la Santé et des Services Sociaux

OCDE : Organisation de Coopération et de Développement Économiques

OMS : Organisation Mondiale de la Santé

PIB : Produit Intérieur Brut

RAMQ : Régie de l'Assurance Maladie du Québec

RS : Région Sociosanitaire

SFA : *Stochastic Frontier Analysis*

SUR : *Seemingly Unrelated Regressions*

2SLS : *Two-Stage Least Squares*

Introduction

Depuis plusieurs décennies, nous assistons dans la province Canadienne du Québec à une forte croissance des dépenses de santé. Le budget consacré aux dépenses du Ministère de la Santé de la Santé et des Services Sociaux (MSSS) a atteint 23,9 milliards de dollars canadiens en 2008 ce qui représente 44,3 % du budget Québécois alors qu'à titre de comparaison, le budget consacré aux dépenses du MSSS représentait 30,6 % du budget Québécois en 1981. Entre les années budgétaires 2002-2003 et 2007-2008, le Québec a connu une augmentation des dépenses publiques de santé représentant près de six milliards de dollars dont 85 % sont imputables aux soins assurés par les établissements de santé et de services sociaux pour un montant de 3,6 milliards de dollars, aux services médicaux pour un montant de près de 850 millions de dollars et aux services pharmaceutiques et aux médicaments pour un montant de plus de 650 millions de dollars. Les centres hospitaliers sont donc responsables de plus de 60 % de la croissance totale des dépenses de santé sur cette période (Castonguay 2008). Cette croissance des dépenses de santé est plus importante que la croissance des richesses nationales ce qui pose des tensions pour le financement des autres missions du gouvernement du Québec en particulier l'éducation, la culture mais également l'économie. Depuis 1998, le Produit Intérieur Brut (PIB) a augmenté en moyenne de 4,8 % par an tandis que les dépenses de santé et de services sociaux ont augmenté en moyenne de 6,4 % par an mettant en évidence que la marge financière dont le gouvernement du Québec dispose pour financer les autres missions se réduit.

Selon le rapport de la commission Castonguay (2008) qui a été utilisé pour cette présentation des dépenses de santé dans la province du Québec, la pression sur les dépenses publiques de santé risque de continuer pour plusieurs raisons. Nous avons un développement rapide de nouvelles technologies et de nouveaux médicaments qui sont onéreux. Les hausses salariales de la profession médicale dans les années 2010 auront un impact sur les coûts de la santé. Le vieillissement de la population augmente et contribue à augmenter la demande de soins de santé. Les changements démographiques vont se répercuter sur les types de services médicaux requis et donc sur les coûts de la santé. Selon l'Institut de la Statistique du Québec, nous connaissons une croissance de la proportion de personnes âgées de plus de 65 ans et de plus de 75 ans dans les décennies à venir alors même que c'est cette population qui est la plus coûteuse en terme de dépenses de santé. En 2008, la proportion de personnes âgées de 65 ans et plus représentait 14,7 % de la population totale du Québec, en 2038 selon les prévisions de l'Institut de la Statistique du Québec cette proportion de personnes âgées de 65 ans et plus avoisinera 28 % de la population totale du Québec. En 2004, les dépenses de santé pour une personne âgée de 45 à 64 ans s'élevaient à 2006 dollars alors que pour une personne âgée de 65 à 74 ans elles s'élevaient à 5761 dollars et à 10221 dollars pour une personne âgée de 75 à 84 ans. Les dépenses publiques de santé sont donc destinées à s'accroître pour les raisons décrites précédemment. Par conséquent, nous cherchons dans cette thèse à contribuer à la compréhension du mécanisme expliquant cette augmentation des dépenses des hôpitaux. En particulier, nous nous intéresserons à la mesure de l'efficacité et à la décomposition entre l'inefficacité technique et l'inefficacité d'allocation des facteurs de production variables étant donné les prix des facteurs.

L'objectif de la thèse pourrait se résumer à cette phrase de l'Organisation de Coopération et de Développement Economiques (OCDE) : « À long terme, accroître l'efficacité des systèmes de santé est peut-être le seul moyen de concilier l'augmentation de la demande de soins et les contraintes du financement public » (OCDE, 2004).

Il est donc important d'estimer correctement l'efficacité des hôpitaux dans la fourniture des soins de santé au coût le plus faible pour les contribuables. En améliorant les mesures d'efficacité des établissements de santé, nous pourrions faire des recommandations de politiques à mener plus précises pour permettre de concilier la demande de soins de la population et les finances publiques servant au financement des autres missions. Nous contribuerons dans cette thèse à la mesure de l'efficacité à travers la décomposition de l'inefficacité technique et de l'inefficacité allocative en contrôlant l'hétérogénéité des établissements hospitaliers. L'identification de ces deux types d'inefficacités permettra de voir la responsabilité des différents intervenants dans l'explication d'un coût de production des soins plus élevé que ce qui est technologiquement possible. L'inefficacité technique est la responsabilité des directeurs des hôpitaux alors qu'une partie de l'inefficacité allocative est expliquée par le ministère de la santé à travers la fixation des facteurs de production quasi-fixes obligeant les directeurs des hôpitaux à engager certaines dépenses. Par exemple, lorsque le ministère de la santé attribue un chirurgien à un hôpital, il faudra que le directeur de cet hôpital mette en place une surface dans l'hôpital pour l'équipement d'une salle d'opération, embauche du personnel médical, des techniciens de surface pour le nettoyage et la désinfection, des fournitures médicales pour le fonctionnement du bloc opératoire peu importe le nombre d'opérations à réaliser. Ainsi, une partie de l'inefficacité allocative est imputée à de mauvaises décisions gouvernementales dans la fixation des facteurs de production quasi-fixes notamment par l'affectation des médecins et l'investissement qui est réalisé. Nous proposons également de prendre en compte l'hétérogénéité entre les hôpitaux de manière à estimer correctement l'efficacité en prenant en compte les éléments non contrôlables par les gestionnaires comme la démographie ou les revenus différents selon la population à traiter.

Dans le premier chapitre de la thèse, nous allons nous intéresser à la mesure de l'inefficacité en terme de coût et en particulier à la décomposition entre le surplus de coût qui est dû à l'inefficacité technique et le surplus de coût qui est dû à l'inefficacité allocative. Pour

estimer le surplus de coût qui est dû à l'inefficacité, nous recourons traditionnellement à l'estimation d'une fonction de coût stochastique conjointement au système de parts de coût. Il est apparu dans la littérature une difficulté pour estimer la décomposition de l'inefficacité entre l'inefficacité technique s'expliquant par le fait que l'entreprise utilise une quantité de facteurs de production trop importante et l'inefficacité allocative qui s'explique par le fait que l'entreprise utilise une mauvaise combinaison de facteurs de production étant donné les prix des facteurs de production. Ce problème porte le nom de problème de Greene car le problème a été révélé par Greene (1980) en soulevant le fait qu'une hypothèse nécessaire à l'estimation de la fonction de coût conjointement au système de parts est trop forte car nous devons supposer que le surplus de coût dû à l'inefficacité allocative est indépendant de l'inefficacité allocative se répercutant dans chacune des équations de parts de coût. Nous développerons dans ce chapitre un modèle économique permettant d'expliquer la différence entre le coût observé et le coût minimum de production en identifiant une décomposition entre l'inefficacité technique et l'inefficacité allocative. Nous introduirons à l'intérieur même de la fonction de transformation caractérisant la technologie de production les problèmes d'inefficacité. En résolvant le problème de minimisation du coût sous la contrainte de la technologie de production définie par la fonction de transformation, nous verrons la décomposition entre le surplus de coût dû à l'inefficacité technique et allocative dans la fonction de coût et le lien existant entre l'inefficacité allocative dans la fonction de coût et l'inefficacité allocative dans les équations de parts. Ce modèle répond donc au problème de Greene (1980) car le modèle met en évidence une relation exacte entre le surplus de coût dû à la mauvaise allocation dans les facteurs de production et les erreurs dans les équations de parts de coût. Notre modèle généralise les cas particuliers de plusieurs modèles utilisés dans la littérature selon la nature additive ou multiplicative des erreurs.

Dans le deuxième chapitre de la thèse, nous présenterons succinctement le système de santé Québécois de sa mise en place à la suite de la Révolution Tranquille qui débute dans

les années 1960 jusqu'aux années 1970. Nous présenterons également les missions actuelles du Ministère de la Santé et des Services Sociaux et la responsabilité des différents établissements de santé et de services sociaux intervenant dans la fourniture de soins de santé à la population. Nous présenterons ensuite la base de données utilisée dans le chapitre empirique de la thèse, cette base provient de Binet et al. (2020). Cette base de données contient l'ensemble des hôpitaux Québécois pour la période allant de 1981 à 2009 et inclut les quantités de facteurs de production utilisés par les hôpitaux et chaque quantité de soins de santé réalisés. Les données sur les finances des hôpitaux et sur les services réalisés par les hôpitaux proviennent du Ministère de la Santé et des Services Sociaux à travers les rapports financiers AS471 et les rapports statistiques AS477 que les hôpitaux doivent remplir annuellement. Les données sur les salaires des équipes médicales proviennent de la Régie de l'Assurance Maladie du Québec tandis que les indices de prix utilisés proviennent de Statistique Canada.

Dans le troisième chapitre de la thèse, nous nous intéresserons à l'estimation de l'inefficacité technique et allocative à l'aide du système de demandes conditionnelles de facteurs de production variables qui est une représentation de la technologie de production duale à la fonction de coût. Dans le chapitre théorique, nous verrons qu'il est difficile d'estimer la fonction de coût conjointement au système de parts de coût compte tenu de la non-linéarité du terme aléatoire inhérent à la décomposition de l'inefficacité que nous proposons. Nous développerons dans ce chapitre une méthode d'estimation en trois étapes. La première étape consiste à prendre en compte l'endogénéité entre les régresseurs et les éléments d'inefficacité et d'hétérogénéité contenus dans le terme aléatoire. Pour estimer le système de demandes conditionnelles de facteurs de production variables qui est un système d'équations apparemment indépendantes, nous proposons d'utiliser la Méthode des Moments Généralisée (MMG). La deuxième étape consiste à estimer l'inefficacité technique variante dans le temps en adaptant la méthodologie développée par Cornwell et al. (1990) applicable dans le cadre d'une frontière de production ou de coût stochastique pour la rendre opérationnelle lors de l'es-

timation d'un système de plusieurs équations. À cette étape d'estimation, nous utiliserons comme variable à expliquer la somme des résidus et des effets fixes des différentes entreprises issus de l'estimation du système d'équations apparemment indépendantes par la méthode des moments généralisée. La troisième et dernière étape de notre méthodologie va consister à utiliser la méthodologie de Biorn (2004) reprise par Platoni et al. (2012) pour estimer un système d'équations apparemment indépendantes en prenant en compte le caractère non cylindré d'un panel et en prenant en compte à la fois un effet individuel aléatoire et un effet temporel aléatoire. La mise en œuvre de la méthodologie de Platoni et al. (2012) nous permettra d'estimer la matrice de variances-covariances de l'inefficacité allocative, de l'effet individuel aléatoire et de l'effet temporel aléatoire.

Dans le quatrième et dernier chapitre de la thèse, nous estimerons le système de demandes conditionnelles de facteurs de production variables avec notre méthode d'estimation à trois étapes sur la base de données des hôpitaux Québécois. Ce chapitre nous permettra de caractériser la technologie de production des hôpitaux Québécois et d'analyser l'efficacité des institutions hospitalières. À la suite de l'adaptation de la méthodologie de Cornwell et al. (1990) pour la rendre opérationnelle dans le cadre d'un système, nous comparerons le niveau d'efficacité technique atteint par chacun des hôpitaux en classant les hôpitaux par rapport à l'hôpital le plus efficace pour une année donnée. Nous verrons qu'il existe un lien entre le niveau d'efficacité technique atteint et la superficie des hôpitaux en terme de mètres carrés. Les hôpitaux de moyenne et de grande taille atteignent un niveau d'efficacité technique plus faible que les hôpitaux de petite taille. Nous terminerons ce chapitre en préconisant des politiques de santé au gouvernement du Québec pour permettre de contrôler la progression des dépenses de santé expliquée par le secteur hospitalier Québécois.

Chapitre 1

Chapitre théorique sur la mesure de l'efficacité de la production. Du coût observé au coût minimal : l'identification d'une décomposition en inefficacité technique et allocative

1.1 Introduction

Dans ce chapitre, nous développerons un modèle économique permettant d'analyser l'efficacité de la production. Ce modèle sera dans la suite de la thèse appliqué à la production des soins de santé par les hôpitaux Québécois. Les hôpitaux produisent de nombreux soins et services de santé en utilisant de nombreux facteurs de production. Certains facteurs de production sont sous le contrôle de la direction des hôpitaux alors que d'autres facteurs de production ne le sont pas. Par conséquent, nous devons faire la distinction entre les facteurs de production variables et les facteurs de production quasi-fixes. Les hôpitaux fournissent un service public sans contrainte de marché contraignant à l'efficacité dans la production des soins et services de santé, par conséquent, nous devons prendre en compte le fait que les hôpitaux peuvent fournir ces soins d'une façon non efficace.

Dans la littérature sur la mesure de l'efficacité de la production, nous avons d'une part les méthodes non paramétriques tel que les méthodes d'enveloppement de données (DEA, FDH) et d'autre part les méthodes paramétriques (SFA, Aigner et Chu). Nous nous sommes intéressés dans ce chapitre à l'utilisation des méthodes paramétriques et aux améliorations des frontières de production et de coût stochastiques depuis le développement par deux articles publiés simultanément, Meeusen et Van Den Broeck (1977) et Aigner, Lovell et Schmidt (1977). Depuis ces deux articles précurseurs, de nombreux articles ont été publiés en proposant des nouvelles lois de probabilité et en proposant des formes fonctionnelles différentes de la Cobb-Douglas. Ces méthodes de frontières stochastiques ont été développées tant pour les frontières de production, les frontières de revenu mais également les frontières de coût. Nous nous sommes intéressés aux frontières de coût stochastiques et en particulier à la décomposition de l'inefficacité.

L'estimation et la décomposition de l'efficacité en terme de coût de production ont été étudiées par de nombreux articles, en revanche, il est apparu dans la littérature une diffi-

culté économétrique de la décomposition de l'inefficacité de coût entre l'inefficacité technique et l'inefficacité allocative notamment lorsque vient le temps d'estimer la fonction de coût stochastique conjointement au système de parts nous permettant d'augmenter le nombre de degrés de liberté du modèle à estimer et ainsi obtenir des paramètres estimés plus efficaces. Concrètement, le modèle traditionnellement estimé dans la littérature sur les frontières stochastiques est le suivant :

$$\begin{aligned} \ln D_i &= \ln C(y_i, w_i; \beta) + \nu_i + u_i, \quad i = 1, \dots, N \\ S_{gi} &= S_{gi}(y_i, w_i; \beta) + \eta_{gi}, \quad g = 2, \dots, G \end{aligned}$$

Avec les hypothèses de distribution suivantes :

$$\begin{aligned} (i) \nu_i &\sim iidN(0, \sigma_\nu^2) \\ (ii) u_i &\sim iidN(0, \sigma_u^2) \\ (iii) \eta_{gi} &\sim N(0, \Sigma) \\ (iv) \nu_i \text{ et } u_i &\text{ sont indépendants l'un de l'autre et des éléments de } \eta_{gi} \end{aligned}$$

$\ln D_i$ représente le logarithme de la dépense totale du producteur i tandis que S_{gi} représente la part dans la dépense totale du facteur de production variable g pour le producteur i . $\ln C(y_i, w_i; \beta)$ représente la fonction de coût qui dépend de la quantité d'output y et du prix des facteurs de productions variables w , β correspond aux coefficients technologiques estimés. La composante u_i capture l'effet de l'inefficacité sur la dépense totale du producteur i à la fois l'inefficacité technique et l'inefficacité allocative sur la dépense totale. Ici, η_{gi} représente l'inefficacité allocative de la paire d'inputs $(g, 1)$ du producteur i . Le problème qui a été suggéré par Greene (1980) est que si η_{gi} représente l'inefficacité allocative alors u_i capture le coût de l'inefficacité technique et allocative et par conséquent l'hypothèse (iv) est trop forte puis ce que l'inefficacité allocative fera varier le surplus de coût de production dû à l'inefficacité et donc u_i et η_{gi} ne peuvent pas être statistiquement indépendants.

La littérature a essayé de prendre en compte le problème de Greene de trois façons différentes. La première solution à ce problème a été de réaliser les hypothèses de distribution précédentes sur chacun des paramètres en supposant que u_i et η_{gi} sont statistiquement indépendants (Greene, 1980) mais cette hypothèse est forte à faire comme nous l'avons expliqué précédemment. La deuxième solution a été de proposer une solution au problème de Greene mais sans donner une relation exacte entre u_i et η_{gi} , c'est le cas de Melfi (1984), Bauer (1985, 1990), Kumbhakar (1991) ou encore Ferrier et Lovell (1990). La troisième solution provient d'Atkinson et Cornwell (1994) qui ont montré qu'un panel pouvait permettre de résoudre ce problème. Enfin, le développement le plus récent est celui de Kumbhakar (1997) qui a repris les travaux d'Atkinson et Cornwell (1994) et qui a proposé une solution au problème de Greene en utilisant un système de coût translog afin d'établir une relation exacte entre l'inefficacité allocative dans les équations de parts de coût et la fonction de coût en considérant le cas avec et sans inefficacité technique. Cette solution générale est hautement non-linéaire dans les erreurs qui représentent l'inefficacité allocative et par conséquent, difficile à estimer. Kumbhakar et Tsionas (2005) ont relevé que la relation exacte proposée par Kumbhakar (1997) est estimable empiriquement seulement dans le cas d'un panel en suivant la solution proposée par Atkinson et Cornwell (1994) dans lequel l'inefficacité technique et l'inefficacité allocative sont supposées être des paramètres fixes ou sont fonctions des données et des paramètres inconnus. De plus, la proposition de Kumbhakar (1997) ne permet pas d'expliquer la différence entre le coût observé et le coût minimum, en effet, Kumbhakar utilise une fonction de coût qui est ni le coût actuel ni la fonction de coût minimum mais utilise un artifice construit pour utiliser les résultats de dualité comme précisé dans l'article de Kumbhakar et Wang (2006), cette fonction de coût est la fonction de coût minimum quand le prix des inputs n'est pas le véritable prix des inputs, et quand la quantité des outputs n'est pas la véritable quantité des outputs. Autrement dit, la littérature a tout simplement échoué à donner une solution au problème tout en ayant une décomposition correcte de l'inefficacité d'où l'objet

d'étude de ce chapitre intitulé « Du coût observé au coût minimal : L'identification d'une décomposition en inefficacité technique et allocative ».

Une autre stratégie a été développée par Boussemart et al. (2015) pour éviter le problème de Greene (1980). Boussemart et al. (2015) proposent une méthode d'estimation en deux étapes, à la première étape le coût minimum de production est estimé par l'approche DEA pour permettre d'éliminer l'inefficacité technique et allocative. Dans une deuxième étape, la fonction de coût conjointement au système de parts sans inefficacités sont estimés. Cette méthode permet d'estimer le coût marginal de production des soins de santé en éliminant le problème de Greene. Rodríguez-Álvarez et al. (2004) proposent d'utiliser les fonctions de distance pour estimer l'inefficacité allocative dans les équations de parts mais au coût de supposer que l'inefficacité dans la fonction de coût ne contient pas l'inefficacité allocative pour éviter le problème de Greene.

Dans la suite de ce chapitre, nous allons développer un modèle économique permettant d'expliquer véritablement la différence entre le coût observé et le coût minimum c'est à dire sans utiliser d'artifice comme a utilisé Kumbhakar (1997) et Kumbhakar et Wang (2006). Ce modèle sera également capable de répondre au problème de Greene (1980) de manière à avoir une relation exacte entre le surplus de coût dû à la mauvaise allocation dans les facteurs de production et les erreurs dans les systèmes de parts de coût. Dans la deuxième section de ce chapitre, nous passerons en revue les différentes représentations de la technologie de production et les différents indicateurs technologiques. Dans la troisième section, nous justifierons l'utilisation d'une fonction de coût au-delà du défi précédemment expliqué par l'utilisation dans le chapitre empirique de notre modèle puis nous justifierons le fait de caractériser la technologie de production à l'aide d'une fonction de transformation. Dans la quatrième section, nous développerons notre modèle économique visant à donner une nouvelle décomposition de l'inefficacité de coût entre l'inefficacité technique et l'inefficacité dans

l'allocation des facteurs de production. Enfin, dans la cinquième et dernière section de ce chapitre, nous mettrons en évidence les problèmes d'endogénéité dans la mesure de l'inefficacité et présenterons notre stratégie d'estimation qui repose sur l'estimation du système de demandes conditionnelles de facteurs de production permettant la mesure de l'inefficacité technique et allocative sans avoir les problèmes de non-linéarité présents dans l'estimation de la fonction de coût conjointement au système de parts.

1.2 La technologie de production et les indicateurs technologiques

Avant de présenter le modèle théorique visant à expliquer la différence entre le coût observé et le coût minimum de production par les problèmes d'inefficacités technique et allocatives, il est nécessaire de faire un cadrage théorique sur les notions de microéconomie. Dans cette section, nous définirons les différentes représentations de la technologie de production en soulevant le caractère dual entre ces représentations. Nous définirons à partir des représentations de la technologie de production, les rendements d'échelle, l'élasticité de substitution mais également le progrès technique.

1.2.1 Représentation de la technologie de production

Une entreprise cherchant à maximiser son profit cherchera à maximiser sa quantité d'output pour une quantité donnée d'inputs. Une fois ce comportement fixé, il nous faut une représentation mathématique de la technologie de production nous permettant d'obtenir une caractérisation des solutions de l'entreprise. La représentation de la technologie la plus générale est le graphique de la technologie de production qui décrit l'ensemble des possibilités de production noté Y . L'ensemble des possibilités de production satisfait les hypothèses suivantes :

- (i) L'ensemble Y est fermé ; Si $y^n \in Y$ et $n \in \mathbb{N}$ avec \mathbb{N} qui est l'ensemble des entiers naturels, alors $\lim_{n \rightarrow \infty} y^n = y^0$ implique $y^0 \in Y$
- (ii) L'ensemble Y est convexe ; si y' et $y'' \in Y$ et $0 < \alpha < 1$, alors $\alpha y' + (1 - \alpha) y'' \in Y$
- (iii) Si $(y, x) \in Y$, $x' \geq x$ et $y' \leq y$, alors (y, x') et $(y', x) \in Y$
- (iv) L'ensemble Y est borné par le haut ; $\forall 0 \leq x < \infty$, l'ensemble des $\{y : (y, x) \in Y\}$ est borné par le haut

L'hypothèse (i) nous dit que la frontière de production appartient à l'ensemble Y et que les technologies efficaces seront des couples inputs/outputs appartenant à cette frontière de production. Cette hypothèse est nécessaire d'un point de vue technique car elle stipule que la frontière existe dans les combinaisons inputs/outputs réalisables

L'hypothèse (ii) définit la convexité de l'ensemble Y , autrement dit, toutes les combinaisons convexes de couples inputs/outputs réalisées sont réalisables.

L'hypothèse (iii) définit la disposition des facteurs de production également appelée hypothèse de libre disposition qui tient au fait qu'une entreprise peut produire avec une certaine quantité d'inputs tout ce qu'elle pourrait produire si elle disposait d'une quantité plus importante d'inputs. Elle repose également sur le fait que l'entreprise n'est pas tenue d'utiliser ses ressources.

L'hypothèse (iv) implique qu'à partir d'un vecteur d'inputs de valeurs finies, on ne peut produire qu'un vecteur d'outputs de valeurs finies.

La quantité d'output maximum possible pour un niveau donné d'input va donner la frontière de l'ensemble des possibilités de production. La fonction qui décrit la frontière de l'ensemble des possibilités de production est appelée la fonction de production. La fonction de production n'est que l'épigraphe de l'ensemble des possibilités de production Y , c'est à dire la fonction qui décrit la frontière contenant l'ensemble des possibilités de production. Par conséquent, les hypothèses portant sur l'ensemble des possibilités de productions Y ont

une implication directe sur les hypothèses portant sur la frontière de production f . Prenons la fonction de production multi-inputs (x_1, \dots, x_G) et multi-outputs (y_1, \dots, y_M) suivante :

$$f(y_1, \dots, y_M, x_1, \dots, x_G) = 0$$

la fonction de production satisfait les hypothèses suivantes :

(i) f est continue par le haut si $f(\hat{y}^n, x^n) \geq f(\hat{y}, x)$ et $\lim_{n \rightarrow \infty} (y^n, x^n) = (y^0, x^0)$ alors $\lim_{n \rightarrow \infty} f(\hat{y}^n, x^n) = f(\hat{y}^0, x^0)$

(ii) f est concave. On note que $z = (\hat{y}, x)$. Si z' et $z'' \in Y$, $0 \leq \lambda \leq 1$, alors :

$$f(\lambda z' + (1 - \lambda) z'') \geq \lambda f(z') + (1 - \lambda) f(z'')$$

(iii) $f_x \geq 0$ et $f_y \leq 0$

(iv) $\forall x \geq 0_G, \exists \alpha$ suffisamment grand tel que si $\hat{y} > \alpha$, alors $f \rightarrow -\infty$

L'hypothèse (ii) signifie que la convexité de l'ensemble des possibilités de production Y implique la concavité de la fonction de production f . Cette hypothèse implique des rendements d'échelle non croissants. L'ensemble des possibilités de production Y est donc une représentation de la technologie duale à la fonction de production f . Nous utiliserons dans la suite de cette section la fonction de production de manière à définir les concepts de rendements d'échelle, d'élasticité de substitution et de progrès technique.

1.2.2 Rendements d'échelle

Un des indicateurs de la technologie de production est la mesure des rendements d'échelle. Cette mesure des rendements d'échelle permet d'analyser la taille optimale des entreprises. Cette mesure nous renseigne sur la quantité d'output suite à l'augmentation d'utilisation des inputs. Il existe trois types de rendements d'échelle :

- La technologie de production de la firme présente des rendements d'échelle constants si un doublement de la quantité des inputs permet un doublement de la quantité des outputs.

- La technologie de production de la firme présente des rendements d'échelle croissants si un doublement de la quantité des inputs permet de multiplier par plus de deux la quantité d'outputs.

- La technologie de production de la firme présente des rendements d'échelle décroissants si un doublement de la quantité des inputs permet de multiplier par moins de deux la quantité d'outputs.

Prenons la fonction de production en supposant que la firme utilise plusieurs inputs pour produire un output : $y = f(x)$ avec $x \in \mathbb{R}^g$

Nous pouvons donner une mesure globale des rendements d'échelle :

$f(\lambda x) = \lambda f(x)$: Les rendements d'échelle sont constants

$f(\lambda x) < \lambda f(x)$: Les rendements d'échelle sont décroissants

$f(\lambda x) > \lambda f(x)$: Les rendements d'échelle sont croissants

Nous pouvons donner une mesure locale des rendements d'échelle c'est à dire en analysant une modification à la marge de la quantité d'input utilisé :

$$\frac{\partial f(\lambda x)}{\partial \lambda}$$

Cette mesure peut s'exprimer sous la forme d'une élasticité :

$$\begin{aligned} \xi(\lambda x) &= \frac{\partial f(x)}{\partial \lambda} \frac{\lambda}{f(\lambda x)} \Big|_{\lambda=1} \\ &= \frac{\partial \ln f(\lambda x)}{\partial \ln \lambda} \Big|_{\lambda=1} \end{aligned}$$

Nous évaluons les rendements d'échelle localement lorsque $\lambda = 1$:

$$\begin{aligned}
\mu(x) &= \frac{\partial f(\lambda x)}{\partial \lambda} \frac{1}{f(\lambda x)} \\
&= \sum_{g=1}^G \frac{\partial f}{\partial x_g} \frac{x_g}{f} \\
&= \sum_{g=1}^G \frac{x_g f_g}{f}
\end{aligned}$$

Nous pouvons exprimer la mesure locale des rendements d'échelle par rapport à la productivité marginale du facteur de production g (Pm_g) et à la productivité moyenne de ce facteur de production (PM_g).

$$\begin{aligned}
\mu(x) &= \sum_{g=1}^G \frac{Pm_g(x)}{PM_g(x)} \\
&= \sum_{g=1}^G \mu_g(x)
\end{aligned}$$

Où $\mu_g(x)$ est l'élasticité de l'output par rapport au facteur de production g .

1.2.3 Élasticité de substitution

Un autre indicateur technologique que nous pouvons obtenir est l'élasticité de substitution. Cette élasticité évalue le changement dans le ratio des facteurs de production utilisés lorsqu'on se déplace le long d'une isoquante c'est à dire en maintenant constante la quantité d'output produite. Il existe deux mesures de l'élasticité de substitution, la première est appelée l'élasticité de substitution de Hicks (HES) qui a été proposée par Allen et Hicks (1934) et la deuxième a été proposée par Allen (1938) et Uzawa (1962) appelée l'élasticité de substitution d'Allen (AES) ou l'élasticité de substitution d'Allen/Uzawa.

Nous considérons le cas où l'entreprise produit un seul output à partir de deux inputs variables, l'élasticité de substitution est donnée par la formule suivante :

$$\begin{aligned}\sigma &= \frac{\partial \ln(x_2/x_1)}{\partial \ln(f_1/f_2)} \\ &= \frac{-f_1 f_2 (x_1 f_1 + x_2 f_2)}{x_1 x_2 (f_{11} f_2^2 - 2f_{12} f_1 f_2 + f_{22} f_1^2)}\end{aligned}$$

Avec $f_g = \partial f / \partial x_g$

Lorsque nous avons une entreprise qui utilise plus de deux inputs variables, nous pouvons obtenir uniquement une mesure d'élasticité partielle. Dans ce cas, on supposera que les quantités x_g et x_j se modifient et toutes les quantités des autres inputs sont maintenues constantes. L'élasticité de substitution partielle est donnée par la formule suivante :

$$\begin{aligned}\sigma_{gj} &= \frac{\partial \ln(x_j/x_g)}{\partial \ln(f_g/f_j)} \\ &= \frac{-f_g f_j (x_g f_g + x_j f_j)}{x_g x_j (f_{gg} f_j^2 - 2f_{gj} f_g f_j + f_{jj} f_g^2)}\end{aligned}$$

Dans les deux cas, l'élasticité de substitution est positive : $0 < \sigma < \infty$.

La deuxième mesure d'élasticité de substitution est celle d'Allen-Uzawa. La particularité de cette élasticité est que c'est les prix qui fluctuent et non les quantités d'inputs. L'élasticité de substitution d'Allen-Uzawa est donnée par la formule suivante :

$$\begin{aligned}\sigma_{gj} &= \sum_k \frac{x_k f_k}{x_g x_j} \frac{H_{gj}}{f} \\ H &= \begin{bmatrix} 0 & f_1 & \cdots & f_G \\ f_1 & f_{11} & \cdots & f_{1G} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ f_G & f_{G1} & \cdots & f_{GG} \end{bmatrix}\end{aligned}$$

H est la hessienne bordée de la fonction de production f .

1.2.4 Progrès technique

La technologie se modifie dans le temps à travers le développement de nouvelles connaissances, d'achat de nouveaux équipements qu'utilise une firme. Ce progrès technique va avoir une conséquence sur l'ensemble des possibilités de production. Pour analyser l'évolution de l'ensemble des possibilités de production, nous pouvons dater la technologie de production $(y_t, x_t) \in Y_t$ qui résulte de la fonction de production suivante : $y_t = f(x_t, t)$. La variable t a pour objectif de représenter le déplacement de l'ensemble des possibilités de production et donc de la technologie de production utilisée par la firme pour produire. Le progrès technique qui peut être représenté par la date ou une autre variable pouvant servir de variable substitutive à l'évolution de la technologie de production est perçue comme un facteur permettant de produire une quantité d'output plus importante en utilisant la même quantité d'input ou d'utiliser une quantité d'input plus faible en produisant la même quantité d'output.

En prenant la différentielle de la fonction de production f par rapport au temps, nous allons pouvoir donner la mesure du progrès technique :

$$\dot{y} = \sum_{g=1}^G \frac{\partial f}{\partial x_g} \dot{x}_g + \frac{\partial f}{\partial t}$$

Avec $\dot{y} = \partial y / \partial t$ et $\dot{x}_g = \partial x_g / \partial t$

En réarrangeant l'expression, nous obtenons l'expression suivante :

$$\begin{aligned} \frac{\partial f}{\partial t} \frac{1}{y} &= \frac{\dot{y}}{y} - \sum_{g=1}^G \frac{\partial f}{\partial x_g} \frac{x_g}{y} \frac{\dot{x}_g}{x_g} \\ \frac{\partial f}{\partial t} \frac{1}{y} &= \frac{\dot{y}}{y} - \sum_{g=1}^G \mu_g(x) \frac{\dot{x}_g}{x_g} \end{aligned}$$

Avec $(\partial f / \partial t)(1/y)$ qui est la mesure de l'augmentation de la quantité d'output produite qui n'est pas expliquée par la somme pondérée de la croissance de la quantité des inputs. Autrement dit $(\partial f / \partial t)(1/y)$ est la mesure du progrès technique.

1.3 Dualité entre la fonction de transformation et la fonction de coût

Dans cette thèse, nous avons comme objectif de développer un modèle économique et d'estimer la frontière de coût stochastique des hôpitaux Québécois plutôt que d'estimer leur frontière de production. Nous avons fait le choix de travailler avec une fonction de coût plutôt qu'avec une fonction de production pour plusieurs différences entre ces deux représentations de la technologie de production, Kumbhakar et Lovell (2003) soulignent cinq différences majeures entre l'estimation d'une frontière de production stochastique et l'estimation d'une frontière de coût stochastique. La première différence concerne les données requises pour estimer l'efficacité technique, l'estimation de l'efficacité technique à l'aide de la frontière de production nécessite les données sur les quantités d'inputs utilisés et sur la quantité d'output produit. L'estimation de l'efficacité de coût nécessite quant à elle les données sur le prix des inputs, les quantités d'outputs produits mais également la dépense totale de facteurs de production utilisés et parfois de la quantité d'inputs lorsque l'entreprise utilise des facteurs de production fixes dans le temps. La seconde différence concerne le nombre d'outputs qui sont fabriqués par les firmes. Dans le cadre de l'estimation d'une frontière de production, la méthode classique requiert que l'entreprise produise un seul output pour pouvoir estimer une frontière de production stochastique alors qu'une frontière de coût stochastique peut être estimée même dans une situation dans laquelle les firmes produisent plusieurs outputs. Il est à noter que cette différence est à relâcher, Fernandez et al. (2000) ont proposé l'utilisation de la méthode d'estimation Bayésienne pour pouvoir estimer une frontière de production stochastique même lorsque les entreprises produisent plusieurs outputs. La troisième différence concerne la prise en compte de la quasi-fixité d'une partie des facteurs de production. Dans le cadre de l'estimation d'une frontière de production stochastique, nous estimons l'efficacité technique avec une orientation output et tous les inputs sont considérés comme variables alors que la connaissance de la quasi-fixité mériterait d'être exploitée car l'efficacité technique qui

pourra être atteinte dépend de cette non modifiabilité à court terme de certains facteurs de production. Dans le cadre de l'estimation de frontière de coût stochastique, il est cette fois possible de différencier les inputs variables et les inputs quasi-fixes en estimant la frontière de coût de court terme (frontière de coût variable). La quatrième différence concerne le comportement des entreprises. L'estimation de la frontière de coût stochastique à la différence de la frontière de production nécessite l'imposition d'un comportement objectif de la part des entreprises. L'objectif de minimisation du coût est approprié dans un environnement compétitif dans lequel les prix des inputs sont exogènes et dans lequel la production d'output est conduite par la demande. La cinquième et dernière différence est l'information qu'on peut obtenir, en effet, l'efficacité technique ne peut pas être décomposée, l'efficacité du coût peut être décomposée entre l'inefficacité technique orientée-input et l'inefficacité allocative orientée-input.

Dans un premier temps, nous devons décrire la technologie de production qui permet en utilisant des facteurs de production de produire des services. Nous définissons notre technologie de production à l'aide d'une fonction de transformation, en effet, en microéconomie nous recourons traditionnellement à la fonction de production pour caractériser la technologie de production mais celle-ci est adaptée à une production mono-output. Ici, même en regroupant les services et soins réalisés par les hôpitaux en plusieurs catégories, nous disposons de plusieurs services produits. Par conséquent, l'utilisation d'une fonction de transformation est adaptée à notre problème.

La fonction de transformation caractérisant notre technologie de production est donnée par : $F(\mathbf{x}, \mathbf{k}, \mathbf{y}, \gamma) \leq 0$ avec $\mathbf{x} \in \mathbb{R}^g$ qui sont les facteurs de production variables, $\mathbf{k} \in \mathbb{R}^q$ qui sont les facteurs de production quasi-fixes, $\mathbf{y} \in \mathbb{R}^m$ désignant les outputs et $\gamma \in \mathbb{R}^t$ qui désigne le progrès technologique.

Nous faisons les hypothèses suivantes concernant cette fonction de transformation de façon à assurer l'existence d'une solution au problème de la firme :

- (i) $F \in C^2$: La fonction de transformation est deux fois continuellement différentiable
- (ii) $F_{\mathbf{x}} > 0$, $F_{\mathbf{k}} > 0$, $F_{\mathbf{y}} < 0$: La fonction de transformation est croissante en \mathbf{x} et \mathbf{k} , décroissante en \mathbf{y}
- (iii) La fonction de transformation est fortement quasi-concave en \mathbf{x} c'est à dire que pour toutes les directions ω , $\omega \neq 0$ satisfait $F_{\mathbf{x}}\omega = 0$, la matrice hessienne de la fonction de transformation est définie négative, $\omega^T F_{\mathbf{xx}}\omega < 0$

L'hypothèse (i) implique que la frontière de l'ensemble est lisse et continue, c'est à dire qu'il n'y a pas de saut ni de coude. L'hypothèse (ii) implique le vecteur d'outputs \mathbf{y} est productif. Enfin, l'hypothèse (iii) implique les isoquantes sont convexes à l'origine et assure le respect des conditions de deuxième ordre, c'est à dire qu'elle assure que le système de demandes de facteurs soit différentiable

L'objectif des hôpitaux est de réaliser les soins de santé et les différents services en minimisant le coût de production. Nous pouvons en utilisant les outils de l'optimisation statique résoudre ce problème de minimisation des coûts en minimisant la quantité de facteurs de production utilisés \mathbf{x} sous la contrainte que $F(\mathbf{x}, \mathbf{k}, \mathbf{y}, \gamma) \leq 0$, c'est à dire nous devons résoudre le problème suivant :

$$\begin{aligned} \min_{\mathbf{x}} \mathbf{w}^T \mathbf{x} \\ \text{s.c. } F(\mathbf{x}, \mathbf{k}, \mathbf{y}, \gamma) \leq 0 \end{aligned}$$

Posons le lagrangien associé au problème à résoudre :

$$\mathcal{L} = \mathbf{w}^T \mathbf{x} - \lambda F(\mathbf{x}, \mathbf{k}, \mathbf{y}, \gamma)$$

Les conditions de premières ordres sont données par :

$$\frac{d\mathcal{L}}{d\mathbf{x}} = \mathbf{w}^T - \lambda F_{\mathbf{x}} = 0$$

$$\frac{d\mathcal{L}}{d\lambda} = -F(\mathbf{x}, \mathbf{k}, \mathbf{y}, \gamma) = 0$$

$$d\mathbf{w} - F_{\mathbf{x}}d\mathbf{x} - \lambda F_{\mathbf{xx}}d\mathbf{x} = 0$$

$$F_{\mathbf{x}}d\mathbf{x} = 0$$

Il s'en suit que :

$$\lambda F_{\mathbf{xx}}d\mathbf{x} + F_{\mathbf{x}}d\mathbf{x} = d\mathbf{w}$$

$$F_{\mathbf{x}}d\mathbf{x} = 0$$

Et la différentielle des conditions de premier ordre est donc :

$$\begin{bmatrix} \lambda F_{\mathbf{xx}} & F_{\mathbf{x}} \\ F_{\mathbf{x}} & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} d\mathbf{x} \\ d\lambda \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} I & -\lambda F_{\mathbf{xk}} & -\lambda F_{\mathbf{x}\gamma} & -\lambda F_{\mathbf{x}\mathbf{y}} \\ 0 & -F_{\mathbf{k}} & -F_{\gamma} & -F_{\mathbf{y}} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} d\mathbf{w} \\ d\mathbf{k} \\ d\gamma \\ d\mathbf{y} \end{bmatrix}$$

Prouvons désormais que la jacobienne des conditions de premier ordre $\begin{pmatrix} \lambda F_{\mathbf{xx}}d\mathbf{x} & F_{\mathbf{x}}^T \\ F_{\mathbf{x}} & 0 \end{pmatrix}$ est inversible.

$[x_1, \dots, x_G]$ sont linéairement indépendants si et seulement si : $\sum_{g=1}^G x_g b_g = 0$ ou encore $b_g = 0 \forall g$

On sait que $b_g \in \mathbb{R}$ et que $x_g \in \mathbb{R}$ d'où $\forall g F_{\mathbf{x}}\phi_1 = 0$ donc $\phi^T F_{\mathbf{xx}}\phi > 0$.

$$\rho(\mathbf{x}) = \rho(\mathbf{x}_1, \dots, \mathbf{x}_G)$$

X est inversible si et seulement si $\det(X) \neq 0$, de même, $\rho(\mathbf{x}) = G$ si et seulement si $\det(X) \neq 0$

$$\begin{pmatrix} \lambda F_{\mathbf{xx}}\partial\mathbf{x} & F_{\mathbf{x}}^T \\ F_{\mathbf{x}} & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \phi_1 \\ \phi_2 \end{pmatrix} = 0$$

$$\lambda F_{\mathbf{xx}}\phi_1 + F_{\mathbf{x}}^T \phi_2 = 0 \quad (1)$$

$$F_x \phi_1 = 0 \quad (2)$$

Multiplions (1) par ϕ_1 :

$$\lambda \phi_1^T F_{\mathbf{xx}} \phi_1 + \phi_1^T F_{\mathbf{x}}^T \phi_2 = 0$$

$$\phi_1^T F_{\mathbf{x}}^T \phi_2 = 0 \text{ d'où } \lambda \phi_1^T F_{\mathbf{xx}} \phi_1 = 0 \text{ et } \phi_1 = 0$$

Ainsi (1) et (2) se réduisent à : $F_{\mathbf{x}} \phi_2 = 0$

Mais comme de l'hypothèse (ii) on sait que $F_{\mathbf{x}} > 0$ on obtient : $\phi_2 = 0$

$$\text{d'où } \begin{pmatrix} \lambda F_{\mathbf{xx}} \partial \mathbf{x} & F_{\mathbf{x}}^T \\ F_{\mathbf{x}} & 0 \end{pmatrix} \text{ est inversible.}$$

La matrice étant inversible, elle n'est pas singulière et permet de vérifier les conditions du théorème des fonctions implicites et donc il existe un vecteur de fonctions de demandes conditionnelles de facteurs continuellement différentiables dans le voisinage de la solution du problème dénoté $\mathbf{x}(\mathbf{w}, \mathbf{k}, \mathbf{y}, \gamma)$ résolvant $C(\mathbf{w}, \mathbf{k}, \mathbf{y}, \gamma) = \min_{\mathbf{x}} \{ \mathbf{w}^T \mathbf{x} \mid F(\mathbf{x}, \mathbf{k}, \mathbf{y}, \gamma) \leq 0 \}$.

$$\mathbf{x} = \mathbf{x}(\mathbf{w}, \mathbf{k}, \mathbf{y}, \gamma)$$

$$\lambda = \lambda(\mathbf{w}, \mathbf{k}, \mathbf{y}, \gamma)$$

Définissons la fonction de coût variable qui est le produit du vecteur des prix des facteurs de production variables et des demandes conditionnelles de facteurs :

$$\mathbf{C}(\mathbf{w}, \mathbf{k}, \mathbf{y}, \gamma) = \mathbf{w}^T \mathbf{x}(\mathbf{w}, \mathbf{k}, \mathbf{y}, \gamma)$$

De la définition de notre technologie de production, nous pouvons définir les rendements

d'échelle :

- Dans le cas où notre technologie de production exhibe des rendements d'échelle constants, nous avons :

$$C(\alpha\mathbf{x}, \mathbf{k}, \mathbf{y}, \gamma) = \alpha C(\mathbf{x}, \mathbf{k}, \mathbf{y}, \gamma)$$

- Dans le cas où notre technologie de production exhibe des rendements d'échelle décroissants, nous avons :

$$C(\alpha\mathbf{x}, \mathbf{k}, \mathbf{y}, \gamma) > \alpha C(\mathbf{x}, \mathbf{k}, \mathbf{y}, \gamma)$$

- Dans le cas où notre technologie de production exhibe des rendements d'échelle croissants, nous avons :

$$C(\alpha\mathbf{x}, \mathbf{k}, \mathbf{y}, \gamma) < \alpha C(\mathbf{x}, \mathbf{k}, \mathbf{y}, \gamma)$$

Si notre technologie de production a des rendements d'échelle décroissants alors le coût moyen de production augmente. Inversement, si notre technologie de production a des rendements d'échelle croissants alors le coût moyen de production diminue

Par rapport à notre fonction de coût variable que nous avons défini précédemment, les rendements d'échelle de la technologie de production en présence d'une production multi-outputs s'obtiennent par la différentielle de la fonction de coût par rapport aux outputs qui est donnée par :

$$\begin{aligned}\partial C &= \sum_{m=1}^M \frac{\partial C}{\partial y_m} \partial y_m \\ \frac{\partial C}{C} &= \sum_{m=1}^M \frac{\partial C}{\partial y_m} \frac{y_m}{C} \frac{\partial y_m}{y_m}\end{aligned}$$

Ecrivons $ELcy = \sum_{m=1}^M ELcy_m$ avec $ELcy_m = \left(\frac{\partial C}{\partial y_m} \frac{y_m}{C} \right)$ et ainsi :

$$\frac{\partial C}{C} = ELcy \sum_{m=1}^M \frac{ELcy_m}{ELcy} \frac{\partial y_m}{y_m}$$

La mesure de l'élasticité d'échelle est donc le ratio de la variation en pourcentage du coût sur la variation en pourcentage d'un indice des outputs

Dans la section suivante, nous reprendrons la fonction de transformation décrivant la technologie de production en introduisant de l'inefficacité dans le processus de production et en proposant une nouvelle décomposition entre d'une part l'inefficacité technique et d'autre part l'inefficacité allocative.

1.4 Contribution à la mesure de l'inefficacité : nouvelle décomposition de l'inefficacité de coût

Le comportement et les décisions des gestionnaires des hôpitaux vont avoir un lien sur l'efficacité des hôpitaux à produire des services de santé en utilisant des ressources. Nous pouvons rappeler que les hôpitaux subissent la demande de la part des patients, en effet, les hôpitaux fournissent un service public, ils traitent les patients qui se présentent à eux et soignent donc toutes les pathologies sans effectuer de discrimination sur la rentabilité des actes comme on pourrait le voir dans les cliniques privées qui réalisent les opérations les plus rentables financièrement et excluent les opérations trop gourmandes en ressource compte tenu de leurs rémunérations. L'inefficacité se traduit lorsque la fonction de transformation est strictement inférieure à 0. Pour décrire l'inefficacité que les hôpitaux peuvent connaître, nous allons utiliser les théorèmes de dualité entre la fonction de transformation et la fonction de coût étant donné que le comportement des gestionnaires des hôpitaux publics est de traiter et de soigner les patients en minimisant la quantité de ressources utilisées, l'utilisation d'une

fonction de coût est adaptée à cette hypothèse de minimisation des inputs utilisés compte tenu d'une certaine quantité d'outputs à produire.

Nous souhaitons décrire les problèmes d'inefficacité dans la production de services de santé mais nous ne pouvons pas utiliser directement la fonction de coût. En effet, la fonction de coût obscurcit les problèmes d'inefficacité. Le problème de Greene soulevé en 1980 par Greene vient justement du fait que la fonction de coût obscurcit les éléments d'inefficacité. De nombreux articles ont été publiés en utilisant une fonction de coût en ajoutant des termes d'erreurs de façon ad hoc sans décrire précisément les choses du point de vue microéconomique pour expliquer le lien entre le coût observé de production et le coût minimal en ajoutant deux parfois trois termes d'erreurs, puis en effectuant une hypothèse de distribution pour expliquer la différence entre les deux coûts du point de vue technique et du point de vue allocatif. Cette façon d'ajouter des termes ad hoc à la fonction de coût ne permet pas de prendre en compte le lien entre les inefficacités allocatives ajoutées de façon ad hoc à chaque équation du système de parts avec l'inefficacité dans la fonction de coût représentant le surplus de coût de production dû à l'inefficacité.

Nous décidons dans notre modèle de distinguer deux types d'inefficacités, l'inefficacité technique et l'inefficacité allocative. Le premier type d'inefficacités se présente lorsqu'il serait possible de produire une quantité d'output plus importante pour la même quantité d'input utilisée ou de produire la même quantité d'output avec une quantité d'input plus faible. Autrement dit, dans ce type d'inefficacités nous avons une combinaison d'input et d'output ne se trouvant pas sur la frontière de production qui décrit les combinaisons techniquement optimales et les combinaisons techniquement réalisables.

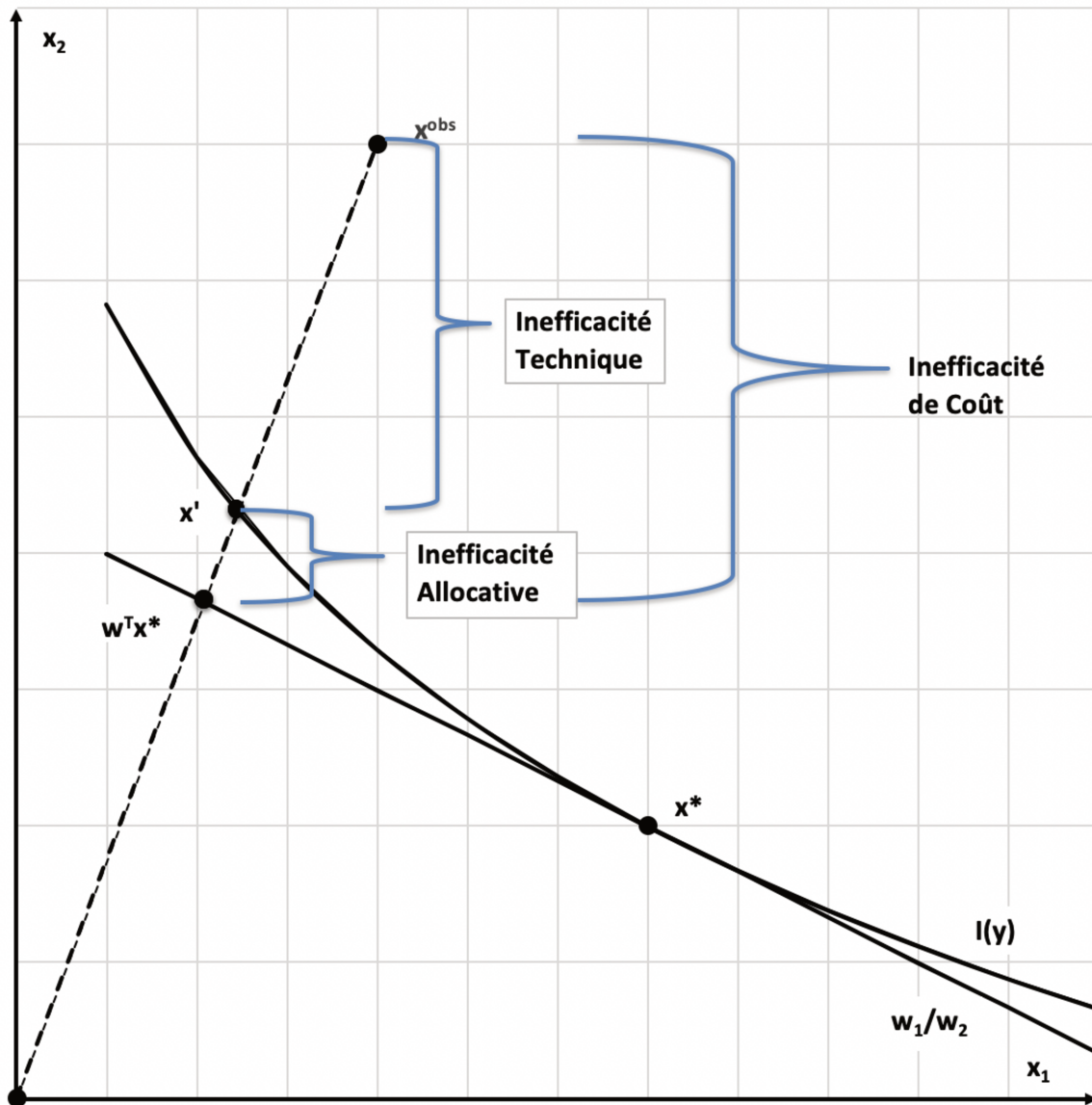
Le deuxième type d'inefficacités est l'inefficacité allocative qui se produit lorsque l'entreprise utilise une combinaison d'inputs qui n'est pas optimale étant donné le prix des facteurs de production. L'entreprise pourrait par exemple utiliser une combinaison techniquement ef-

efficace en se trouvant sur la frontière de production mais ne pas l'être du point de vue de l'allocation des inputs, la combinaison d'inputs allocativement efficace se trouve au point de tangence entre l'isoquant représentant la frontière de production et la courbe d'isocoût dépendant du prix des facteurs de production.

Cette distinction entre les deux types d'inefficacités n'est pas une contribution, notre contribution dans ce modèle est de proposer une nouvelle décomposition de l'inefficacité dans la production en décrivant la technologie de production du point de vue primal à l'aide d'une fonction de transformation en incorporant les inefficacités à l'intérieur même du problème d'optimisation du coût. Cette stratégie a initialement été développée par McElroy (1987) qui propose de prendre en compte l'inefficacité dans la production en l'expliquant par une erreur spécifique à chacun des inputs pouvant s'expliquer par une mauvaise qualité de l'input. Sa stratégie a ensuite été reprise par Kumbhakar et Tsionas (2011) en appliquant une erreur spécifique à chacun des inputs mais cette fois-ci les erreurs sont multiplicatives et non additives comme dans le cadre du modèle de McElroy (1987). Nous pouvons également souligner l'article de Kumbhakar et al. (2016) qui reprend cette stratégie à l'estimation d'une fonction de revenu. Ouellette et Petit (2018) s'intéressent à la prise en compte de l'inefficacité technique spécifique à chaque facteur de production en intégrant la possibilité d'avoir des erreurs de mesure sur les variables.

Pour illustrer notre stratégie de décomposition de l'inefficacité allocative, nous avons réalisé une représentation graphique d'une isoquante qui est une représentation indiquant les combinaisons de facteurs de production permettant de produire la quantité d'output. Sur l'isoquante, les combinaisons sont techniquement efficaces car il n'est pas possible de réduire l'utilisation de facteurs de production en continuant à produire la quantité d'output. À droite de cette isoquante, nous avons les combinaisons de facteurs de production possibles permettant de produire l'output mais d'une façon non efficace. Dans la Figure 1.1, nous pouvons voir plusieurs combinaisons de facteurs de production. Au point \mathbf{x}^{obs} , nous avons une

FIGURE 1.1: Décomposition de l'inefficacité de coût



combinaison de facteurs de production x_1 et x_2 qui n'est pas efficace car cette combinaison ne se trouve pas sur l'isoquant $I(\mathbf{y})$ et par conséquent nous pourrions produire la même quantité d'output y en diminuant l'utilisation de facteurs de production.

Au point \mathbf{x}' , nous avons une combinaison de facteurs de production x_1 et x_2 qui est techniquement efficace car elle se situe sur la frontière, mais cette combinaison n'est pas efficace du point de vue allocatif. Le facteur de production x_1 a un prix w_1 , le facteur de production x_2 a un prix w_2 , d'où nous pouvons tracer l'isocoût. Ici l'isocoût est tangent à l'isoquant au point \mathbf{x}^* , c'est à dire qu'à cette combinaison de facteurs de production, nous disposons d'une combinaison de facteurs de production qui est efficace du point de vue technique et c'est cette combinaison techniquement efficace qui a le coût de production de l'output y le plus faible étant donné les prix w_1 et w_2 .

L'objectif est de décrire la fonction de transformation de manière à expliquer le passage de la combinaison de facteurs de production \mathbf{x}^{obs} à la combinaison de facteurs de production techniquement et allocativement efficace \mathbf{x}^* . Nous proposons de prendre en compte l'inefficacité technique de façon radiale qui explique le pourcentage de réduction nécessaire de l'ensemble des inputs de manière à attraper la frontière de production et permettant de se retrouver avec une combinaison d'inputs qui soit efficace techniquement. Autrement dit, nous ajoutons un terme d'inefficacité technique impactant l'ensemble des inputs et qui est le même quel que soit l'input considéré, notre fonction de transformation devient :

$$F(\theta x_1^{obs}, \dots, \theta x_G^{obs}, \mathbf{k}, \mathbf{y}, \gamma) = 0$$

Cette fois, la fonction de transformation est égale à 0 étant donné que l'inefficacité technique radiale θ nous projette sur la frontière de production et donc sur une combinaison de facteurs de production efficace.

Nous venons d'expliquer le passage de \mathbf{x}^{obs} à \mathbf{x}' mais nous avons vu précédemment que la combinaison d'inputs permettant d'avoir le coût de production de l'output le plus faible

étant donné le prix des facteurs de production est donnée par \mathbf{x}^* , nous prenons cette fois un terme d'inefficacité spécifique à chaque facteur de production de manière à partir de la combinaison techniquement efficace \mathbf{x}' à retrouver la combinaison de facteurs techniquement et allocativement efficace \mathbf{x}^* , notre fonction de transformation devient :

$$F(\theta\xi_1x_1^{obs}, \dots, \theta\xi_Gx_G^{obs}, \mathbf{k}, \mathbf{y}, \gamma) = 0$$

La Figure 1.2 présente la décomposition de l'inefficacité entre l'inefficacité technique et l'inefficacité allocative que nous venons de proposer.

En annexe, on présente deux exemples utilisant une forme fonctionnelle Cobb-Douglas indiquant la différence entre la description d'une technologie de production mono-output sans types d'inefficacités et une technologie de production mono-output avec un terme d'inefficacité technique et des d'erreurs d'inefficacités allocatives.

Dans la suite de ce chapitre, nous avons décidé de retenir ce modèle économique qui a pour hypothèse que l'inefficacité technique est commune à tous les facteurs de production et que l'inefficacité allocative est spécifique à chaque facteur de production. C'est à dire que nous travaillons avec ce modèle :

$$F(\theta\xi_1x_1^{obs}, \dots, \theta\xi_Gx_G^{obs}, \mathbf{k}, \mathbf{y}, \gamma) = 0$$

Avec :

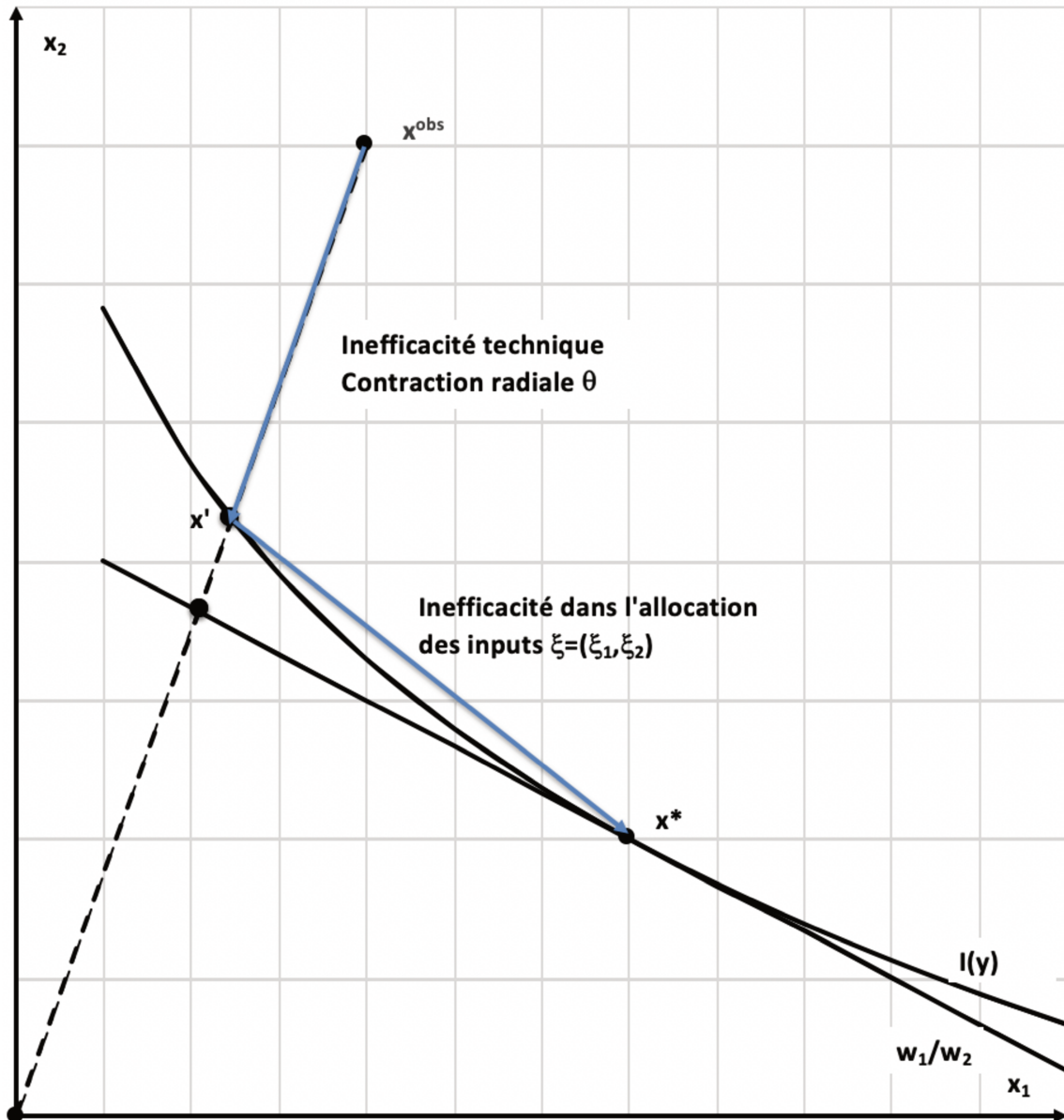
ξ_g : Inefficacités dans l'allocation de la quantité du facteur de production variable g

θ : Inefficacités technique commune à tous les facteurs de production variables

Commençons par définir et dériver notre fonction de coût variable permettant de faire le lien entre le coût observé et le coût minimum de production :

$$\forall i, x_g^* = \theta\xi_gx_g^{obs}$$

FIGURE 1.2: Décomposition de l'inefficacité technique et de l'inefficacité allocative



$$\begin{aligned}
C &= C(\mathbf{w}, \mathbf{k}, \mathbf{y}, \gamma) \\
&= \mathbf{w}^T \mathbf{x}(\mathbf{w}, \mathbf{k}, \mathbf{y}, \gamma) \\
&= \sum_{g=1}^G w_g \theta \xi_g x_g^{obs} \\
&= \theta \sum_{g=1}^G w_g \xi_g x_g^{obs}
\end{aligned}$$

Nous pouvons maintenant réécrire ce résultat sous la forme suivante afin d'établir le lien entre le coût observé et le coût minimum :

$$\begin{aligned}
\frac{C(\mathbf{w}, \mathbf{k}, \mathbf{y}, \gamma)}{\theta \left[\sum_{g=1}^G w_g x_g^{obs} \xi_g \right]} &= 1 \\
\frac{C(\mathbf{w}, \mathbf{k}, \mathbf{y}, \gamma)}{\theta \left[\sum_{g=1}^G \frac{w_g x_g^{obs}}{C^{obs}} \xi_g \right]} &= C^{obs}
\end{aligned}$$

Nous pouvons, après une transformation logarithmique, établir le lien entre le coût observé et le coût minimum de production, la différence est expliquée par l'inefficacité technique et les inefficacités allocatives.

$$\begin{aligned}
\ln C^{obs} &= \ln C(\mathbf{w}, \mathbf{k}, \mathbf{y}, \gamma) - \ln \left[\theta \sum_{g=1}^G \frac{w_g x_g^{obs}}{C^{obs}} \xi_g \right] \\
\ln C^{obs} &= \ln C(\mathbf{w}, \mathbf{k}, \mathbf{y}, \gamma) - \ln \theta - \ln \sum_{g=1}^G \frac{w_g x_g^{obs}}{C^{obs}} \xi_g
\end{aligned}$$

En utilisant le lemme de Shephard, nous pouvons obtenir le système de demandes conditionnelles de facteurs de production :

$$\frac{\partial C^{obs}}{\partial w_g} = x_g^{obs}; \forall g = 1, \dots, G$$

De même,

$$\frac{\partial C(\mathbf{w}, \mathbf{k}, \mathbf{y}, \gamma)}{\partial w_g} = \mathbf{x}(\mathbf{w}, \mathbf{k}, \mathbf{y}, \gamma) = x_g^{obs} \theta \xi_g; \forall g = 1, \dots, G$$

Nous pouvons obtenir le système de parts de la façon suivante :

$$\begin{aligned} S_g^*(\mathbf{w}, \mathbf{k}, \mathbf{y}, \gamma) &= \frac{w_g x_g^*}{C} \\ &= \frac{w_g x_g^{obs}}{C} \times \theta \times \xi_g \\ &= \frac{w_g x_g^{obs}}{C^{obs}} \times \theta \times \xi_g \times \frac{C^{obs}}{C} \\ &= S_g^{obs} \times \theta \times \xi_g \times \frac{C^{obs}}{C} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} S_g^{obs} &= S_g^*(\mathbf{w}, \mathbf{k}, \mathbf{y}, \gamma) \times \frac{C}{C^{obs}} \times \theta^{-1} \times \xi_g^{-1} \\ &= \theta^{-1} \times S_g^*(\mathbf{w}, \mathbf{k}, \mathbf{y}, \gamma) \times \xi_g^{-1} \times \sum_j \left(\frac{w_j x_j^*}{C^{obs}} \right) \\ &= \theta^{-1} \times S_g^*(\mathbf{w}, \mathbf{k}, \mathbf{y}, \gamma) \times \xi_g^{-1} \times \sum_j \left(\frac{w_j x_j^{obs}}{C^{obs}} \times \theta \times \xi_j \right) \\ &= S_g^*(\mathbf{w}, \mathbf{k}, \mathbf{y}, \gamma) \times \sum_j \left(S_j^{obs} \times \frac{\xi_j}{\xi_g} \right) \end{aligned}$$

Notre fonction de transformation généralise également le cas particulier du modèle de McElroy (1987) et de Kumbhakar et Tsionas (2011).

Par exemple, si nous supposons qu'il y a de l'inefficacité technique mais que celle-ci est spécifique à chaque facteur de production variable alors nous retrouvons le modèle développé par McElroy (1987). La fonction de transformation caractérisant cette technologie de production est donnée par :

$$F(x_1^{obs} - \xi_1, \dots, x_G^{obs} - \xi_G, \mathbf{k}, \mathbf{y}, \gamma) = 0$$

Avec les termes d'erreurs additifs indiquant l'inefficacité technique mais une interprétation peut être faite en terme d'erreurs d'observation de la quantité de facteurs. Nous avons utilisé ξ_g pour indiquer l'inefficacité technique car dans le modèle développé par McElroy (1987), l'efficacité n'est pas forcée à être commune à tous les facteurs de production variables. Ce modèle correspond à celui développé par McElroy (1987) adapté à une production multi-outputs avec la prise en compte de la fixité de certains facteurs de production en prenant en compte le progrès technologique.

$$\begin{aligned} & \min_{\mathbf{x}} \mathbf{w}^T \mathbf{x} \\ \text{s.c. } & F(x_1^{obs} - \xi_1, \dots, x_G^{obs} - \xi_G, \mathbf{k}, \mathbf{y}, \gamma) = 0 \end{aligned}$$

Dans ce modèle, le coût observé est la somme de la fonction de coût déterministe et de la somme des prix pondérés par les termes d'erreurs spécifiques aux inputs. Toute chose égale par ailleurs, plus les erreurs d'efficacité technique sont importantes, plus le coût de production est élevé pour les prix des inputs.

$$C(\mathbf{y}, \mathbf{w}, \theta) = C(\mathbf{y}, \mathbf{w}) + \sum_{g=1}^G w_g \xi_g$$

De même, si nous supposons qu'il y a de l'inefficacité technique et que celle-ci est spécifique à chaque facteur de production variable et si nous supposons qu'il n'y a pas d'inefficacités allocatives alors nous pouvons retrouver le modèle développé par Kumbhakar et Tsionas (2011). À la différence du modèle de McElroy (1987), Kumbhakar et Tsionas (2011) supposent que les termes d'inefficacité technique sont multiplicatifs. Nous avons utilisé ξ_g pour indiquer l'inefficacité technique car dans le modèle développé par Kumbhakar et Tsionas (2011), l'efficacité n'est pas forcée à être comprise entre 0 et 1. Ce modèle correspond à celui développé par

Kumbhakar et Tsionas (2011) adapté à une production multi-outputs avec la prise en compte de la fixité de certains facteurs de production en prenant en compte le progrès technologique.

$$\begin{aligned} & \min_{\mathbf{x}} \mathbf{w}^T \mathbf{x} \\ \text{s.c. } & F(x_1^{obs} \xi_1, \dots, x_G^{obs} \xi_G, \mathbf{k}, \mathbf{y}, \gamma) = 0 \end{aligned}$$

Nous pouvons obtenir le lien entre le coût observé et le coût minimum de production sans recourir au coût construit utilisé par Kumbhakar et Tsionas (2011) :

$$C(\mathbf{y}, \mathbf{w}, \theta) = \frac{C(\mathbf{y}, \mathbf{w})}{\sum_{g=1}^G \frac{w_g x_g^{obs}}{C^{obs}} \xi_g}$$

1.5 Mise en évidence des problèmes d'endogénéité et présentation de la stratégie d'estimation

Traditionnellement, pour obtenir les informations concernant la technologie de production et de manière à mesurer l'efficacité de la production de chaque DMU en supposant un comportement de minimisation du coût de production de la part des entreprises, nous estimions la fonction de coût stochastique conjointement au système de parts de coût. Cette façon d'estimer le système de parts de coût conjointement à la fonction de coût permet d'augmenter le nombre de degrés de liberté et ainsi permet d'obtenir des estimateurs plus efficaces. Comme expliqué dans l'introduction de ce chapitre, le modèle traditionnellement estimé dans la littérature sur les frontières stochastiques avec des termes d'erreurs ad hoc est le suivant :

$$\begin{aligned} \ln D_i &= \ln C(y_i, w_i; \beta) + \nu_i + u_i, \quad i = 1, \dots, N \\ S_{gi} &= S_{gi}(y_i, w_i; \beta) + \eta_{gi}, \quad g = 2, \dots, G \end{aligned}$$

Avec les hypothèses de distribution suivantes :

$$(i) \nu_i \sim iidN(0, \sigma_\nu^2)$$

$$(ii) u_i \sim iidN(0, \sigma_u^2)$$

$$(iii) \eta_{gi} \sim N(0, \Sigma)$$

(iv) ν_i et u_i sont indépendants l'un de l'autre et des éléments de η_{gi}

En réalisant des hypothèses de distribution sur chacun des termes d'erreurs, nous arrivons à récupérer les informations concernant la technologie de production et à mesurer l'efficacité de production. Le problème de ce modèle est que nous n'avons pas une décomposition correcte de l'inefficacité étant donné le problème de Greene d'où l'objet dans ce chapitre du développement de notre modèle théorique proposant une nouvelle décomposition de l'inefficacité entre l'inefficacité technique et l'inefficacité allocative répondant au problème de Greene. Dans l'idéal, nous pourrions chercher à estimer la fonction de coût conjointement au système de parts de coût de la section précédente :

$$\ln C^{obs} = \ln C(\mathbf{w}, \mathbf{k}, \mathbf{y}, \gamma) - \ln \theta - \ln \sum_{g=1}^G \frac{w_g x_g^{obs}}{C^{obs}} \xi_g$$

$$S_g^{obs} = S_g^*(\mathbf{w}, \mathbf{k}, \mathbf{y}, \gamma) \times \sum_j \left(S_j^{obs} \times \frac{\xi_j}{\xi_g} \right)$$

Dans notre modèle, nous voyons qu'il y a une relation entre le surplus de coût dû à l'inefficacité allocative et les inefficacités allocatives expliquant la différence entre la part de coût observé et la part de coût minimum théorique, cette prise en compte de l'inefficacité dans l'allocation des facteurs de production permet de répondre au problème de Greene. En estimant économétriquement ce modèle, nous serions en mesure de chiffrer le surplus de coût dû à l'inefficacité technique et le surplus de coût dû à l'inefficacité allocative. De même, nous serions en mesure de caractériser la technologie de production.

Il existe cependant plusieurs limitations à estimer ce modèle économétriquement, il existe un problème d'endogénéité et une difficulté économétrique à estimer le modèle. Concernant le problème d'endogénéité, nous pouvons voir que la partie stochastique incluant la mesure de l'inefficacité allocative dépend des parts de coût observés, le problème est que les parts de coût observés dépendent du prix des facteurs de production variables qui se retrouvent eux-mêmes dans la partie déterministe de la fonction de coût que nous devons estimer. En effet, pour estimer la fonction de coût déterministe, nous avons besoin des quantités de facteurs de production quasi-fixes, des quantités d'outputs mais également du prix des facteurs de production variables pour permettre de caractériser la technologie de production. Le prix des facteurs de production variables se retrouvent donc comme variables explicatives du coût de production mais également comme variables explicatives du surplus de coût dû à l'inefficacité de production d'où le problème d'endogénéité à prendre en compte pour estimer ce modèle. Nous pouvons également voir qu'il en est de même concernant l'estimation du système de parts de coût, les prix des facteurs de production variables sont des variables explicatives des parts de coût mais les prix des facteurs de production variables expliquent également la différence entre les parts de coût observés et les parts de coût minimums théoriques car ils se retrouvent dans la partie stochastique de chaque équation de parts de coût. Le deuxième problème de ce modèle à estimer est la non-linéarité des termes d'erreurs tant dans la fonction de coût à estimer que dans chaque équation de parts de coût.

Nous avons cherché à obtenir du modèle que nous avons présenté dans la section précédente, une stratégie d'estimation permettant d'obtenir les indicateurs sur la technologie de production, de mesurer l'inefficacité technique et l'inefficacité allocative tout en évitant de devoir prendre en considération les problèmes d'endogénéité inhérents au modèle. Rappelons que le lemme de Shephard qui est issue de l'utilisation du théorème de l'enveloppe permet de retrouver à partir de la fonction de coût les parts de coût observés $\left(S_g = \frac{\partial \ln C(\mathbf{w}, \mathbf{k}, \mathbf{y}, \gamma)}{\partial \ln w_g}\right)$ mais également les demandes conditionnelles de facteurs de production variables $\left(x_g = \frac{\partial C(\mathbf{w}, \mathbf{k}, \mathbf{y}, \gamma)}{\partial w_g}\right)$.

L'intérêt de parler du lemme de Shephard ici est de nous permettre de discuter du caractère dual du système de parts de coût et du système de demandes conditionnelles de facteurs de production variables à la fonction de coût. Autrement dit, en estimant le système de demandes conditionnelles de facteurs de production, nous serions en mesure de caractériser la technologie de production mais également étant donné la caractérisation de notre technologie à l'aide de la fonction de coût, nous serions capables de mesurer l'inefficacité technique et l'inefficacité allocative. Le système de demandes conditionnelles de facteurs de production variables est donné par :

$$\mathbf{x}^{\text{obs}} = \mathbf{x}(\mathbf{w}, \mathbf{k}, \mathbf{y}, \gamma) \theta^{-1} \xi_g^{-1} \zeta_g^{-1}$$

Le système prend désormais en compte des effets purement aléatoires donnés par ζ_g représentant les chocs aléatoires spécifiques à chaque facteur de production variable. Nous pouvons réécrire ce système de demandes conditionnelles de facteurs de production variables sous forme logarithmique :

$$\ln \mathbf{x}^{\text{obs}} = \ln \mathbf{x}(\mathbf{w}, \mathbf{k}, \mathbf{y}, \gamma) - \ln \theta - \ln \xi_g - \ln \zeta_g$$

Ou de manière équivalente :

$$\ln x_1^{\text{obs}} = \ln x_1(\mathbf{w}, \mathbf{k}, \mathbf{y}, \gamma) - \ln \theta - \ln \xi_1 - \ln \zeta_1$$

$$\ln x_2^{\text{obs}} = \ln x_2(\mathbf{w}, \mathbf{k}, \mathbf{y}, \gamma) - \ln \theta - \ln \xi_2 - \ln \zeta_2$$

⋮

$$\ln x_G^{\text{obs}} = \ln x_G(\mathbf{w}, \mathbf{k}, \mathbf{y}, \gamma) - \ln \theta - \ln \xi_G - \ln \zeta_G$$

En estimant ce système de demandes conditionnelles de facteurs de production variables, nous serions capable de mesurer l'inefficacité technique spécifique à chaque DMU mais commune à tous les facteurs de production variables (θ), de mesurer les inefficacités allocatives

(ξ_g) expliquant que les entreprises n'utilisent pas une quantité de facteurs de production optimale étant donné le prix des inputs variables mais également de mesurer les erreurs purement aléatoires (ζ_g). Comme expliqué précédemment, nous faisons le choix de travailler avec cette représentation de la technologie de production de manière à obtenir une structure d'erreur qui soit linéaire et de manière à ne pas avoir d'endogénéité entre les mesures d'inefficacités et la structure déterministe du modèle. Pour estimer économétriquement un système de demandes conditionnelles de facteurs de production variables, nous devons estimer chaque équation de demande conditionnelle de facteur de façon simultanée à l'aide des modèles *Seemingly Unrelated Regression model* (SUR) développé par Zellner (1962). Les modèles SUR ont été développés dans le cas où le terme d'erreur est unique, ici avec la décomposition de l'inefficacité et de la prise en compte des erreurs purement aléatoires sur les quantités d'inputs, nous avons un terme d'erreur composé de trois paramètres. Dans le chapitre méthodologique, nous développerons une méthode d'estimation pour estimer le système de demandes conditionnelles de facteurs de production variables.

$$\begin{aligned} \ln x_g^{obs} &= \ln x_g(\mathbf{w}, \mathbf{k}, \mathbf{y}, \gamma) - \ln \theta - \ln \xi_g - \ln \zeta_g \\ &= \ln x_g(\mathbf{w}, \mathbf{k}, \mathbf{y}, \gamma) + \tilde{\theta} + \tilde{\xi}_g + \tilde{\zeta}_g \end{aligned}$$

Conclusion

Dans ce premier chapitre, nous avons développé un modèle théorique permettant d'expliquer la différence entre le coût observé et le coût minimum de production en identifiant une décomposition entre l'inefficacité technique et l'inefficacité allocative. Nous avons introduit les problèmes d'inefficacité à l'intérieur de la fonction de transformation décrivant la technologie de production des entreprises pour permettre de prendre en considération des technologies de production multi-inputs, multi-outputs ayant connu du progrès technologique à travers les années. En résolvant le problème de minimisation du coût de production, nous avons pu établir le surplus de coût qui est dû à l'inefficacité technique et le surplus de coût qui

est dû à l'inefficacité allocative dans la fonction de coût stochastique ainsi que le lien entre l'inefficacité allocative dans la fonction de coût et l'inefficacité allocative dans chacune des équations de parts de coût stochastiques. Notre modèle généralise plusieurs modèles habituellement utilisés dans la littérature selon la nature additive ou multiplicative des erreurs. En mettant en évidence les problèmes de non-linéarité et d'endogénéité inhérents à l'estimation de la fonction de coût stochastique conjointement au système de parts, nous avons proposé d'estimer la technologie de production à l'aide du système de demandes conditionnelles de facteurs de production variables pour linéariser le terme aléatoire composé.

Chapitre 2

Présentation du système de santé et de
la base de données sur les hôpitaux
Québécois

2.1 Introduction

Pour mettre en œuvre notre contribution sur la décomposition de l'inefficacité de la production, nous utilisons une base de données complète de 1981 à 2009 de l'ensemble des hôpitaux Québécois avec chaque quantité de facteurs de production utilisés par les hôpitaux et chaque quantité de soins de santé réalisés. Cette base de données a été utilisée notamment dans les articles de Bilodeau et al. (2000), Crémieux et al. (2005), Bilodeau et al. (2009). Les données sur les finances des hôpitaux et sur les services réalisés par les hôpitaux proviennent du Ministère de la Santé et des Services Sociaux à travers les rapports financiers AS471 et les rapports statistiques AS477 que les hôpitaux doivent remplir annuellement. Les données sur les salaires des équipes médicales proviennent de la Régie de l'Assurance Maladie du Québec (RAMQ) tandis que les indices de prix utilisés proviennent de Statistique Canada

La première partie de ce chapitre est consacrée à présenter le système de santé Québécois, les trois parties suivantes vont nous permettre de décrire les facteurs de production variables, les facteurs de production quasi-fixes puis les différents services de santé réalisés par les hôpitaux. Nous présenterons aussi les statistiques descriptives de la base de données utilisée. Dans la cinquième et dernière partie, nous présenterons les variables permettant de capter l'hétérogénéité entre les établissements hospitaliers.

2.2 Présentation du système de santé Québécois

Dans le chapitre empirique de cette thèse, nous allons analyser l'efficacité des hôpitaux en particulier les hôpitaux Québécois. Le Québec est une province Canadienne dont la capitale est Québec. Cette province d'une superficie de 1.542.056 kilomètres carrés avait une population de 8.484.965 habitants en 2019. Chacune des provinces Canadiennes possèdent son parlement ainsi que son gouvernement gérant un budget. Les provinces Canadiennes ont plusieurs compétences notamment en matière de justice, d'éducation, de programme sociaux

mais également en matière de santé. La section de ce chapitre est consacrée à présenter le système de santé et de services sociaux au Québec et l'organisation de ce système.

2.2.1 La mise en place du système de santé

Le système de santé de la province de Québec a été mis en place à la suite de la Révolution Tranquille qui débute en 1960 et s'étend jusqu'aux années 70 caractérisée par le développement de l'Etat providence (Castonguay 2008). Ce système de santé a été construit en cinq étapes. En 1961, le Québec adopte le programme d'assurance hospitalisation. Ce programme assure le financement des différents soins hospitaliers de courte durée mais également des examens de laboratoire et de radiologie. En 1970, le Québec crée le système de santé et le régime d'assurance maladie (RAMQ) à la suite de l'adoption par l'assemblée nationale de la première loi sur les services de santé et les services sociaux. Ce régime d'assurance maladie a pour fondement l'accessibilité aux soins de santé et aux services sociaux. En 1992, la province du Québec crée les régies régionales de la santé et des services sociaux ayant la mission d'organiser les services de santé sur leur territoire et de gérer les budgets par établissement. En 1997, nous assistons à la création du régime d'assurance médicaments qui est un régime mixte associant le public et le privé dont le fondement est l'accès équitable aux médicaments requis par rapport à l'état de santé des patients. Enfin en 2004, le Québec crée des réseaux locaux de services de santé et de services sociaux en charge de la coordination des services de santé et permettre ainsi une meilleure accessibilité aux services de santé.

2.2.2 Missions du Ministère de la Santé et des Services Sociaux (MSSS) et des différents établissements de santé

Le Ministère de la Santé et des Services Sociaux (MSSS) « a pour mission de maintenir, d'améliorer et de restaurer la santé et le bien-être des Québécoises et des Québécois en rendant accessible un ensemble de services de santé et de services sociaux intégrés et de qualité, contribuant ainsi au développement social et économique du Québec » (Ministère

de la Santé et des Services Sociaux, 2016). Le Ministère de la Santé et des Services Sociaux exerce sa mission en partageant ses responsabilités avec les établissements de santé et de services sociaux répartis en régions sociosanitaires. Le territoire québécois est divisé en dix-huit régions sociosanitaires, chacune de ces régions sociosanitaires ayant des responsabilités au niveau de la gestion du réseau de la santé.

La Figure 2.1 indique la localisation des différentes régions sociosanitaires. Les numéros correspondent aux régions sociosanitaires suivantes :

TABLEAU 2.1: Nom des régions sociosanitaires du Québec

Numéro	Nom de la région sociosanitaire
1	Bas-Saint-Laurent
2	Saguenay-Lac-Saint-Jean
3	Capitale-Nationale
4	Mauricie et Centre-du-Québec
5	Estrie
6	Montréal
7	Outaouais
8	Abitibi-Témiscamingue
9	Côte-Nord
10	Nord-du-Québec
11	Gaspésie-Îles-de-le-Madeleine
12	Chaudières-Appalaches
13	Laval
14	Lanaudière
15	Laurentides
16	Montérégie
17	Nunavik
18	Terres-Cries-de-la-Baie-James

FIGURE 2.1: Localisation des régions sociosanitaires du Québec



Source : Ministère de la Santé et des Services Sociaux (2015)

Dans ces régions sociosanitaires, différents établissements interviennent dans la fourniture de soins de santé à la population. Il existe cinq types d'établissements selon les services généraux et spécialisés correspondant aux cinq grandes missions définies par la loi sur les services de santé et les services sociaux. Les définitions sont celles du Ministère de la Santé et des Services Sociaux.

- Centre Local de Services Communautaires (CLSC). « Les centres locaux de services communautaires ont pour mission d'offrir, en première ligne à la population du territoire qu'ils desservent, des services de santé et des services sociaux courants, de nature préventive ou curative, de réadaptation ou de réinsertion » (Ministère de la Santé et des Services Sociaux, 2016).

- Centre Hospitalier (CH). « Les centres hospitaliers ont pour mission d'offrir des services diagnostiques et des soins médicaux généraux et spécialisés dans les secteurs de la santé physique (CHSGS) ou de la santé mentale (CHPSY) » (Ministère de la Santé et des Services Sociaux, 2016).

- Centre d'Hébergement et de Soins de Longue Durée (CHSLD). « Les centres d'hébergement et de soins de longue durée ont pour mission d'offrir, de façon permanente ou temporaire, un milieu de vie substitut, des services d'hébergement, d'assistance, de soutien et de surveillance, ainsi que des services de réadaptation, psychosociaux, infirmiers, pharmaceutiques et médicaux aux adultes qui, en raison de leur perte d'autonomie fonctionnelle ou psychosociale, ne peuvent plus demeurer dans leur milieu de vie naturel malgré le support de leur entourage » (Ministère de la Santé et des Services Sociaux, 2016).

- Centre de Protection de l'Enfance et de la Jeunesse (CPEJ). « Les centres de protection de l'enfance et de la jeunesse ont pour mission d'offrir, dans la région, des services de nature

psychosociale, y compris des services d'urgence sociale requis par la situation d'un jeune en vertu de la loi, ainsi qu'en matière de placement d'enfants, de médiation familiale, d'expertise à la Cour supérieure sur la garde d'enfants, d'adoption et de recherche des antécédents biologiques » (Ministère de la Santé et des Services Sociaux, 2016).

- Centre de Réadaptation (CR). « Les centres de réadaptation ont pour mission d'offrir des services d'adaptation, ainsi que de réadaptation et d'intégration sociale, à des personnes qui, en raison de leurs déficiences physiques ou intellectuelles, de leur difficultés d'ordre comportemental, psychosocial ou familial, ou à cause de leur alcoolisme ou autre toxicomanie, requièrent de tels services, de même que des services d'accompagnement et de support à leur entourage » (Ministère de la Santé et des Services Sociaux, 2016).

Le réseau est depuis 2003 regroupé en Centres de Santé et Services Sociaux (CSSS). Idéalement, les CSSS sont formés d'un Centre Hospitalier (CH), d'un ou plusieurs CLSC et d'un ou plusieurs CHSLD. Cette intégration découle du désir du MSSS de mieux coordonner les actions de ces trois types d'établissements dans une région donnée. Parfois, faute d'un type d'établissements, les CSSS ne sont formés que de deux types. Les établissements de santé que nous analysons dans cette thèse sont ces Centres de Santé et Services Sociaux.

Depuis la mise en application le 1er avril 2015 de la « Loi modifiant l'organisation et la gouvernance du réseau de la santé et des services sociaux » adoptée le 7 février 2015, les Centres de Santé et Services Sociaux (CSSS) ont été remplacés par les Centres Intégrés de Santé et Services Sociaux (CISSS). Ces CISSS sont au nombre de vingt-deux dont neuf d'entre eux sont des Centres Intégrés Universitaires de Santé et Services Sociaux (CIUSSS). Nous n'irons pas plus loin dans la description des Centres Intégrés de Santé et Services Sociaux (CISSS) car notre étude porte sur la période allant de 1981 à 2009 donc avant la création des CISSS.

2.2.3 Modes de financement des hôpitaux

Les hôpitaux Québécois sont dans un environnement non concurrentiel, le secteur hospitalier Québécois est en effet public bien qu'il existe des cliniques et des hôpitaux privés mais qui ne sont pas dans le champ d'étude de la thèse. Nous devons donc analyser la règle pour la détermination du budget annuel des hôpitaux. Les hôpitaux utilisent des facteurs de production appelés inputs pour produire des services de santé. Il existe deux types d'inputs :

- Les inputs variables sont des facteurs de production modifiables à court terme par les directeurs des hôpitaux.

- Les inputs quasi-fixes sont des facteurs de production qui ne sont pas modifiables à court terme et dont la fixation ne dépend pas des directeurs des hôpitaux. Nous devons donc également analyser la fixation des inputs quasi-fixes.

Un point important à souligner pour cette étude est qu'au Québec, la détermination des fonds octroyés chaque année par hôpital est décidée par le gouvernement en fonction de l'activité des années antérieures. La détermination du budget peut dépendre de deux approches :

- L'approche historique consistant à calculer le montant du budget de l'année actuelle en se basant sur l'année précédente et cela pour mieux contrôler le budget. Les budgets sont malgré tout ajustés pour prendre en compte les facteurs comme l'inflation, les investissements. Les budgets dépendent également de la population pour tenir compte des besoins de soins de santé des habitants.

- L'approche normative qui permet de déterminer le budget à partir de la combinaison des patients traités pour prendre en compte à la fois le nombre de patients soignés mais aussi les maladies traitées. Cette méthode a l'intérêt de mieux tenir compte de la productivité des hôpitaux et donc être plus juste que la méthode historique. Au Québec, le budget est déterminé grâce aux deux approches pour combiner les avantages de ces approches et réduire les inconvénients. De façon plus simple, si l'hôpital soigne davantage de patients une

année, il recevra plus de moyens l'année suivante mais ce budget dépend aussi des contraintes géographiques de l'hôpital, des considérations politiques du rôle de l'hôpital et des maladies traitées.

Cette allocation des ressources effectuée par l'Etat au travers des agences régionales de santé a suscité plusieurs critiques dans un rapport sur le financement du système de santé Québécois. Selon ce groupe de travail (Castonguay 2008), cette allocation des ressources sur la base d'une référence historique pose de nombreux problèmes concernant l'efficacité et la performance des hôpitaux :

- La budgétisation sur une base historique incite les directeurs d'hôpitaux à continuer dans la même voie sans exiger qu'ils tirent profit des possibilités qui s'offrent à eux.

- Les personnes connaissant le mieux la situation se trouvent éloignées de la prise de décision, la détermination du budget se fait au niveau gouvernemental et régional.

- Le calcul des budgets qui se font sur une base historique ne permet pas aux hôpitaux de s'adapter et déresponsabilise les administrations qui n'ont comme unique but de poursuivre les actions actuelles. Autrement dit, pour les gestionnaires, le respect des règles permet une sécurité en terme budgétaire alors qu'une innovation pouvant être coûteuse pourrait entraîner une éventuelle baisse du budget, on ne cherche donc pas à pousser l'innovation mais incite à l'inaction.

Concernant les bâtiments, leur construction n'est pas possible à court terme et donc les directeurs d'hôpitaux prennent la grandeur de l'hôpital comme donnée dans leur prise de décision. L'investissement et l'agrandissement des structures dépendent du gouvernement et non de la direction de l'hôpital dont le budget est affecté au fonctionnement de l'hôpital et non à l'investissement. Les bâtiments sont donc un input quasi-fixe. Cette centralisation de la décision d'investissement peut conduire à un investissement qui ne soit pas optimale et donc une structure trop grande compte tenu de la demande de soins de santé selon Bilodeau

et al. (2002). De la même manière que les bâtiments ou les équipements, les médecins sont considérés comme un input quasi-fixe pour les hôpitaux Québécois. L'affectation des médecins et le versement de leurs salaires ne dépendent pas des hôpitaux, cette décision est centralisée au niveau gouvernemental.

Pour résumer, la direction de l'hôpital prend comme donnée la dimension de l'hôpital, les équipements technologiques, le nombre et le salaire des médecins. En revanche, la direction a le pouvoir concernant le nombre de spécialités exercées que ce soit pour les services d'hospitalisations ou les services ambulatoires, les dépenses pour les heures de travail en excluant le travail des médecins, les dépenses de maintenance, d'administration, de fournitures, de médicaments et de nourriture.

2.3 Présentation des différents facteurs de production : inputs variables

Les hôpitaux transforment des facteurs de production, appelés inputs, en services de santé, appelés outputs. Les hôpitaux transforment les heures de travail, la quantité de médicaments, la quantité de nourriture, la quantité d'énergie, la quantité de fournitures qui sont des facteurs de production variables mais également des facteurs de production fixes tel que la quantité de médecins, de bâtiments et d'équipement pour produire des services ambulatoires, des services d'hospitalisation, des services de laboratoires, d'enseignement, de restauration et de blanchisserie. Nous décrirons dans cette partie les quantités des facteurs de production variables c'est à dire les facteurs de production qui sont sous le contrôle des directeurs des hôpitaux et qui sont modifiables à court terme.

2.3.1 La quantité de travail

L'un des facteurs de production principal que les hôpitaux utilisent pour produire des services de santé est le travail. Le travail dans cette catégorie correspond au travail des préposés

aux bénéficiaires, des infirmières, des brancardiers et à l'ensemble des agents travaillant à l'hôpital en excluant le travail des médecins. Au Québec, les médecins sont affectés et rémunérés par le gouvernement et cette décision ne revient pas aux directeurs des hôpitaux, par conséquent, le travail des médecins est un facteur de production quasi-fixes. La quantité de travail a été construite en déflatant la dépense nominale en travail par rapport à l'indice du prix du travail. Les données concernant la dépense en travail proviennent du Ministère de la Santé et des Services Sociaux (Rapport financier AS471) tandis que l'indice de prix provient de Statistique Canada.

2.3.2 La quantité de médicaments

Conjointement au travail, les hôpitaux utilisent des médicaments pour traiter et soigner les patients. La base de données prend en compte la quantité de médicaments utilisés par hôpital. La quantité de médicaments a été calculée par la dépense totale en médicaments déflatée par l'indice du prix des médicaments. Les données concernant les dépenses en médicament proviennent du Ministère de la Santé et des Services Sociaux (Rapport financier AS471) tandis que l'indice de prix provient de Statistique Canada.

2.3.3 La quantité de nourriture

Un autre input des hôpitaux est la nourriture pour nourrir les patients hospitalisés recevant des soins de santé. La base de données contient la quantité de nourriture qui a été obtenue par la dépense totale en nourriture pour les patients hospitalisés déflatée par l'indice du prix de la nourriture de restaurant incluant les boissons non-alcoolisées. Les données concernant les dépenses en alimentation pour les patients hospitalisés sont communiquées par le Ministère de la Santé et des Services Sociaux (Rapport financier AS471) tandis que l'indice de prix provient de Statistique Canada.

2.3.4 La quantité de fournitures

Les hôpitaux utilisent du travail, des médicaments, de la nourriture mais également des fournitures pour produire des soins de santé comme par exemple des gants. La quantité de fournitures est calculée par les dépenses totales de l'administration, de la maintenance et de la sécurité déflatées par l'indice du prix des fournitures. Les données concernant les dépenses totales de l'administration, de la maintenance et de la sécurité sont transmises par le Ministère de la Santé et des Services Sociaux (Rapport financier AS471) tandis que l'indice de prix provient de Statistique Canada.

2.3.5 La quantité d'énergie

Les hôpitaux utilisent également de l'énergie pour le fonctionnement des appareils médicaux, l'éclairage et le chauffage des bâtiments. La quantité d'énergie est donnée par la valeur nominale de la dépense en mazout, gaz et électricité divisée par l'indice de prix de l'énergie. Le prix de l'énergie est un indice de Fisher basé sur les prix du mazout, du gaz et de l'électricité pondérés par les valeurs nominales des dépenses pour chaque source d'énergie. Les données concernant les dépenses totales en énergie consommée par catégorie sont transmises par le Ministère de la Santé et des Services Sociaux (Rapport financier AS471) tandis que les indices de prix sont issus de Statistique Canada.

2.3.6 La quantité d'autres inputs

Enfin, la base prend en compte les autres facteurs de production variables qui n'entrent pas dans les facteurs de production variables donnés ci-dessus. Il est difficile d'obtenir la quantité des autres facteurs de production car la composition est variée mais il faut malgré tout les prendre en compte car c'est une composante des inputs utilisés par les hôpitaux pour produire des services de santé. La quantité des autres inputs a été calculée par la dépense totale des autres inputs déflatée par le PIB qui est l'indice du prix le plus pertinent étant

donné la composition variée des inputs entrant dans cette catégorie. Les informations sur les autres facteurs de production sont communiquées par le Ministère de la Santé et des Services Sociaux (Rapport statistique AS471).

2.4 Présentation des différents facteurs de production : inputs quasi-fixes

Nous décrivons dans cette partie les quantités des facteurs de production quasi-fixes c'est à dire les inputs qui ne sont pas sous le contrôle des directeurs des hôpitaux et qui sont modifiables seulement à long terme. Au Québec, les médecins sont affectés par le gouvernement, ils ne sont pas donc pas sous le contrôle des directeurs des hôpitaux. Les investissements dans les équipements médicaux et la construction des bâtiments sont des décisions qui prennent du temps, ils sont différenciés donc des facteurs de production variables qui sont sous le contrôle des directeurs des hôpitaux.

2.4.1 La quantité de médecins

Au Québec, les médecins sont affectés et payés par le gouvernement et non par les hôpitaux, cette quantité de médecins est considérée comme un facteur de production mais sous la forme d'un facteur quasi-fixe car c'est un élément hors de contrôle des directeurs des hôpitaux. La quantité de médecins est donnée par un indice fourni par le Ministère de la Santé et des Services Sociaux (Rapport statistique AS477).

2.4.2 Le stock d'équipement

La base de données prend en compte le stock d'équipement dont les hôpitaux disposent. Le stock d'équipement est calculé en utilisant la méthode de l'inventaire perpétuel $k_{t+1} = k_t(1 - \delta) + Invest_t$ où k_t est la quantité d'équipement à la date t , le taux de dépréciation est égal à $\delta = 2/11$ avec onze qui est la durée de vie des équipements hospitaliers et $Invest_t$

est l'investissement en fourniture et en équipement à la date t . Les données concernant les dépenses d'investissement en fourniture et en équipement sont communiquées par le Ministère de la Santé et des Services Sociaux (Rapport financier AS471). L'indice de prix et la durée de vie des équipements hospitaliers sont donnés par Statistique Canada. La série est construite sous l'hypothèse que les hôpitaux sont à l'équilibre stationnaire la première année c'est à dire que $k_{1981} = Invest_{1981}/\delta$

2.4.3 La superficie des bâtiments

Enfin, le dernier input utilisé est la superficie en nombre de mètres carrés des hôpitaux qui inclue la superficie des chambres, des salles d'opération ou de l'accueil. Cette information est transmise par le Ministère de la Santé et des Services Sociaux (Rapport financier AS471).

2.5 Présentation des différents services de santé : outputs

Les hôpitaux transforment les facteurs de production variables (Quantité de travail, quantité de médicaments, quantité de nourriture, quantité de fournitures et la quantité des autres inputs) et quasi-fixes (Quantité de médecins, le stock d'équipement et la superficie des bâtiments) en services de santé c'est à dire en services d'hospitalisation, en services ambulatoires, en services de laboratoire, en services de restauration et de blanchisserie et en services d'enseignement.

2.5.1 Les patients hospitalisés

Un des services de santé réalisé par les hôpitaux est l'hospitalisation des patients qui correspond aux personnes recevant des soins nécessitant un lit. La base de données dispose du nombre de jours total des patients hospitalisés quel que soit le service d'admission (Urgence, soins intensifs, gynécologie, obstétrique, pédiatrie, gériatrie, chirurgie, psychiatrie et autre). Le nombre de jours total est une meilleure mesure que le nombre de lits utilisés car les lits sont

une variable substitutive pour l'input du capital plutôt que pour l'output. Cette information est donnée par le Ministère de la Santé et des Services Sociaux (Rapport statistique AS477).

2.5.2 Les services ambulatoires

Un autre type de services de santé réalisé par les hôpitaux sont les services ambulatoires qui correspondent aux personnes ayant une prescription médicale, qui reçoivent des soins mais ne nécessitant pas de lits. La base de données contient le nombre de visites des patients ayant subi un service ambulatoire. Cette donnée est transmise par le Ministère de la Santé et des Services Sociaux (Rapport statistique AS477).

2.5.3 Les services de laboratoire

Les laboratoires des hôpitaux produisent un grand nombre de services qui ne peuvent pas être traités individuellement car ils sont trop nombreux. On compte en particulier les activités de laboratoires, de médecine nucléaire, d'hémothérapie, d'électrocardiogramme, de rayons, d'électroencéphalogramme, de radiothérapie, d'inhalothérapie, d'audiologie, d'orthophonie, de physiothérapie, d'ergothérapie et enfin d'hémodialyse. Pour prendre en compte les services de laboratoire, la série agrège tous ces services de façon cohérente et compatible avec l'activité réelle des laboratoires. Pour ce faire, la base contient un indice de Fisher. Les volumes de chacune des activités sont donnés par le Ministère de la Santé et des Services Sociaux (Rapport statistique AS477).

2.5.4 Les services de restauration et de blanchisserie

Les hôpitaux fournissent en plus des soins de santé, des repas et ils doivent nettoyer le linge aux patients le désirant. Pour prendre en compte les services de restauration et de blanchisserie, la base dispose d'un indice de Fisher basé sur le nombre de repas servis sauf aux patients hospitalisés et de la quantité de linges nettoyés (services vendus uniquement).

Cette donnée est communiquée par le Ministère de la Santé et des Services Sociaux (Rapport statistique AS477).

2.5.5 Le nombre de résidents

Enfin, le dernier service réalisé par les hôpitaux est la formation des nouveaux médecins durant leurs études. La base de données prend en compte cette information en utilisant le nombre de résidents dans l'hôpital. Cette donnée sur le nombre de résidents dans chaque hôpital est fournie par le Ministère de la Santé et des Services Sociaux (Rapport statistique AS477).

Le tableau 2.2 présente les différentes statistiques descriptives sur les quantités et les prix des facteurs de production variables, sur les quantités de facteurs de production quasi-fixes et sur les quantités de services de santé réalisés

TABLEAU 2.2: Statistiques Descriptives (2,892 Observations)

Variables	Moyenne	Ecart type	Min	1er quartile	3ième quartile	Max
Inputs variables						
Quantité de travail	1,622,398.000	1,803,077.000	28,534	518,780.2	2,025,620.0	15,654,786
Quantité de médicaments	27,142.670	43,362.130	0.000	5,007.791	29,882.710	414,457.200
Quantité de nourriture	8,376.443	7,693.720	0.000	3,361.994	10,524.450	61,312.150
Quantité de fournitures	88,086.790	132,345.900	2,022.324	23,363.550	95,756.410	1,360,987.000
Quantité d'énergie	496,085.900	524,316.200	14,490.830	187,260.800	595,896.100	6,208,474.000
Quantité des autres matériaux	62,328.160	120,708.400	19.513	10,185.580	66,928.370	1,814,962.000
Prix du travail	29.488	3.639	21.786	26.041	31.999	50.682
Prix des médicaments	90.131	10.783	66.000	83.333	97.812	101.535
Prix de la nourriture	92.391	8.322	80.472	83.602	97.761	107.651
Prix des fournitures	103.885	6.149	88.219	103.015	107.480	113.455
Prix de l'énergie	1.952	0.518	0.987	1.654	2.225	3.406
Prix du PIB	85.885	15.160	55.000	74.400	96.200	112.400
Inputs quasi-fixes						
Nombre de médecins	0.192	0.189	0.000	0.063	0.260	1.366
Stock d'équipement	71,569.830	108,794.300	0.000	16,950.280	79,088.530	1,202,951.000
Superficie des bâtiments	39,077.970	38,795.705	1,526	13,379	48,155	304,033
Outputs						
Jours d'hospitalisation	103,833.500	90,538.000	2,029	41,708.2	135,932	585,673
Visites services ambulatoires	109,235.300	142,693.600	0.000	28,169	130,305	1,263,806
Services de laboratoire	0.711	2.564	0.000	0.105	0.545	88.942
Restauration et blanchisserie	0.104	0.139	0.000	0.026	0.122	0.994
Nombre de résidents	20.635	62.761	0.000	0.000	0.000	562

2.6 Hétérogénéité entre les établissements hospitaliers

2.6.1 Municipalité Régionale de Comté

De manière à prendre compte l'hétérogénéité entre les hôpitaux dans le chapitre empirique de la thèse, nous avons cherché des variables permettant d'expliquer l'utilisation plus importante de facteurs de production par un hôpital que les autres qui n'est pas expliquée par une mauvaise gestion de la direction des hôpitaux. Nous avons pour cela retrouvé pour chacun des établissements hospitaliers de notre base de données la localisation dans les Municipalités Régionales de Comté (MRC). Une MRC est un regroupement de plusieurs municipalités de différentes tailles, la MRC assume plusieurs compétences notamment les compétences en matière d'aménagement et d'urbanisme mais aussi en matière de gestion des cours d'eau régionaux. Le tableau 2.3 indique le nombre d'hôpitaux par Municipalité Régionale de Comté. Comme nous pouvons le voir, les MRC ont souvent un seul centre hospitalier et donc la MRC d'implantation de l'hôpital est un bon indicateur pour prendre en compte l'hétérogénéité en terme de patients à traiter.

2.6.2 Coordonnées géographiques et éloignement par rapport au CHUM

Nous avons utilisé les coordonnées géographiques des établissements hospitaliers de façon à prendre en compte les différences de climats mais également de revenus des ménages et de densité de population. En effet, la province du Québec a une superficie de 1.542.056 kilomètres carrés et dispose de plusieurs types de climat. Au sud du 51ème degré de latitude, le climat est continental froid et humide. Entre le 51ème et le 58ème degré de latitude, le climat est continental subpolaire tandis qu'au Nord du 58ème, le climat est polaire. Le problème auquel nous faisons face est que nous disposons de deux hôpitaux dans la zone de climat continental subpolaire et d'un seul hôpital dans la zone de climat polaire. Pourtant, plus nous nous éloignons vers le nord et plus le climat est froid et polaire.

TABLEAU 2.3: Nombre d'hôpitaux par Municipalité Régionale de Comté

Municipalité Régionale de Comté	Nombre hôpitaux
Abitibi (880)	1
Abitibi-Ouest (870)	1
Administration régionale Kativik (992)	2
Antoine-Labelle (790)	1
Argenteuil (760)	1
Arthabaska (390)	1
Avignon (060)	1
Beauce-Sartigan (290)	1
Beauharnois-Salaberry (700)	1
Brome-Missisquoi (460)	1
Charlevoix-Est (150)	2
Communauté maritime des Îles-de-la-Madeleine (010)	1
Deux-Montagnes (720)	1
Drummond (490)	1
Eeyou Istchee (993)	1
Gatineau (810)	4
Jamésie (991)	1
Joliette (610)	1
Kamouraska (140)	1
La Côte-de-Beaupré (210)	1
La Côte-de-Gaspé (030)	1
La Haute-Côte-Nord (950)	1
La Haute-Gaspésie (040)	1
La Haute-Yamaska (470)	2
La Matanie (080)	1
La Matapédia (070)	1
La Rivière-du-Nord (750)	1
La Tuque (900)	1
La Vallée-de-l'Or (890)	1
La Vallée-de-la-Gatineau (830)	1
Lac-Saint-Jean-Est (930)	1
Laval (650)	2
Le Domaine-du-Roy (910)	1
Le Granit (300)	1
Le Haut-Richelieu (560)	1
Le Haut-Saint-Laurent (690)	1
Le Rocher-Percé (020)	1
Les Appalaches (310)	1
Les Collines-de-l'Outaouais (820)	1

Municipalité Régionale de Comté	Nombre hôpitaux
Les Laurentides (780)	1
Les Maskoutains (540)	1
Les Moulins (640)	1
Les Sources (400)	1
Lévis (251)	1
Longueuil (580)	2
Manicouagan (960)	1
Maria-Chapdelaine (920)	1
Maskinongé (510)	1
Memphrémagog (450)	1
Montmagny (180)	1
Montréal (660)	38
Nicolet-Yamaska (500)	1
Pierre-De Saurel (530)	1
Pontiac (840)	1
Québec (230)	11
Rimouski-Neigette (100)	1
Rivière-du-Loup (120)	1
Robert-Cliche (270)	1
Roussillon (670)	1
Rouyn-Noranda (860)	1
Saguenay (941)	2
Sept-Rivières (971)	1
Shawinigan (360)	2
Sherbrooke (430)	5
Témiscouata (130)	1
Trois-Rivières (371)	4
Total Général	130

Nous avons décidé de prendre comme variable substitutive l'éloignement des hôpitaux par rapport au Centre Hospitalier Universitaire de Montréal (CHUM) sous la forme de la distance géographique séparant les hôpitaux du CHUM. Ainsi, plus la distance géographique est élevée, plus les conditions climatiques sont défavorables. Cette mesure de la distance entre les hôpitaux et le CHUM permet également de prendre divers facteurs permettant d'expliquer l'hétérogénéité comme par exemple la densité de population ou le revenu des

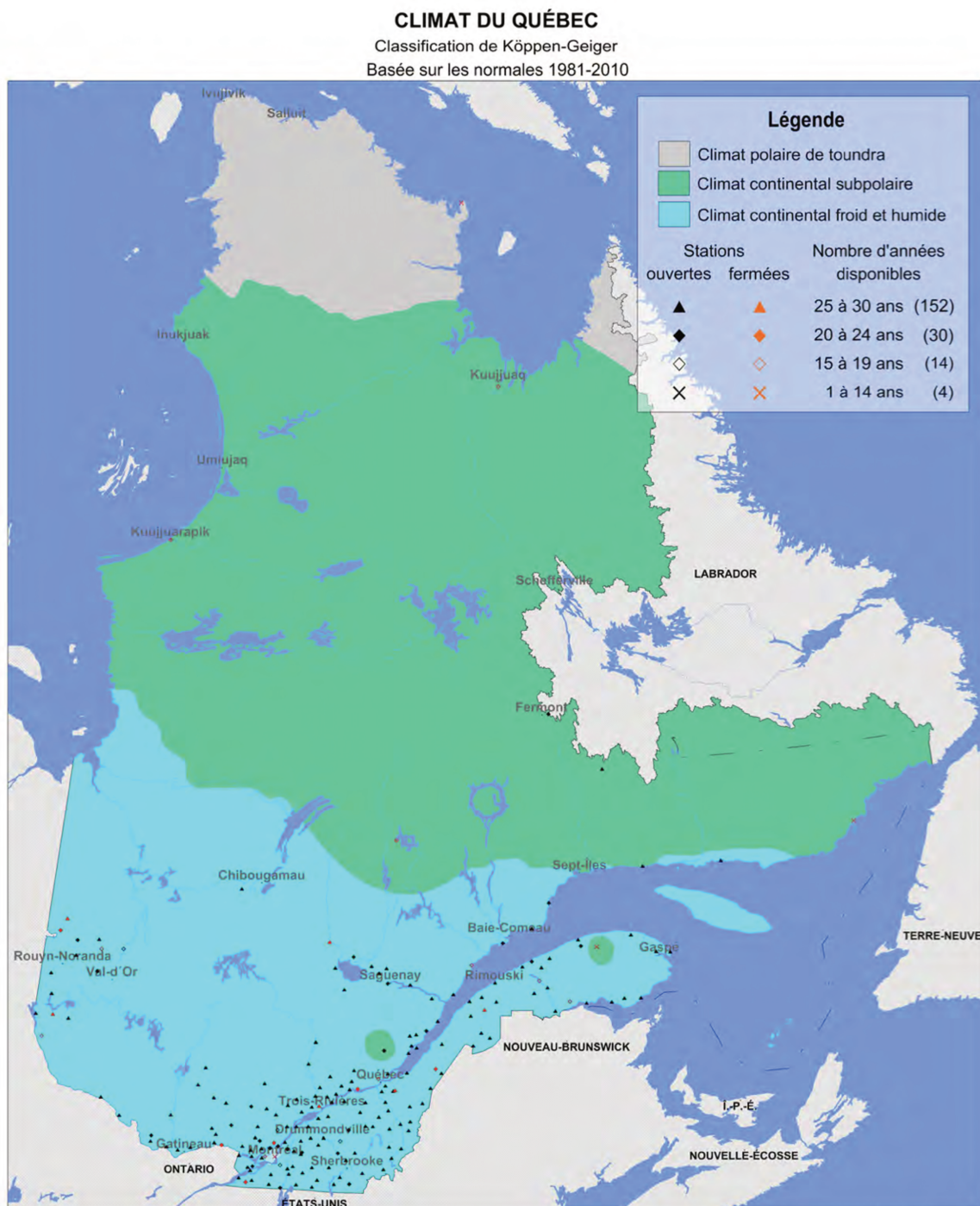
ménages. A Montréal, la densité de population est la plus élevée du Québec et les ménages ont des revenus importants. Plus nous nous éloignons du centre-ville de Montréal, moins la densité de population est importante et moins les ménages ont des revenus élevés. La distance géographique par rapport au CHUM est donc une variable substitutive permettant à la fois de capter les différences de température et de climat mais permet également de capter les différences de densité de population et de revenus des ménages.

La distance géographique qui a été utilisée pour estimer l'éloignement des hôpitaux par rapport au CHUM a été estimée à partir des coordonnées géographiques c'est à dire la latitude et la longitude en utilisant la distance orthodromique qui est la plus courte distance entre deux points sur une sphère. Cette distance est appelée couramment « la distance à vol d'oiseau » ou « la distance du grand cercle ». Les distances ont été calculées à l'aide du package « Géosphère » de R qui suppose que la terre est sphérique en ignorant les effets ellipsoïdaux.

Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté la mise en place du système de santé Québécois depuis sa mise en place au début des années 1960 jusqu'aux années concernées par l'étude en présentant les missions actuelles du Ministère de la Santé et des Services Sociaux et la responsabilité des différents établissements de santé et de services sociaux intervenant dans la fourniture de soins de santé à la population. Nous avons présenté dans ce chapitre la base de données utilisée dans le chapitre empirique de la thèse qui provient de Binet et al. (2020). Cette base de données contient l'ensemble des hôpitaux Québécois pour la période allant de 1981 à 2009 et inclut les quantités de facteurs de production utilisés par les hôpitaux et chaque quantité de soins de santé réalisés. Les données sur les finances des hôpitaux et sur les services réalisés par les hôpitaux proviennent du Ministère de la Santé

FIGURE 2.2: Différents climats au Québec, Classification de Köppen-Geiger



Source : Ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques

et des Services Sociaux à travers les rapports financiers AS471 et les rapports statistiques AS477 que les hôpitaux doivent remplir annuellement. Les données sur les salaires des équipes médicales proviennent de la Régie de l'Assurance Maladie du Québec tandis que les indices de prix utilisés proviennent de Statistique Canada. Enfin, nous avons présenté les variables permettant de capter l'hétérogénéité entre les établissements hospitaliers.

Chapitre 3

Chapitre méthodologique. Estimation de l'inefficacité technique et allocative à l'aide du système de demandes conditionnelles de facteurs de production

3.1 Introduction

Dans le chapitre théorique, nous avons expliqué qu'il n'est pas facile d'estimer la fonction de coût conjointement au système de parts de coût étant donné le problème de non-linéarité des termes d'erreurs et le problème d'endogénéité inhérent à notre modèle théorique. Nous souhaitons estimer le système de demandes conditionnelles de facteurs de production variables nous permettant de caractériser la technologie de production. Etant donné la caractérisation de notre technologie de production à l'aide de la fonction de coût, nous serons également capables de mesurer l'inefficacité technique et l'inefficacité allocative. Nous pouvons écrire le système de demandes conditionnelles de facteurs de production variables sous forme logarithmique de manière à linéariser notre terme d'erreur composé. Rappelons que nous travaillons sur des données de panel.

$$\begin{aligned} \ln x_{1it}^{obs} &= \ln x_{1it}(\mathbf{w}, \mathbf{k}, \mathbf{y}, \gamma) - \ln \theta_{it} - \ln \xi_{1it} - \ln \zeta_{1it} \\ \ln x_{2it}^{obs} &= \ln x_{2it}(\mathbf{w}, \mathbf{k}, \mathbf{y}, \gamma) - \ln \theta_{it} - \ln \xi_{2it} - \ln \zeta_{2it} \\ &\vdots \\ \ln x_{Git}^{obs} &= \ln x_{Git}(\mathbf{w}, \mathbf{k}, \mathbf{y}, \gamma) - \ln \theta_{it} - \ln \xi_{Git} - \ln \zeta_{Git} \end{aligned}$$

Avec :

$g = 1, \dots, G$: Facteurs de production variables

$i = 1, \dots, N$: Entreprises / Firmes

$t = 1, \dots, T$: Années

En estimant ce système de demandes conditionnelles de facteurs de production variables, nous serons capable de mesurer l'inefficacité technique spécifique à chaque DMU mais commune à tous les facteurs de production variables (θ_{it}), de mesurer les inefficacités allocatives (ξ_{git}) expliquant que les entreprises n'utilisent pas une quantité de facteurs de production optimale étant donné les prix des facteurs de production variables mais également de mesu-

rer les chocs aléatoires (ζ_{git}). Nous travaillons sur des données de panel c'est à dire que nous observons les entreprises pendant plusieurs années, par conséquent, nous devons prendre en compte l'hétérogénéité entre les entreprises. Finalement, notre terme d'erreur se décompose en quatre termes aléatoires. Nous verrons par la suite que nous supposerons que notre technologie de production ne connaît pas de progrès technologique pour obtenir l'estimation de l'inefficacité technique variante dans le temps. Nous nous retrouvons avec le système suivant à estimer :

$$\begin{aligned}
\ln x_{1it}^{obs} &= \ln x_{1it}(\mathbf{w}, \mathbf{k}, \mathbf{y}, \gamma) + \tilde{\mu}_{1i} + \tilde{\theta}_{it} + \tilde{\xi}_{1it} + \tilde{\zeta}_{1it} \\
\ln x_{2it}^{obs} &= \ln x_{2it}(\mathbf{w}, \mathbf{k}, \mathbf{y}, \gamma) + \tilde{\mu}_{2i} + \tilde{\theta}_{it} + \tilde{\xi}_{2it} + \tilde{\zeta}_{2it} \\
&\vdots \\
\ln x_{Git}^{obs} &= \ln x_{Git}(\mathbf{w}, \mathbf{k}, \mathbf{y}, \gamma) + \tilde{\mu}_{Gi} + \tilde{\theta}_{it} + \tilde{\xi}_{Git} + \tilde{\zeta}_{Git}
\end{aligned}$$

Avec :

$\tilde{\mu}_{gi}$ qui vont contenir les éléments invariants dans le temps spécifiques à chaque entreprise.

$\tilde{\theta}_{it} = -\ln \theta_{it}$ qui est l'inefficacité technique commune à tous les facteurs de production variables mais spécifique à chaque firme et chaque année.

$\tilde{\xi}_{git} = -\ln \xi_{git}$ qui sont les inefficacités allocatives spécifiques à chaque facteur de production et spécifiques à chaque firme et à chaque année.

$\tilde{\zeta}_{git} = -\ln \zeta_{git}$ qui sont les chocs aléatoires spécifiques à chaque facteur de production et à chaque année.

Le système de demandes conditionnelles de facteurs de production a la particularité d'être un système d'équations apparemment indépendantes ou *Seemingly Unrelated Regressions* (SUR) qui doivent leur nom à Zellner (1962). Ce système d'équations a pour particularité d'avoir une estimation commune de plusieurs équations. Ces équations proviennent du même programme d'optimisation et ainsi aucune équation ne peut servir à expliquer une ou des va-

riables présentes dans les autres équations. On pourrait estimer de façon indépendante chaque équation du programme d'optimisation mais l'estimation conjointe de toutes les équations permet un gain d'efficacité grâce à la combinaison des informations contenues dans chaque équation.

Il existe plusieurs exemples en microéconomie qui ont cette spécificité d'être estimé conjointement pour améliorer les estimations. C'est le cas du système de demandes des consommateurs où chacun des consommateurs va dépenser son revenu pour consommer différents biens en prenant en compte ses préférences et les prix des biens et services. C'est le cas également du système de demandes conditionnelles de facteurs de production où l'entreprise va faire son choix de facteurs de production de manière à minimiser son coût de production sous la contrainte d'un certain niveau d'outputs à produire et en prenant en compte le prix des différents facteurs de production. La particularité des systèmes d'équations apparemment indépendantes est que les équations sont reliées entre elles par le fait que les termes d'erreurs sont corrélés. Par exemple, si les ménages ont un choc sur leurs revenus, alors il y aura des conséquences sur chacun des biens et services qu'ils consomment. Du fait que les équations sont reliées entre elles par leur terme d'erreur, la matrice de variances-covariances n'est pas sphérique et l'utilisation des moindres carrés ordinaires n'est pas possible.

Dans une première section de ce chapitre, nous ferons une revue de littérature sur les différentes méthodologies permettant de distinguer l'hétérogénéité de l'inefficacité dans le cadre de l'estimation d'une frontière stochastique tant dans le cas de l'utilisation d'effets fixes que dans le cas de l'utilisation d'effets aléatoires. Dans une deuxième section, nous présenterons le système de demandes conditionnelles de facteurs de production variables qu'on souhaite estimer avec la matrice de variances-covariances spécifique à notre modèle théorique. Nous présenterons enfin chaque étape de notre méthode d'estimation pour estimer notre système de demandes conditionnelles de facteurs de production variables.

3.2 Les frontières stochastiques : distinction entre l'hétérogénéité et l'inefficacité

Ce chapitre s'inscrit dans la littérature portant sur la mesure de l'inefficacité en proposant une nouvelle représentation de la technologie de production pour estimer l'inefficacité technique et allocative. Ce chapitre s'inscrit également dans une littérature assez récente visant à distinguer l'inefficacité de l'hétérogénéité.

Les frontières stochastiques ont été développées par Aigner, Lovell et Schmidt (1977) et Meeusen and Van Den Broeck (1977) en proposant une distinction du terme d'erreur en deux composantes indépendantes que sont l'inefficacité technique et le choc aléatoire. Les travaux qui ont suivis se sont focalisés sur la meilleure façon de mesurer l'inefficacité technique invariante dans le temps dans le cadre de l'utilisation de données de panel. Schmidt et Sickles (1984) ont développé une méthodologie pour estimer l'inefficacité technique invariante dans le temps avec des effets fixes tandis que l'approche de Pitt et Lee (1981) est d'estimer l'inefficacité technique avec un effet aléatoire. Le problème de ces méthodes est qu'on suppose que l'inefficacité technique est invariante dans le temps ce qui est une hypothèse forte si nous observons une entreprise pendant plusieurs années. Si l'inefficacité technique est invariante dans le temps, cela signifie que la direction des entreprises ne peut pas réduire cette inefficacité quelles que soient les décisions.

Les travaux suivants ont relâché cette hypothèse d'inefficacité technique invariante dans le temps tant dans le cadre de l'utilisation d'effet fixe avec l'article de Cornwell et al. (1990) que nous exposerons en détail à la section suivante, puis avec l'article de Lee et Schmidt (1993) qui vise à réduire le nombre de paramètres à estimer pour estimer l'inefficacité technique mais au prix de supposer que le sentier temporel de l'inefficacité est le même pour toutes les entreprises. Par conséquent, avec le modèle de Lee et Schmidt (1993) l'inefficacité technique

s'améliore ou s'aggrave pour toutes les entreprises. Des travaux ont relâché cette hypothèse également dans le cadre de l'utilisation d'effet aléatoire avec les articles de Kumbhakar (1991) et de Battese et Coelli (1992). La stratégie de ces auteurs est de décomposer l'inefficacité en deux composantes, la première composante résulte d'un effet aléatoire pour obtenir l'inefficacité invariante dans le temps spécifique à une entreprise, la deuxième composante résulte d'une fonction déterministe du temps venant multiplier l'inefficacité invariante dans le temps pour obtenir une estimation de l'inefficacité spécifique à chaque entreprise et variante dans le temps. La fonction déterministe du temps de Kumbhakar (1990) permet une grande flexibilité car l'évolution de l'inefficacité n'est pas contrainte à être monotone croissante ou monotone décroissante, elle peut être concave ou convexe selon le signe et l'amplitude des paramètres estimés de la fonction déterministe du temps.

$$G(t) = (1 + \exp(b_1 t + b_2 t^2))^{-1}$$

La fonction déterministe du temps de Battese et Coelli (1992) simplifie la fonction introduite par Kumbhakar (1990) car la fonction permet à l'inefficacité d'augmenter ou de décroître de façon exponentielle.

$$G(t) = \exp(-\gamma(t - T))$$

Feng et Serletis (2009) étendent la fonction de Battese et Coelli (1992) permettant comme la fonction de Kumbhakar (1990) que l'évolution de l'inefficacité ne soit pas contrainte à être monotone croissante ou monotone décroissante, elle peut être concave ou convexe selon le signe et l'amplitude des paramètres estimés de la fonction déterministe du temps.

$$G(t) = \exp(-\gamma_1(t - T) - \gamma_2(t - T)^2)$$

Enfin, Wang et Ho (2010) généralisent la fonction de Feng et Serletis (2009) en permettant d'avoir des variables dans la fonction déterministe qui soient spécifiques au temps et spéci-

fiques à chaque entreprise. Cette fonction permet ainsi de ne pas avoir la même évolution de l'inefficacité pour toutes les entreprises. Une présentation plus détaillée de ces fonctions déterministes du temps se retrouve dans l'article de Kumbhakar et al. (2014). Une façon différente mais néanmoins possible est d'utiliser des variables notamment relatives au temps à l'intérieur même de l'hypothèse de distribution sans avoir recours à deux composantes distinctes. Une première possibilité est d'introduire les variables dans la moyenne de l'hypothèse de distribution du terme aléatoire d'inefficacité comme Kumbhakar et Wang (2005) qui ont utilisé le modèle développé par Kneller et Stevens (2003). La deuxième possibilité qui a été plus utilisée est d'introduire les variables dans la variance de l'hypothèse de distribution comme dans les articles de Reifschneider et Stevenson (1991), Caudill et Ford (1993) ou encore Caudill et al. (1995). Wang (2002) introduit à la fois des variables dans la moyenne et dans la variance de l'hypothèse de distribution de l'inefficacité technique. Le problème de ces travaux est que les auteurs se focalisaient sur la mesure de l'inefficacité technique invariante ou variante dans le temps en ignorant une composante importante qui est l'hétérogénéité. Il a fallu attendre les travaux de Greene (2005a, 2005b) pour s'intéresser à la distinction entre l'hétérogénéité invariante dans le temps de l'inefficacité variante dans le temps. Cette section vise à faire une revue de littérature succincte sur les différentes méthodologies pour distinguer ces deux composantes.

Dans une première sous-section, nous verrons les travaux développés attribuant un effet aléatoire à l'hétérogénéité puis dans une deuxième sous-section, nous verrons les travaux estimant l'hétérogénéité avec des effets fixes ou avec des variables corrélées avec l'hétérogénéité

3.2.1 Hétérogénéité sous la forme d'effet aléatoire

Greene (2005a, 2005b) a été le premier à s'intéresser à la distinction entre l'inefficacité et l'hétérogénéité dans son étude financée par l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) pour estimer l'efficacité des systèmes de santé dans cent quatre-vingt-onze pays sur une pé-

riode de cinq ans. Les pays ont de grandes différences dans les caractéristiques économiques et culturelles, Greene (2004) s'est donc intéressé à l'hétérogénéité des pays et en particulier la distinction entre les caractéristiques économiques et culturelles des différents pays et l'efficacité de leur système de santé.

Greene (2004, 2005a, 2005b) a développé le modèle à véritable effets aléatoires en décomposant le terme d'erreur en trois termes aléatoires. Un terme aléatoire pour l'inefficacité technique spécifique à l'entreprise et variante dans le temps, un terme aléatoire pour le choc aléatoire spécifique à l'entreprise et variant dans le temps et enfin un terme aléatoire pour l'hétérogénéité spécifique à l'entreprise mais invariante dans le temps. Pour estimer ce modèle à véritable effets aléatoires, Greene propose d'utiliser une hypothèse de distribution pour chacun des effets aléatoires puis d'utiliser le maximum de vraisemblance. Colombi et al. (2014) ont repris le modèle développé par Greene en ajoutant un effet aléatoire spécifique à l'inefficacité technique permanente dans le temps pour avoir une distinction entre l'inefficacité technique permanente et donc invariante dans le temps et l'inefficacité technique transitoire et donc variante dans le temps. Ils proposent d'utiliser le maximum de vraisemblance où la somme des quatre effets aléatoires a une distribution *Closed-Skew Normal* (CSN). Ce résultat a été démontré par Arellano-Valle et Azzalini (2006) et par González-Farías et al. (2004).

Dans cette thèse, nous nous intéressons à la décomposition de l'inefficacité technique et de l'inefficacité allocative variante dans le temps dans le cadre de l'utilisation de données de panel. Néanmoins, nous pouvons citer les articles de Kumbhakar et Hjamarsson (1993), Kumbhakar et Heshmati (1995) et Kumbhakar et Hjamarsson (1998) qui visent à décomposer l'inefficacité permanente dans le temps et donc invariante dans le temps de l'inefficacité transitoire et donc variante dans le temps.

3.2.2 Hétérogénéité sous la forme d'effet fixe

Greene a développé également le modèle à véritable effets fixes en décomposant le terme d'erreur en deux termes aléatoires, un terme aléatoire pour l'inefficacité technique spécifique à l'entreprise et variante dans le temps et un terme aléatoire pour les chocs aléatoires spécifiques à l'entreprise. À la différence du modèle à véritable effets aléatoires, ce modèle prend en compte l'hétérogénéité invariante dans le temps sous la forme d'un effet fixe spécifique à chaque entreprise. Cette méthode est relativement simple car il suffit d'ajouter autant de variables dichotomiques que d'entreprises présentent dans le panel d'observations. Ce modèle pourrait être sujet à un problème de paramètres incidentales si nous avons peu d'années d'observations et de nombreuses entreprises. Greene (2005b) prouve que le problème de paramètres incidentales ne provoque pas un biais significatif pour les paramètres estimés lorsque le nombre d'années d'observation est élevé. Pour corriger ce problème potentiel, Wang et Ho (2010) reprennent le modèle en proposant d'utiliser soit une différenciation première soit une transformation within pour éliminer les effets fixes.

Parallèlement, une autre méthodologie a été proposée pour prendre en compte l'hétérogénéité et permettre ainsi de distinguer l'hétérogénéité de l'inefficacité. Guan et al. (2009) proposent d'utiliser un ensemble de variables invariantes dans le temps spécifiques à chacune des entreprises pour permettre de capter l'hétérogénéité. Ainsi, au lieu de se contenter d'une variable dichotomique par entreprise, nous pouvons utiliser un ensemble de variables qui soient corrélées avec l'hétérogénéité mais non corrélées avec l'inefficacité. Cette méthodologie solutionne également le fait que l'utilisation d'une variable dichotomique a été utilisée dans la littérature pour prendre en compte l'hétérogénéité invariante dans le temps alors que certains articles attribuaient à la variable dichotomique l'estimation de l'inefficacité permanente dans le temps.

Kutlu et al. (2019) ont proposé le modèle à véritable effets individuels variant dans le

temps. Ce modèle, à la différence des autres articles cités précédemment, relâche l'hypothèse d'invariance dans le temps de l'hétérogénéité en développant un modèle permettant d'estimer conjointement l'inefficacité technique variante dans le temps sous la forme d'un effet aléatoire et d'estimer l'hétérogénéité variante dans le temps sous la forme d'un effet fixe. À la différence de Guan et al. (2009), Kutlu et al. (2019) proposent d'utiliser un ensemble de variables variantes dans le temps spécifiques à chacune des entreprises. Nous pouvons de cette manière trouver des variables corrélées avec l'hétérogénéité mais non corrélées avec l'inefficacité qui soient variables dans le temps. Dans cet article, Kutlu et al. (2019) proposent d'utiliser le polynôme du temps de deuxième ordre qui avait été proposé par Cornwell et al. (1990) pour estimer l'inefficacité technique variante dans le temps sans utiliser d'effet aléatoire.

Nous verrons dans la suite de ce chapitre que nous utiliserons la méthodologie de Guan et al. (2009) en proposant d'utiliser un ensemble de variables invariantes dans le temps pour estimer l'hétérogénéité invariante dans le temps. Nous utiliserons le polynôme du temps de deuxième ordre proposé par Cornwell et al. (1990) pour estimer l'inefficacité technique variante dans le temps et commune à tous les facteurs de production variables.

3.3 Estimation de l'inefficacité technique et allocative à l'aide du système de demandes conditionnelles de facteurs de production

Dans cette section, nous présentons notre contribution pour estimer l'inefficacité technique et allocative à l'aide du système de demandes conditionnelles de facteurs de production. La méthodologie consiste en trois étapes d'estimation, la première étape consiste à estimer le système de demandes par la Méthode des Moments Généralisée (MMG) pour caractériser la technologie de production et prendre en compte l'endogénéité entre les variables endogènes

et les résidus. La deuxième étape nous permettra d'estimer l'inefficacité technique variante dans le temps en adaptant Cornwell et al. (1990) en système. La troisième et dernière étape consiste à estimer l'hétérogénéité invariante dans le temps et à caractériser les matrices de variances-covariances des chocs aléatoires et de l'inefficacité allocative en prenant en compte la nature non-cylindré des données de panel.

Dans une première sous-section, nous présenterons le système de demandes conditionnelles de facteurs de production variables que nous allons estimer avec la matrice de variances-covariances du terme d'erreur composé. Dans une deuxième sous-section, nous présenterons chacune des étapes de notre méthode d'estimation.

3.3.1 Présentation du système avec la prise en compte de l'hétérogénéité

Le système de demandes conditionnelles de facteurs de production que nous souhaitons estimer est le suivant :

$$\begin{aligned}
 \ln x_{1it}^{obs} &= \ln x_{1it}(\mathbf{w}, \mathbf{k}, \mathbf{y}) + \tilde{\mu}_{1i} + \tilde{\theta}_{it} + \tilde{\xi}_{1it} + \tilde{\zeta}_{1t} \\
 \ln x_{2it}^{obs} &= \ln x_{2it}(\mathbf{w}, \mathbf{k}, \mathbf{y}) + \tilde{\mu}_{2i} + \tilde{\theta}_{it} + \tilde{\xi}_{2it} + \tilde{\zeta}_{2t} \\
 &\vdots \\
 \ln x_{Git}^{obs} &= \ln x_{Git}(\mathbf{w}, \mathbf{k}, \mathbf{y}) + \tilde{\mu}_{Gi} + \tilde{\theta}_{it} + \tilde{\xi}_{Git} + \tilde{\zeta}_{Gt}
 \end{aligned}$$

Avec $(\tilde{\theta}_{it} = -\ln \theta_{it})$, $(\tilde{\xi}_{git} = -\ln \xi_{git})$ et $(\tilde{\zeta}_{gt} = -\ln \zeta_{gt})$.

Comme vous pouvez le voir, nous avons supprimé la possibilité pour notre technologie de production de connaître du progrès technologique. Dans la littérature sur l'estimation de la technologie de production, nous utilisons traditionnellement une tendance permettant de capter le progrès technologique. Nous verrons dans la suite de cette section que l'utilisation de la tendance va servir à estimer l'inefficacité technique commune à tous les facteurs de

production variables, variante dans le temps et spécifique à chaque entreprise. La deuxième hypothèse que nous avons posée concerne la dimension des chocs aléatoires, nous supposons que les chocs aléatoires sont spécifiques à chaque facteur de production variable, spécifiques à chaque année mais communs à toutes les entreprises. Cette hypothèse est potentiellement forte mais est nécessaire comme on le verra à troisième étape de notre méthode d'estimation.

Notre système de demandes conditionnelles de facteurs de production variables est caractérisé par la matrice de variances-covariances suivante :

$$E(\boldsymbol{\varepsilon}_{it}\boldsymbol{\varepsilon}'_{js}) = \delta_{ij}\boldsymbol{\Sigma}_{\mu} + \delta_{ts}\boldsymbol{\Sigma}_{\zeta} + \delta_{ij}\delta_{ts}(\boldsymbol{\Sigma}_{\xi} + \boldsymbol{\Sigma}_{\theta})$$

Avec :

$$\delta_{ij} = 1 \text{ si } i = j \text{ et } \delta_{ij} = 0 \text{ si } i \neq j$$

$$\delta_{ts} = 1 \text{ si } t = s \text{ et } \delta_{ts} = 0 \text{ si } t \neq s.$$

La matrice de variances-covariances de l'inefficacité allocative est donnée par :

$$\boldsymbol{\Sigma}_{\xi} = \begin{pmatrix} \text{Var}(\tilde{\xi}_{1it}) & \text{Cov}(\tilde{\xi}_{1it}, \tilde{\xi}_{2it}) & \cdots & \text{Cov}(\tilde{\xi}_{1it}, \tilde{\xi}_{Git}) \\ \text{Cov}(\tilde{\xi}_{2it}, \tilde{\xi}_{1it}) & \text{Var}(\tilde{\xi}_{2it}) & \cdots & \text{Cov}(\tilde{\xi}_{2it}, \tilde{\xi}_{Git}) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \text{Cov}(\tilde{\xi}_{Git}, \tilde{\xi}_{1it}) & \text{Cov}(\tilde{\xi}_{Git}, \tilde{\xi}_{2it}) & \cdots & \text{Var}(\tilde{\xi}_{Git}) \end{pmatrix}$$

La matrice de variances-covariances des chocs aléatoires est donnée par :

$$\boldsymbol{\Sigma}_{\zeta} = \begin{pmatrix} \text{Var}(\tilde{\zeta}_{1t}) & \text{Cov}(\tilde{\zeta}_{1t}, \tilde{\zeta}_{2t}) & \cdots & \text{Cov}(\tilde{\zeta}_{1t}, \tilde{\zeta}_{Gt}) \\ \text{Cov}(\tilde{\zeta}_{2t}, \tilde{\zeta}_{1t}) & \text{Var}(\tilde{\zeta}_{2t}) & \cdots & \text{Cov}(\tilde{\zeta}_{2t}, \tilde{\zeta}_{Gt}) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \text{Cov}(\tilde{\zeta}_{Gt}, \tilde{\zeta}_{1t}) & \text{Cov}(\tilde{\zeta}_{Gt}, \tilde{\zeta}_{2t}) & \cdots & \text{Var}(\tilde{\zeta}_{Gt}) \end{pmatrix}$$

La matrice de variances-covariances de l'hétérogénéité est donnée par :

$$\Sigma_{\mu} = \begin{pmatrix} Var(\tilde{\mu}_{1i}) & Cov(\tilde{\mu}_{1i}, \tilde{\mu}_{2i}) & \cdots & Cov(\tilde{\mu}_{1i}, \tilde{\mu}_{Gi}) \\ Cov(\tilde{\mu}_{2i}, \tilde{\mu}_{1i}) & Var(\tilde{\mu}_{2i}) & \cdots & Cov(\tilde{\mu}_{2i}, \tilde{\mu}_{Gi}) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ Cov(\tilde{\mu}_{Gi}, \tilde{\mu}_{1i}) & Cov(\tilde{\mu}_{Gi}, \tilde{\mu}_{2i}) & \cdots & Var(\tilde{\mu}_{Gi}) \end{pmatrix}$$

La matrice de variances-covariances de l'inefficacité technique est donnée par :

$$\Sigma_{\theta} = \begin{pmatrix} Var(\tilde{\theta}_{it}) & Var(\tilde{\theta}_{it}) & \cdots & Var(\tilde{\theta}_{it}) \\ Var(\tilde{\theta}_{it}) & Var(\tilde{\theta}_{it}) & \cdots & Var(\tilde{\theta}_{it}) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ Var(\tilde{\theta}_{it}) & Var(\tilde{\theta}_{it}) & \cdots & Var(\tilde{\theta}_{it}) \end{pmatrix} = [Var(\tilde{\theta}_{it})]_{G \times G}$$

3.3.2 Estimation du système d'équations apparemment indépendantes en trois étapes

Dans cette sous-section, nous présentons chacune des étapes de notre méthode d'estimation.

3.3.2.1 Première étape : estimation du SUR par la méthode des moments généralisée

La première étape pour estimer notre système de demandes conditionnelles de facteurs de production va consister à estimer le système d'équations apparemment indépendantes par la méthode des moments généralisée. L'utilisation de la méthode des moments généralisée a été proposée par Tran et Tsionas (2013) pour estimer une frontière de production stochastique en présence de variables explicatives endogènes. Comme Tran et Tsionas (2013), nous avons de l'endogénéité dans le système de demandes de facteurs et nous devons veiller à utiliser une méthode d'estimation permettant de prendre en compte les problèmes d'endogénéité entre

les variables explicatives et le terme d'erreur composé.

Il y a peu de travaux portant sur la prise en compte de l'endogénéité lors de l'estimation d'une frontière de production stochastique. Tran et Tsionas (2013) ont développé l'estimation par la méthode des moments généralisée comme cité précédemment. Kutlu (2010) propose d'utiliser le maximum de vraisemblance via une procédure à deux étapes et teste la performance de son estimateur avec une simulation de Monte Carlo. La première étape consiste à prédire l'erreur de l'équation de la forme réduite via les moindres carrés ordinaires, la deuxième étape consiste à maximiser la log-vraisemblance obtenue grâce à la décomposition de Cholesky. L'estimateur de Kutlu (2010) obtenu grâce à la procédure du maximum de vraisemblance à deux étapes est simple à mettre en œuvre mais l'écart-type des paramètres estimés est incorrecte et non convergent. Kutlu (2010) soumet l'idée qu'un bootstrap pourrait permettre de corriger ce problème. Karakaplan et Kutlu (2017) ont repris le travail de Kutlu (2010) pour l'adapter à l'estimation d'une frontière de coût stochastique. Amsler et al. (2016) ont repris le même modèle que Kutlu (2010) et que Tran et Tsionas (2013) mais au lieu d'utiliser la décomposition de la matrice de variances-covariances de Cholesky, Amsler et al (2016) utilisent la factorisation de la densité des variables endogènes conditionnellement aux instruments puis s'intéressent à la manière dont l'estimateur des doubles moindres carrés (2SLS) et l'estimateur du maximum de vraisemblance avec information limitée (LIML) peuvent s'appliquer à l'estimation de la frontière de production stochastique. Giffiths et Hajargasht (2016) proposent d'utiliser le maximum de vraisemblance simulée et un estimateur bayésien. Ces différents articles ont en commun de reposer sur l'utilisation d'instruments pour la méthode d'estimation. Tran et Tsionas (2015) proposent d'utiliser une fonction Copula Gaussienne lorsqu'il n'y a pas de variables instrumentales disponibles.

À la première étape, nous proposons d'utiliser la méthode des moments généralisée en système pour caractériser la technologie de production des entreprises. Cette première étape

va ignorer les problèmes d'inefficacité et d'hétérogénéité mais va consister à caractériser la technologie de production en contrôlant les problèmes d'endogénéité. Guan et al. (2009) ont caractérisé une frontière de production permettant d'estimer le surplus de capital avec une estimation en deux étapes. La première étape consiste à estimer la technologie de production avec la méthode des moments généralisée en ignorant les problèmes d'inefficacité. La deuxième étape utilise les résidus issus de la première étape pour estimer une frontière stochastique avec la méthode du maximum de vraisemblance. Notre première étape s'inspire de l'article de Guan et al. (2009) en traitant les problèmes d'endogénéité pour ensuite réaliser des étapes supplémentaires sans se préoccuper de l'endogénéité qui aura été traitée. À la première étape, nous estimons donc le système de demandes conditionnelles de facteurs suivant :

$$\begin{aligned}
 \ln x_{1it}^{obs} &= \ln x_{1it}(\mathbf{w}, \mathbf{k}, \mathbf{y}) + \epsilon_{1it} \\
 \ln x_{2it}^{obs} &= \ln x_{2it}(\mathbf{w}, \mathbf{k}, \mathbf{y}) + \epsilon_{2it} \\
 &\vdots \\
 \ln x_{Git}^{obs} &= \ln x_{Git}(\mathbf{w}, \mathbf{k}, \mathbf{y}) + \epsilon_{Git}
 \end{aligned}$$

Un soin particulier doit être porté sur le choix des variables instrumentales pour l'estimation du système par la MMG. Nous reviendrons en détail dans le chapitre empirique sur le choix des instruments mais la stratégie consiste à utiliser la structure en panel de nos données en utilisant les variables retardées comme instruments. En prenant un retard d'ordre un ou d'ordre deux, nous allons pouvoir nous assurer de corriger les problèmes d'endogénéité entre les régresseurs et le terme d'erreur composé. Nous utiliserons le test de Hansen (1982) et de Sargan (1958) pour valider la spécification et l'ensemble d'instruments utilisé. Après la caractérisation de la technologie de production par l'estimation du système de demandes conditionnelles de facteurs de production variables, nous récupérerons les résidus $\epsilon_{1it}, \dots, \epsilon_{Git}$ qui vont servir comme variables à expliquer à la deuxième étape d'estimation.

La description de l'estimateur de la méthode des moments généralisée qui suit provient de Moon et Perron (2008). L'estimateur optimal de la méthode des moments généralisée est obtenu en minimisant la fonction objective des MMG avec le choix de la matrice optimale donné par :

$$\left(\hat{\Sigma} \otimes \left(\sum_{t=1}^T \mathbf{z}_t \mathbf{z}_t' \right) \right)^{-1}$$

La fonction objective de la méthode des moments généralisée est donnée par :

$$Q_{MMG}(\beta) = \left[\sum_{t=1}^T \mathbf{z}_t \left(\mathbf{Y}_t - \mathbf{A}(\beta)' \mathbf{X}_t \right)' \right]' \left(\Sigma \otimes \left(\sum_{t=1}^T \mathbf{z}_t \mathbf{z}_t' \right) \right)^{-1} \\ \times \left[\sum_{t=1}^T \mathbf{z}_t \left(\mathbf{Y}_t - \mathbf{A}(\beta)' \mathbf{X}_t \right)' \right]$$

La minimisation de cette fonction objective nous donne l'estimateur des MMG :

$$\hat{\beta}_{MMG} = \left\{ \mathbf{J}' \left(\hat{\Sigma} \otimes \left(\sum_{t=1}^T \mathbf{x}_t \mathbf{z}_t' \right) \left(\sum_{t=1}^T \mathbf{z}_t \mathbf{z}_t' \right)^{-1} \left(\sum_{t=1}^T \mathbf{z}_t \mathbf{x}_t' \right) \right)^{-1} \mathbf{J} \right\}^{-1} \\ \times \mathbf{J}' \left\{ \hat{\Sigma}^{-1} \otimes \left(\sum_{t=1}^T \mathbf{x}_t \mathbf{z}_t' \right) \left(\sum_{t=1}^T \mathbf{z}_t \mathbf{z}_t' \right)^{-1} \left(\sum_{t=1}^T \mathbf{z}_t \mathbf{x}_t' \right) \right\} \hat{\mathbf{A}}_{2SLS}$$

Avec :

$$\hat{\mathbf{A}}_{2SLS} = \left\{ \left(\sum_{t=1}^T \mathbf{x}_t \mathbf{z}_t' \right) \left(\sum_{t=1}^T \mathbf{z}_t \mathbf{z}_t' \right)^{-1} \left(\sum_{t=1}^T \mathbf{z}_t \mathbf{x}_t' \right) \right\}^{-1} \\ \times \left(\sum_{t=1}^T \mathbf{x}_t \mathbf{z}_t' \right) \left(\sum_{t=1}^T \mathbf{z}_t \mathbf{z}_t' \right)^{-1} \left(\sum_{t=1}^T \mathbf{z}_t \mathbf{x}_t' \right)$$

Qui est l'estimateur de $\mathbf{A}(\beta) = \text{diag}(\beta_1, \dots, \beta_G)$ des doubles moindres carrés. $\mathbf{J} = \text{diag}(i_1, \dots, i_G) \otimes \mathbf{I}$ où i_j signifie la jème colonne de la matrice identité \mathbf{I}_G . $\mathbf{Y}_t = [\mathbf{y}_{1t}, \dots, \mathbf{y}_{Gt}]'$ sont les variables à expliquer du système de demandes conditionnelles de facteurs de production variables, $\mathbf{X}_t = [\mathbf{x}'_{1t}, \dots, \mathbf{x}'_{Gt}]'$ sont les variables explicatives tandis que $\mathbf{Z}_t = [\mathbf{z}'_{1t}, \dots, \mathbf{z}'_{Gt}]'$

sont les variables instrumentales utilisées.

Après l'estimation de la technologie de production par la méthode des moments généralisée, nous devons récupérer les éléments contenant l'inefficacité technique, l'inefficacité allocative, l'hétérogénéité invariante dans le temps ainsi que l'effet purement aléatoire. Ces différents éléments vont se retrouver en partie dans la moyenne conditionnelle qui a été estimée par la méthode des moments généralisée et vont se retrouver en partie dans le résidu. L'inefficacité technique et allocative ainsi que l'hétérogénéité vont se retrouver à la fois dans la moyenne conditionnelle et dans le résidu alors que l'effet purement aléatoire se retrouve uniquement dans le résidu. Pour retrouver chacun des éléments, nous devons additionner les résidus aux constantes. Nous nous servons de ces valeurs comme variables à expliquer à la deuxième étape de notre méthode d'estimation.

Une solution similaire a été apportée par Kumbhakar et Hjalmarsson (1995) en proposant une estimation en trois étapes pour décomposer l'inefficacité permanente et l'inefficacité transitoire. À la première étape, ils estimaient une frontière de production par les moindres carrés ordinaires pour obtenir des estimateurs convergents sauf pour la constante. Après l'estimation de la première étape, Kumbhakar et Hjalmarsson (1995) ajoutent aux résidus la constante contenant de l'information sur l'inefficacité permanente et l'inefficacité transitoire.

Dans le chapitre empirique, nous verrons en détail le choix de la forme fonctionnelle, l'imposition de l'homogénéité de degré zéro ainsi que les restrictions entre les paramètres du système de demandes de facteurs de production. À ce stade, l'exposé consiste simplement à donner la méthode d'estimation pour la première étape.

3.3.2.2 Deuxième étape : estimation de l'inefficacité technique variante dans le temps.

L'étape précédente permet de caractériser la technologie de production mais ne permet pas de caractériser l'inefficacité technique variante dans le temps. Cette deuxième étape consiste à estimer l'inefficacité technique variante dans le temps en ne recourant pas un effet aléatoire. De manière à estimer l'inefficacité technique, nous pouvons chercher à trouver des variables qui soient corrélées avec l'inefficacité mais non corrélées avec l'hétérogénéité. Cette façon d'utiliser des variables corrélées avec l'inefficacité mais non corrélées avec l'hétérogénéité pour savoir dissocier ces deux effets a été proposée par Amsler et Schmidt (2019) mais l'utilisation de variables pour estimer l'inefficacité n'est pas récente. Comme nous avons vu précédemment, Schmidt et Sickles (1984) ont proposé d'utiliser des effets fixes pour estimer l'inefficacité invariante dans le temps en ignorant l'hétérogénéité entre les entreprises. Cette méthodologie a été reprise par Cornwell et al. (1990) pour obtenir une estimation de l'inefficacité telle que Schmidt et Sickles (1984) mais cette fois-ci variante dans le temps en utilisant des variables corrélées avec l'inefficacité.

Nous proposons d'adapter la méthodologie de Cornwell et al. (1990) qui a été développée dans le cadre de l'estimation d'une frontière de production pour la rendre opérationnelle dans le cas d'un système d'équations et en particulier dans le cadre d'un système de demandes conditionnelles de facteurs de production variables. De notre modèle théorique développé au premier chapitre, nous savons que l'inefficacité technique est commune à tous les facteurs de production variables mais est spécifique chaque année.

La stratégie bien connue dans la littérature de Cornwell et al. (1990) pour estimer l'inefficacité technique variante dans le temps est d'utiliser une constante, une tendance et une tendance au carré spécifique à chaque firme afin d'obtenir les paramètres estimés pour caractériser l'inefficacité technique. La stratégie de Cornwell et al. (1990) dans le cadre de l'estimation d'une frontière de production est d'estimer dans une première étape la techno-

logie grâce aux moindres carrés généralisés (MCG) puis dans une seconde étape, faire une estimation par entreprise en utilisant les résidus de la première étape.

$$\alpha_{it} = \delta_{i1} + \delta_{i2}t + \delta_{i3}t^2$$

Pour estimer l'inefficacité technique spécifique à une firme i et à une date t et permettre un classement entre les entreprises, nous devons pour une année donnée trouver pour quelle firme la valeur de $\hat{\alpha}_{it}$ est la plus importante. Une fois la valeur maximale de $\hat{\alpha}_{it}$ trouvée pour l'année t il suffit de soustraire à cette valeur $\hat{\alpha}_{it}$ pour trouver l'inefficacité technique \hat{u}_{it} de la firme i et à la date t :

$$\hat{\alpha}_t = \max_j (\hat{\alpha}_{jt})$$

$$\hat{u}_{it} = \hat{\alpha}_t - \hat{\alpha}_{it}$$

Notre proposition est d'adapter cette méthode de caractérisation de l'inefficacité technique en estimant dans une deuxième étape un nouveau système d'équations apparemment indépendantes par entreprise en imposant une restriction pour que les paramètres estimés $\delta_{i1}, \delta_{i2}, \delta_{i3}$ soient communs pour tous les facteurs de production variables. Nous supposons que ces variables ne vont capter que les éléments d'inefficacité technique mais pas l'inefficacité allocative qui n'est pas contrainte à être la même pour tous les facteurs de production variables ni l'hétérogénéité invariante qui n'est pas commune à tous les facteurs de production et qui sera caractérisée à la troisième étape.

$$y_{1it} = \delta_{i1} + \delta_{i2}t + \delta_{i3}t^2 + e_{1it}$$

$$y_{2it} = \delta_{i1} + \delta_{i2}t + \delta_{i3}t^2 + e_{2it}$$

$$\vdots$$

$$y_{Git} = \delta_{i1} + \delta_{i2}t + \delta_{i3}t^2 + e_{Git}$$

Après estimation, nous obtenons les valeurs prédites avec la particularité que :

$$\begin{aligned}\hat{y}_{1it} &= \hat{y}_{2it} = \dots = \hat{y}_{Git} \\ &= \hat{\alpha}_{it}\end{aligned}$$

étant donné que l'inefficacité technique est commune à tous les facteurs de production variables pour une firme i à une date t . Le niveau d'inefficacité technique spécifique à la firme i à la date t est obtenu de la façon suivante :

$$\begin{aligned}\hat{\alpha}_t &= \min_j (\hat{\alpha}_{jt}) \\ \hat{u}_{it} &= \hat{\alpha}_{it} - \hat{\alpha}_t\end{aligned}$$

Pour passer de l'estimation de l'inefficacité technique à l'estimation de l'efficacité technique il suffit de prendre l'exponentielle de la façon suivante :

$$\hat{\theta}_{it} = \exp\{-\hat{u}_{it}\}$$

3.3.2.3 Troisième étape : estimation des résidus de la deuxième étape sous la forme d'un système d'équations apparemment indépendantes

La méthodologie que nous allons mettre en œuvre pour estimer la troisième et dernière étape de notre système d'équations a initialement été développée par Biorn (2004) de manière à prendre en compte le caractère non-cylindré d'un panel et de prendre en considération un effet individuel aléatoire. Dans son article, Biorn développe une méthode d'estimation pour estimer un système d'équations apparemment indépendantes sur un panel non-cylindré par les moindres carrés généralisés et par le maximum de vraisemblance en permettant une décomposition du terme d'erreur pour prendre en compte l'hétérogénéité sous la forme d'un effet aléatoire. Sa méthodologie consiste à estimer le système d'équations apparemment indépendantes par les moindres carrés ordinaires pour avoir une première estimation des matrices

de variances-covariances des deux effets aléatoires grâce à la procédure within-between. Après l'estimation des matrices de variances-covariances, Biorn (2004) propose un stepwise entre les moindres carrés généralisés et le maximum de vraisemblance pour estimer les paramètres et la matrice de variances-covariances de l'hétérogénéité. Wangen et Biorn (2001) appliquent la méthodologie pour estimer un système de demandes pour expliquer la demande de cigarettes et de tabac à rouler selon l'hétérogénéité des consommateurs. Pour simplifier la procédure d'estimation, le stepwise mis en place se base uniquement sur les moindres carrés généralisés. Biorn et al. (2003) et Biorn (2014) reprennent la méthodologie initiale de Biorn (2004) pour prendre en compte l'hétérogénéité à la fois dans la constante mais aussi dans les coefficients estimés du système SUR.

La méthodologie de Biorn (2004) a ensuite été reprise par Platoni et al. (2012) pour prendre également en compte un effet temporel aléatoire. Cette prise en compte d'un effet temporel aléatoire élimine la possibilité d'estimer le système d'équations apparemment indépendantes par le maximum de vraisemblance mais permet d'utiliser la procédure de Biorn (2004) pour estimer les matrices de variances-covariances de chacun des effets aléatoires par les moindres carrés généralisés. A la troisième étape de notre procédure d'estimation, nous allons utiliser la méthodologie de Platoni et al. (2012) de façon à obtenir l'estimation des matrices de variances-covariances de l'inefficacité allocative, des chocs aléatoires et des effets spécifiques à chaque DMU.

Nous considérons un système de G équations qui sont indicées par $g = 1, \dots, G$. Nous avons un panel non-cylindré avec N individus indicés par $i = 1, \dots, N$. Les individus sont observés au moins une fois et au plus P fois. On note par N_p le nombre d'individus observés à la période p , $p = 1, \dots, P$ et on note par n le nombre total d'observations c'est à dire $N = \sum_{p=1}^P N_p$ et $n = \sum_{p=1}^P N_p p$

Les individus sont classés en P groupes tel que N_1 contient les individus observés une seule fois, N_2 contient les individus observés deux fois ... $M_p = \sum_{k=1}^p N_k$ est le nombre d'individus

cumulés observés jusque p fois tel que l'indice de l'ensemble des individus observés p fois peut être donné par $I_p = (M_{p-1} + 1, \dots, M_p)$ avec $p = 1, \dots, P$ et $M_0 = 0$. I_1 peut être considéré comme des données en coupes transversales et I_p peut être considéré comme un panel cylindré avec p observations pour chaque individu.

Le système d'équations $g = 1, \dots, G$ que nous souhaitons estimer est donné par :

$$\begin{aligned} \mathbf{y}_{it} &= \mathbf{X}_{it}\boldsymbol{\beta} + \tilde{\boldsymbol{\mu}}_i + \tilde{\boldsymbol{\zeta}}_t + \tilde{\boldsymbol{\xi}}_{it} \\ &= \mathbf{X}_{it}\boldsymbol{\beta} + \boldsymbol{\varepsilon}_{it} \end{aligned}$$

où $\mathbf{y}_{it} = (y_{1it}, \dots, y_{Git})'$, $\mathbf{X}_{it} = \text{diag}(\mathbf{x}_{1it}, \dots, \mathbf{x}_{Git})$, $\boldsymbol{\beta} = (\boldsymbol{\beta}'_1, \dots, \boldsymbol{\beta}'_G)'$,
 $\tilde{\boldsymbol{\mu}}_i = (\tilde{\mu}_{1i}, \dots, \tilde{\mu}_{Gi})$, $\tilde{\boldsymbol{\zeta}}_t = (\tilde{\zeta}_{1t}, \dots, \tilde{\zeta}_{Gt})$, $\tilde{\boldsymbol{\xi}}_{it} = (\tilde{\xi}_{1it}, \dots, \tilde{\xi}_{Git})$.

Concernant la décomposition de $\boldsymbol{\varepsilon}_{it}$, l'estimation par la méthode des moindres carrés généralisés va nous permettre de caractériser la matrice de variances-covariances des termes aléatoires suivants :

$\tilde{\boldsymbol{\xi}}_{it} = (\tilde{\xi}_{1it}, \dots, \tilde{\xi}_{Git})$ qui dans notre modèle théorique sont les inefficacités allocatives spécifiques à chaque facteur de production et spécifiques à chaque firme et à chaque année.

$\tilde{\boldsymbol{\zeta}}_t = (\tilde{\zeta}_{1t}, \dots, \tilde{\zeta}_{Gt})$ qui dans notre modèle théorique sont les chocs aléatoires spécifiques à chaque facteur de production et à chaque année. Nous avons posé l'hypothèse de façon à obtenir une solution pour l'identification de nos effets aléatoires de supposer que les chocs aléatoires comme les mauvaises conditions climatiques dans l'agriculture par exemple impacteront identiquement les différentes entreprises observées à une année donnée.

$\tilde{\boldsymbol{\mu}}_i = (\tilde{\mu}_{1i}, \dots, \tilde{\mu}_{Gi})$ qui dans notre modèle théorique vont contenir les éléments spécifiques à chaque entreprise et invariants dans le temps non pris en compte par nos variables captant l'hétérogénéité et l'inefficacité technique.

Nous supposons que $\tilde{\boldsymbol{\mu}}_i$, $\tilde{\boldsymbol{\zeta}}_t$ et $\tilde{\boldsymbol{\xi}}_{it}$ ont une espérance nulle et une matrice de variances-covariances $\boldsymbol{\Sigma}_\mu$, $\boldsymbol{\Sigma}_\zeta$, et $\boldsymbol{\Sigma}_\xi$ respectivement et sont mutuellement non corrélés et non corrélés

avec \mathbf{X}_{it} . Il s'en suit que : $E(\boldsymbol{\varepsilon}_{it}\boldsymbol{\varepsilon}'_{js}) = \delta_{ij}\boldsymbol{\Sigma}_\mu + \delta_{ts}\boldsymbol{\Sigma}_\zeta + \delta_{ij}\delta_{ts}\boldsymbol{\Sigma}_\xi$ où $\delta_{ij} = 1$ si $i = j$ et $\delta_{ij} = 0$ si $i \neq j$, $\delta_{ts} = 1$ si $t = s$ et $\delta_{ts} = 0$ si $t \neq s$.

Nous considérerons maintenant $\mathbf{y}_{i(p)} = (\mathbf{y}'_{i1}, \dots, \mathbf{y}'_{ip})'$, $\mathbf{X}_{i(p)} = (\mathbf{X}'_{i1}, \dots, \mathbf{X}'_{ip})'$ et $\boldsymbol{\varepsilon}_{i(p)} = (\boldsymbol{\varepsilon}'_{i1}, \dots, \boldsymbol{\varepsilon}'_{ip})'$ avec $i \in I_p$, $p = 1, \dots, P$ le système devient :

$$\begin{aligned}\mathbf{y}_{i(p)} &= \mathbf{X}_{i(p)}\boldsymbol{\beta} + (\mathbf{e}_p \otimes \tilde{\boldsymbol{\mu}}_i) + \tilde{\boldsymbol{\zeta}}_{(p)} + \tilde{\boldsymbol{\xi}}_{i(p)} \\ &= \mathbf{X}_{i(p)}\boldsymbol{\beta} + \boldsymbol{\varepsilon}_{i(p)}\end{aligned}$$

À la première étape d'estimation de notre système de demandes conditionnelles de facteurs de production, nous utilisons la méthode des moments généralisée pour prendre en compte les problèmes d'endogénéité inhérents à notre système. L'estimation du système de demandes à la première étape va nous fournir la caractérisation de la technologie de production utilisée par les firmes pour transformer les inputs en outputs. De l'estimation du système par la méthode des moments généralisée, nous récupérerons les résidus et les constantes qui vont contenir l'inefficacité technique et allocative et l'hétérogénéité.

La deuxième étape nous permet d'estimer l'inefficacité technique variante dans le temps grâce à l'adaptation de la méthodologie de Cornwell et al. (1990) pour la rendre opérationnelle dans le cadre d'un système où chaque équation est caractérisée par le même niveau d'inefficacité technique.

À la troisième étape, nous proposons une stratégie d'estimation pour identifier chacun des éléments contenus dans les résidus. A ce stade, il est nécessaire de faire un point sur les variables qui seront dans la matrice \mathbf{X}_{it} de nos régresseurs et des informations que va nous fournir l'estimation sur l'inefficacité. Concernant les régresseurs, l'estimation de la troisième étape va nous permettre d'estimer l'hétérogénéité en utilisant des variables corrélées avec l'hétérogénéité mais non corrélées avec l'inefficacité. Nous reviendrons en détail dans le chapitre empirique sur les variables utilisées.

La matrice de variances-covariances du terme d'erreur composé est donnée par :

$$\begin{aligned}
\Omega_p &= E(\boldsymbol{\varepsilon}_{i(p)}\boldsymbol{\varepsilon}'_{i(p)}) \\
&= \mathbf{I}_p \otimes (\boldsymbol{\Sigma}_\zeta + \boldsymbol{\Sigma}_\xi) + \mathbf{J}_p \otimes (\boldsymbol{\Sigma}_\mu) \\
&= \mathbf{E}_p \otimes (\boldsymbol{\Sigma}_\zeta + \boldsymbol{\Sigma}_\xi) + \bar{\mathbf{J}}_p \otimes (\boldsymbol{\Sigma}_\zeta + \boldsymbol{\Sigma}_\xi) + \mathbf{J}_p \otimes (\boldsymbol{\Sigma}_\mu) \\
&= \mathbf{E}_p \otimes (\boldsymbol{\Sigma}_\zeta + \boldsymbol{\Sigma}_\xi) + \bar{\mathbf{J}}_p \otimes (\boldsymbol{\Sigma}_\zeta + \boldsymbol{\Sigma}_\xi) + \bar{\mathbf{J}}_p \otimes p\boldsymbol{\Sigma}_\mu \\
&= \mathbf{E}_p \otimes (\boldsymbol{\Sigma}_\zeta + \boldsymbol{\Sigma}_\xi) + \bar{\mathbf{J}}_p \otimes (\boldsymbol{\Sigma}_\zeta + \boldsymbol{\Sigma}_\xi + p\boldsymbol{\Sigma}_\mu)
\end{aligned}$$

\mathbf{I}_p est une matrice identité de dimension p

\mathbf{J}_p est une matrice de valeur un de dimension p

$\mathbf{E}_p = \mathbf{I}_p - \bar{\mathbf{J}}_p$ avec $\bar{\mathbf{J}}_p = \mathbf{J}_p/p$

\mathbf{E}_p et $\bar{\mathbf{J}}_p$ sont symétriques, idempotentes et ont une colonne orthogonale.

L'inverse de la matrice de variances-covariances est donnée par :

$$\Omega_p^{-1} = \mathbf{E}_p \otimes (\boldsymbol{\Sigma}_\zeta + \boldsymbol{\Sigma}_\xi)^{-1} + \bar{\mathbf{J}}_p \otimes (\boldsymbol{\Sigma}_\zeta + \boldsymbol{\Sigma}_\xi + p\boldsymbol{\Sigma}_\mu)^{-1}$$

Si nous supposons que $\boldsymbol{\Sigma}_\zeta, \boldsymbol{\Sigma}_\xi$ et $\boldsymbol{\Sigma}_\mu$ sont connues, alors nous pouvons écrire l'estimateur des moindres carrés généralisés résolvant le problème de minimisation suivant :

$$\begin{aligned}
\sum_{p=1}^P \sum_{i \in I_p} \boldsymbol{\varepsilon}'_{i(p)} \Omega_p^{-1} \boldsymbol{\varepsilon}_{i(p)} &= \sum_{p=1}^P \sum_{i \in I_p} \boldsymbol{\varepsilon}'_{i(p)} [\mathbf{E}_p \otimes (\boldsymbol{\Sigma}_\zeta + \boldsymbol{\Sigma}_\xi)^{-1}] \boldsymbol{\varepsilon}_{i(p)} \\
&\quad + \sum_{p=1}^P \sum_{i \in I_p} \boldsymbol{\varepsilon}'_{i(p)} [\bar{\mathbf{J}}_p \otimes (\boldsymbol{\Sigma}_\zeta + \boldsymbol{\Sigma}_\xi + p\boldsymbol{\Sigma}_\mu)^{-1}] \boldsymbol{\varepsilon}_{i(p)}
\end{aligned}$$

Si nous appliquons les MCG sur les observations des individus observés p fois, nous obtenons :

$$\begin{aligned}
\boldsymbol{\beta}_p^{MCG} &= \left(\sum_{i \in I_p} \mathbf{X}'_{i(p)} \boldsymbol{\Omega}_p^{-1} \mathbf{X}_{i(p)} \right)^{-1} \left(\sum_{i \in I_p} \mathbf{X}'_{i(p)} \boldsymbol{\Omega}_p^{-1} \mathbf{y}_{i(p)} \right) \\
&= \left\{ \sum_{i \in I_p} \mathbf{X}'_{i(p)} [\mathbf{E}_p \otimes (\boldsymbol{\Sigma}_\zeta + \boldsymbol{\Sigma}_\xi)^{-1}] \mathbf{X}_{i(p)} + \sum_{i \in I_p} \mathbf{X}'_{i(p)} [\bar{\mathbf{J}}_p \otimes (\boldsymbol{\Sigma}_\zeta + \boldsymbol{\Sigma}_\xi + p\boldsymbol{\Sigma}_\mu)^{-1}] \mathbf{X}_{i(p)} \right\}^{-1} \\
&\quad \times \left\{ \sum_{i \in I_p} \mathbf{X}'_{i(p)} [\mathbf{E}_p \otimes (\boldsymbol{\Sigma}_\zeta + \boldsymbol{\Sigma}_\xi)^{-1}] \mathbf{y}_{i(p)} + \sum_{i \in I_p} \mathbf{X}'_{i(p)} [\bar{\mathbf{J}}_p \otimes (\boldsymbol{\Sigma}_\zeta + \boldsymbol{\Sigma}_\xi + p\boldsymbol{\Sigma}_\mu)^{-1}] \mathbf{y}_{i(p)} \right\}
\end{aligned}$$

Avec pour matrice de covariances :

$$\begin{aligned}
V(\boldsymbol{\beta}_p^{MCG}) &= \\
&\left[\sum_{i \in I_p} \mathbf{X}'_{i(p)} [\mathbf{E}_p \otimes (\boldsymbol{\Sigma}_\zeta + \boldsymbol{\Sigma}_\xi)^{-1}] \mathbf{X}_{i(p)} + \sum_{i \in I_p} \mathbf{X}'_{i(p)} [\bar{\mathbf{J}}_p \otimes (\boldsymbol{\Sigma}_\zeta + \boldsymbol{\Sigma}_\xi + p\boldsymbol{\Sigma}_\mu)^{-1}] \mathbf{X}_{i(p)} \right]^{-1}
\end{aligned}$$

Si nous appliquons les MCG sur toutes les observations, nous obtenons :

$$\begin{aligned}
\boldsymbol{\beta}^{MCG} &= \left(\sum_{p=1}^P \sum_{i \in I_p} \mathbf{X}'_{i(p)} \boldsymbol{\Omega}_p^{-1} \mathbf{X}_{i(p)} \right)^{-1} \left(\sum_{p=1}^P \sum_{i \in I_p} \mathbf{X}'_{i(p)} \boldsymbol{\Omega}_p^{-1} \mathbf{y}_{i(p)} \right) \\
&= \left\{ \sum_{p=1}^P \sum_{i \in I_p} \mathbf{X}'_{i(p)} [\mathbf{E}_p \otimes (\boldsymbol{\Sigma}_\zeta + \boldsymbol{\Sigma}_\xi)^{-1}] \mathbf{X}_{i(p)} + \sum_{p=1}^P \sum_{i \in I_p} \mathbf{X}'_{i(p)} [\bar{\mathbf{J}}_p \otimes (\boldsymbol{\Sigma}_\zeta + \boldsymbol{\Sigma}_\xi + p\boldsymbol{\Sigma}_\mu)^{-1}] \mathbf{X}_{i(p)} \right\}^{-1} \\
&\quad \times \left\{ \sum_{p=1}^P \sum_{i \in I_p} \mathbf{X}'_{i(p)} [\mathbf{E}_p \otimes (\boldsymbol{\Sigma}_\zeta + \boldsymbol{\Sigma}_\xi)^{-1}] \mathbf{y}_{i(p)} + \sum_{p=1}^P \sum_{i \in I_p} \mathbf{X}'_{i(p)} [\bar{\mathbf{J}}_p \otimes (\boldsymbol{\Sigma}_\zeta + \boldsymbol{\Sigma}_\xi + p\boldsymbol{\Sigma}_\mu)^{-1}] \mathbf{y}_{i(p)} \right\}
\end{aligned}$$

Avec pour matrice de covariances :

$$\begin{aligned}
V(\boldsymbol{\beta}^{MCG}) &= \\
&\left[\sum_{p=1}^P \sum_{i \in I_p} \mathbf{X}'_{i(p)} [\mathbf{E}_p \otimes (\boldsymbol{\Sigma}_\zeta + \boldsymbol{\Sigma}_\xi)^{-1}] \mathbf{X}_{i(p)} + \sum_{p=1}^P \sum_{i \in I_p} \mathbf{X}'_{i(p)} [\bar{\mathbf{J}}_p \otimes (\boldsymbol{\Sigma}_\zeta + \boldsymbol{\Sigma}_\xi + p\boldsymbol{\Sigma}_\mu)^{-1}] \mathbf{X}_{i(p)} \right]^{-1}
\end{aligned}$$

Pour estimer la matrice de variances-covariances de nos trois effets aléatoires, nous allons utiliser la procédure Within-Between. Cette procédure a été proposée par Biorn (2004) pour

développer son stepwise et a ensuite été reprise par Platoni et al (2012) en y ajoutant un effet aléatoire supplémentaire pour prendre en compte un effet aléatoire spécifique au temps. Nous devons tout d'abord définir mathématiquement les matrices Within et Between.

Matrice Within individuelle :

$$\mathbf{W}_{\varepsilon\varepsilon} = \sum_{i=1}^N \sum_{t=1}^{T_i} (\varepsilon_{it} - \bar{\varepsilon}_{i.} - \bar{\varepsilon}_{.t}) (\varepsilon_{it} - \bar{\varepsilon}_{i.} - \bar{\varepsilon}_{.t})'$$

Matrice Between individuelle :

$$\mathbf{B}_{\varepsilon\varepsilon}^C = \sum_{i=1}^N T_i (\bar{\varepsilon}_{i.} - \bar{\varepsilon}) (\bar{\varepsilon}_{i.} - \bar{\varepsilon})'$$

Matrice Between temporelle :

$$\mathbf{B}_{\varepsilon\varepsilon}^T = \sum_{t=1}^T N_t (\bar{\varepsilon}_{.t} - \bar{\varepsilon}) (\bar{\varepsilon}_{.t} - \bar{\varepsilon})'$$

T_i donne le nombre d'observations pour l'individu i .

Avec :

$$\begin{aligned} \bar{\varepsilon}_{gi.} &= \frac{\sum_{t=1}^{T_i} \varepsilon_{git}}{T_i} \\ \bar{\varepsilon}_{g.t} &= \frac{\sum_{i=1}^{N_t} \varepsilon_{git}}{N_t} \\ \bar{\varepsilon}_g &= \frac{\sum_{i=1}^N \sum_{t=1}^{T_i} \varepsilon_{git}}{n} = \frac{\sum_{i=1}^N (T_i \times \bar{\varepsilon}_{gi.})}{n} \\ \bar{\varepsilon}_g &= \frac{\sum_{t=1}^T \sum_{i=1}^{N_t} \varepsilon_{git}}{n} = \frac{\sum_{t=1}^T (N_t \times \bar{\varepsilon}_{g.t})}{n} \end{aligned}$$

Des matrices Within et Between, nous obtenons des estimateurs centrés non biaisés de Σ_{ξ} , Σ_{μ} et de Σ_{ζ} si les résidus ε_{git} sont connus. La démonstration se trouve en annexe.

$$\begin{aligned}\hat{\Sigma}_\xi &= \frac{\mathbf{W}_{\varepsilon\varepsilon}}{n - N - T} \\ \hat{\Sigma}_\mu &= \frac{\mathbf{B}_{\varepsilon\varepsilon}^C - (N - 1) \times \hat{\Sigma}_\xi}{n - \sum_{i=1}^N \frac{T_i^2}{n}} \\ \hat{\Sigma}_\zeta &= \frac{\mathbf{B}_{\varepsilon\varepsilon}^T - (T - 1) \times \hat{\Sigma}_\xi}{n - \sum_{t=1}^T \frac{N_t^2}{n}}\end{aligned}$$

La procédure d'estimation est la suivante : À la première étape, nous estimons les paramètres et les résidus par les moindres carrés ordinaires pour chaque équation séparément. À la deuxième étape, nous estimons $\hat{\Sigma}_\xi$, $\hat{\Sigma}_\mu$ et $\hat{\Sigma}_\zeta$ en utilisant les résidus obtenus par les MCO avec les formules suivantes :

$$\begin{aligned}\hat{\Sigma}_\xi &= \frac{\mathbf{W}_{\varepsilon\varepsilon}}{n - N - T} \\ \hat{\Sigma}_\mu &= \frac{\mathbf{B}_{\varepsilon\varepsilon}^C - (N - 1) \times \hat{\Sigma}_\xi}{n - \sum_{i=1}^N \frac{T_i^2}{n}} \\ \hat{\Sigma}_\zeta &= \frac{\mathbf{B}_{\varepsilon\varepsilon}^T - (T - 1) \times \hat{\Sigma}_\xi}{n - \sum_{t=1}^T \frac{N_t^2}{n}}\end{aligned}$$

À la troisième étape, nous estimons le système d'équation par les moindres carrés généralisés en utilisant les estimations de $\hat{\Sigma}_\xi$, $\hat{\Sigma}_\mu$ et $\hat{\Sigma}_\zeta$ obtenues précédemment à l'étape numéro deux. À la quatrième étape, nous répétons les étapes deux à quatre jusqu'à convergence.

Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons développé une méthodologie permettant d'estimer l'inefficacité technique et l'inefficacité allocative en estimant le système de demandes conditionnelles de facteurs de production variables découlant du modèle théorique. Cette méthode repose sur

trois étapes d'estimation. La première étape consiste à estimer la technologie de production à travers l'estimation du système de demandes conditionnelles de facteurs de production par la méthode des moments généralisée pour prendre en compte l'endogénéité entre les régresseurs et les résidus. La deuxième étape propose une adaptation de la méthode d'estimation de l'inefficacité technique variante dans le temps développée par Cornwell et al. (1990) pour la rendre opérationnelle dans le cas de l'estimation de l'inefficacité technique variante dans le temps à l'aide du système de demandes conditionnelles de facteurs de production variables. La troisième étape consiste à prendre en considération l'hétérogénéité observée et l'hétérogénéité inobservée afin d'estimer l'inefficacité allocative grâce à l'adaptation de la méthodologie de Platoni et al. (2012) pour la rendre utilisable dans un objectif de mesure de l'efficacité. La méthodologie de Platoni et al. (2012) consiste à estimer un système d'équations apparemment indépendantes en prenant en compte le caractère non-cylindré d'un panel et en prenant en compte à la fois un effet individuel aléatoire et un effet temporel aléatoire. La mise en œuvre de cette troisième étape permet d'estimer la matrice de variances-covariances de l'inefficacité allocative, de l'effet individuel aléatoire et de l'effet temporel aléatoire.

Chapitre 4

Chapitre empirique. Estimation de l'inefficacité technique et allocative à l'aide du système de demandes conditionnelles de facteurs de production : une application aux hôpitaux Québécois

4.1 Introduction

Dans ce quatrième et dernier chapitre de la thèse, nous mettons en œuvre notre méthode d'estimation à trois étapes sur la base de données des hôpitaux Québécois pour la période allant de 1981 à 2009. Après avoir rappelé dans la deuxième section les éléments théoriques nécessaires pour l'estimation, nous caractériserons la technologie de production des hôpitaux à travers l'estimation du système de demandes conditionnelles de facteurs de production variables par la méthode des moments généralisée. La section suivante permettra de présenter les mesures d'efficacité technique en fonction de la superficie des établissements hospitaliers. La troisième section permettra de caractériser l'inefficacité allocative lors de l'estimation de l'effet de la distance par rapport au Centre Hospitalier de l'Université de Montréal et de l'effet de la région sociosanitaire où se trouve l'hôpital. Enfin, nous terminerons ce chapitre par la préconisation de politiques de santé à mener pour améliorer l'efficacité des centres hospitaliers et assurer la pérennité du système de santé actuel.

4.2 Estimation de la technologie de production : 1ère étape

Dans cette section, nous présentons les éléments théoriques nécessaires à l'estimation de la technologie de production puis nous présentons les résultats d'estimation du système de demandes conditionnelles de facteurs de production variables par la méthode des moments généralisée.

4.2.1 Un peu de théorie

De façon à estimer la première étape de notre méthode d'estimation, il est nécessaire de faire un peu de théorie sur la forme des équations de demandes conditionnelles de facteurs de production variables qui vont être estimées. Dans le chapitre théorique, nous avons décidé

d'utiliser une transformation logarithmique de façon à linéariser notre terme d'erreur composé, nous allons par conséquent transformer nos variables à expliquer qui sont les quantités de facteurs de production variables en prenant le logarithme de ces quantités. Nous allons également prendre le logarithme de nos variables explicatives qui sont les prix des facteurs de production variables, les quantités de facteurs de production quasi-fixes et les quantités de services et de soins de santé réalisés. Une présentation détaillée de chacune des variables utilisées se trouve dans le chapitre de présentation de la base de données.

Lorsque nous estimons une fonction de coût, nous utilisons couramment une forme fonctionnelle translog introduite par Christensen et al. (1973). Cette forme fonctionnelle permet une grande flexibilité et elle a été démontrée être la meilleure forme fonctionnelle pour estimer une fonction de coût par Gagné et Ouellette (1998). Dans ce chapitre, nous estimons le système de demandes conditionnelles de facteurs de production qui est une représentation duale à la fonction de coût. Cette dualité entre la fonction de coût et le système de demandes conditionnelles de facteurs de production variables a des implications sur la façon dont nous devons estimer le système.

Nous devons tout d'abord imposer l'homogénéité de degré zéro qui découle du fait que la fonction de coût est homogène de degré un. L'homogénéité de degré un dans la fonction de coût spécifie qu'en cas d'un doublement de tous les prix des facteurs de production variables, nous avons un doublement du coût de production variable. Cette hypothèse se répercute dans le système de demandes conditionnelles de facteurs de production variables par l'homogénéité de degré zéro qui spécifie qu'en cas d'un doublement de tous les prix des facteurs de production variables, les quantités de facteurs de production variables ne sont pas affectées. Pour imposer l'homogénéité de degré zéro, nous divisons les prix de chacun des facteurs de production variables par le prix d'un facteur de production. Dans le système ci-dessous, nous divisons le prix des $(G - 1)$ facteurs de production variables par le prix du facteur de production variable G . L'imposition de l'homogénéité va créer une redondance dans les équations à estimer et nous avons donc $(G - 1)$ demandes conditionnelles de facteurs de production variables à

estimer.

Dans nos estimations, le facteur de production variable qui va servir à imposer l'homogénéité de degré zéro correspond à la catégorie des autres facteurs de production variables dont l'indice de prix est l'indice du prix du Produit Intérieur Brut qui est l'indice le plus pertinent étant donné la composition variée des facteurs de production variables entrant dans cette catégorie. Cette indice est en base 100 pour l'année 2002.

Le système que nous allons estimer est le suivant :

$$\begin{aligned}
\ln x_{1it} &= \alpha_1 + \sum_{g=1}^{G-1} \beta_{x_1 w_g} \ln \left(\frac{w_{git}}{w_{Git}} \right) + \sum_{q=1}^Q \beta_{x_1 k_q} \ln (k_{qit}) + \sum_{m=1}^M \beta_{x_1 y_m} \ln (y_{mit}) + \epsilon_{1it} \\
\ln x_{2it} &= \alpha_2 + \sum_{g=1}^{G-1} \beta_{x_2 w_g} \ln \left(\frac{w_{git}}{w_{Git}} \right) + \sum_{q=1}^Q \beta_{x_2 k_q} \ln (k_{qit}) + \sum_{m=1}^M \beta_{x_2 y_m} \ln (y_{mit}) + \epsilon_{2it} \\
&\vdots \\
\ln x_{(G-1)it} &= \alpha_{G-1} + \sum_{g=1}^{G-1} \beta_{x_{(G-1)} w_g} \ln \left(\frac{w_{git}}{w_{Git}} \right) + \sum_{q=1}^Q \beta_{x_{(G-1)} k_q} \ln (k_{qit}) + \sum_{m=1}^M \beta_{x_{(G-1)} y_m} \ln (y_{mit}) \\
&\quad + \epsilon_{(G-1)it}
\end{aligned}$$

Avec $g = 1, \dots, G$ représentent l'indice des facteurs de production variables, $m = 1, \dots, M$ représentent l'indice des différents services et soins de santé et $q = 1, \dots, Q$ représentent l'indice des facteurs de production quasi-fixes. Il y a des paramètres communs dans les équations et nous devons introduire une matrice de restrictions pour spécifier les paramètres concernés dans les équations estimées. Les paramètres communs concernent les paramètres sur les prix des facteurs de production variables. Par exemple, si nous nous intéressons aux facteurs de production x_1 et x_2 , nous devons imposer la restriction suivante : $\beta_{x_1 w_2} = \beta_{x_2 w_1}$ c'est à dire que l'effet de l'augmentation du prix relatif du facteur de production un sur la demande du facteur de production deux est identique à l'effet de l'augmentation du prix relatif du facteur de production deux sur la demande du facteur de production un. Après imposition

de l'homogénéité de degré zéro, nous avons cinq facteurs de production variables à estimer et par conséquent dix restrictions à imposer à travers la matrice de restrictions.

Comme vous avez pu le voir lors de la présentation des statistiques descriptives de l'ensemble de nos variables, plusieurs observations ont une valeur nulle pour les quantités de soins et de services de santé réalisés. C'est par exemple le cas avec le nombre de résidents dans les hôpitaux car les hôpitaux non universitaires n'ont par définition pas de résidents. Ces valeurs égales à zéro posent problème lorsque nous voulons utiliser une transformation logarithmique puis ce que le logarithme de zéro n'est pas un nombre défini. Pour dépasser cette difficulté, nous avons mis en place une transformation introduite par Box et Cox (1964) en cherchant pour quelle valeur de lambda la somme des carrés des erreurs est la plus faible.

$$X(\lambda) = \frac{(X^\lambda - 1)}{\lambda}$$

Nous avons réalisé cette recherche de la valeur de lambda à partir de la fonction de coût de la même manière que Bilodeau et al. (2000). Nous avons trouvé une valeur $\lambda = 0.044$, cette valeur très faible correspond à une transformation proche d'une transformation logarithmique. Vous trouverez au tableau 4.1 une partie de la grille de recherche nous ayant permis de trouver pour quelle valeur de lambda la somme des carrés des erreurs est la plus faible.

4.2.2 Recherche du meilleur ensemble d'instruments

Pour estimer le système de demandes conditionnelles de facteurs de production variables par la méthode des moments généralisée, nous devons ajouter des effets fixes firmes. Si nous n'incluons pas dans les estimations des effets fixes firmes, nous allons obtenir des paramètres technologiques biaisés car une partie des informations sur l'hétérogénéité et sur l'inefficacité va se retrouver dans les paramètres de pente. Nous devons donc bien veiller à estimer correctement les paramètres technologiques en incluant un effet fixe firme pour chacune des

TABLEAU 4.1: Recherche valeur Lambda : Transformation Box-Cox

Valeur de Lambda	Somme des carrés des erreurs
0.039	49.58101
0.040	49.58008
0.041	49.57935
0.042	49.57880
0.043	49.57848
0.044	49.57841
0.045	49.57862
0.046	49.57912
0.047	49.57994
0.048	49.58111
0.049	49.58264

équations de demandes de facteurs et pour chaque hôpital.

Pour utiliser la méthode des moments généralisée, nous devons choisir un ensemble d'instruments tout en vérifiant la suridentification de notre modèle et tester la qualité de nos variables instrumentales. Nous avons pour cela utilisé le test de suridentification d'Hansen (1982) lors de l'estimation de ce système :

$$\begin{aligned}
 \ln x_{1it} &= \alpha_{1i} + \sum_{g=1}^{G-1} \beta_{x_1 w_g} \ln \left(\frac{w_{git}}{w_{Git}} \right) + \sum_{q=1}^Q \beta_{x_1 k_q} \ln (k_{qit}) + \sum_{m=1}^M \beta_{x_1 y_m} \ln (y_{mit}) + \epsilon_{1it} \\
 \ln x_{2it} &= \alpha_{2i} + \sum_{g=1}^{G-1} \beta_{x_2 w_g} \ln \left(\frac{w_{git}}{w_{Git}} \right) + \sum_{q=1}^Q \beta_{x_2 k_q} \ln (k_{qit}) + \sum_{m=1}^M \beta_{x_2 y_m} \ln (y_{mit}) + \epsilon_{2it} \\
 &\vdots \\
 \ln x_{(G-1)it} &= \alpha_{(G-1)i} + \sum_{g=1}^{G-1} \beta_{x_{(G-1)} w_g} \ln \left(\frac{w_{git}}{w_{Git}} \right) + \sum_{q=1}^Q \beta_{x_{(G-1)} k_q} \ln (k_{qit}) + \sum_{m=1}^M \beta_{x_{(G-1)} y_m} \ln (y_{mit}) \\
 &\quad + \epsilon_{(G-1)it}
 \end{aligned}$$

Nous supposons que les effets fixes firmes sont endogènes car les coefficients estimés des effets fixes vont capter l'hétérogénéité invariante dans le temps et l'inefficacité invariante dans le temps et spécifiques à chaque hôpital. Ces effets fixes ne sont pas indépendants des résidus car ces derniers vont contenir une partie de l'information sur l'inefficacité variante et

invariante dans le temps. L'inefficacité invariante dans le temps n'est pas indépendante de l'inefficacité variante dans le temps et par conséquent nous devons considérer les effets fixes firmes comme des variables endogènes. Nous considérons les variables des prix des facteurs de production et les variables des quantités de facteurs de production quasi-fixes exogènes, en revanche les variables des quantités de services et de soins de santé sont endogènes.

Pour trouver des variables instrumentales, nous avons utilisé différentes transformations des variables exogènes en les retardant d'une ou de deux périodes. Nous avons également testé le croisement des variables exogènes entre elles par exemple en croisant les prix des inputs variables et les quantités de facteurs de production quasi-fixes. Pour instrumenter les effets fixes, nous avons créé des instruments prenant la valeur des variables exogènes pour l'hôpital considéré et prenant une valeur égale à zéro pour les autres observations. Nous avons ainsi pu produire plus d'instruments que d'effets fixes dans le système et ainsi avoir un modèle suridentifié. Nous avons fait ce travail d'instrumentation des effets fixes avec chacun des prix des facteurs de production variables, chacune des quantités de facteurs de production quasi-fixes, avec le croisement des prix des facteurs de production et avec le croisement entre les prix et les facteurs de production quasi-fixes. Nous avons élevé ces valeurs au carré et au cube et enfin nous avons utilisé ces instruments sans retard, avec un retard d'ordre un et avec un retard d'ordre deux. Au final, nous avons testé près de trois mille quatre cents différents ensembles d'instruments pour trouver le meilleur ensemble d'instruments et obtenir la technologie de production des hôpitaux Québécois.

4.2.3 Estimation de la technologie de production des hôpitaux Québécois

Nous avons analysé les résultats pour les ensembles d'instruments passant le test de Hansen nous permettant de nous assurer de la suridentification de notre système et de la qualité de nos instruments. L'estimation du système de demandes conditionnelles de facteurs de pro-

duction variables par la méthode des moments généralisée permet de traiter l'endogénéité existante entre les résidus et les variables endogènes mais au coût d'obtenir des paramètres technologiques avec une variance élevée. Cette limite n'est pas spécifique à la méthode des moments généralisée car les autres méthodes d'estimation par les variables instrumentales souffrent de ce problème. Ce problème a été surpassé dans l'estimation de notre technologie de production des hôpitaux Québécois en essayant un nombre important d'ensemble d'instruments.

Nous avons retenu comme ensemble d'instruments l'utilisation des variables suivantes : Le logarithme des prix retardés d'ordre un et le croisement du prix du travail en excluant le travail des médecins et du prix de la nourriture de restaurant incluant les boissons non-alcoolisées. Nous obtenons au test de suridentification de Hansen-Sargan une probabilité marginale de rejet égale à 0.1126 nous permettant de nous assurer de la qualité de cet ensemble d'instruments. Le résultat du test de Hansen est donné ci-dessous :

Nombre d'équations : 5

Nombre total de variables exogènes dans le système : 137

Nombre de coefficients estimés : 670

10 contraintes/dépendances linéaires

Statistique de suridentification de Hansen-Sargan : 21.820

Sous H_0 , distribué comme une Chi-sq(15), $pval = 0.1126$

L'estimation des paramètres technologiques se trouve aux tableaux 4.3 à 4.7 mais l'ensemble des paramètres estimés y compris l'estimation des effets fixes hôpitaux sont consultables dans les annexes de la thèse. Pour la présentation des résultats, nous avons utilisé les abréviations décrites au tableau 4.2.

TABLEAU 4.2: Abréviations utilisées dans les tableaux de résultats

Noms de la variable	Abréviations
Logarithme de la quantité de travail	LQT
Logarithme de la quantité de médicaments	LQM
Logarithme de la quantité de nourriture	LQN
Logarithme de la quantité de fournitures	LQF
Logarithme de la quantité d'énergie	LQE
Logarithme du prix du travail	LPT
Logarithme du prix des médicaments	LPM
Logarithme du prix de la nourriture	LPN
Logarithme du prix des fournitures	LPF
Logarithme du prix de l'énergie	LPE
Logarithme du nombre de médecins	LNM
Logarithme du stock d'équipement	LSE
Logarithme de la superficie des bâtiments	LSB
Logarithme du nombre de jours pour les patients hospitalisés	LJPH
Transformation Box-Cox du nombre de visites de patients en service ambulatoire	VIS(lambda)
Transformation Box-Cox du nombre de services de laboratoire	LABO(lambda)
Transformation Box-Cox de l'indice de restauration et de blanchisserie	IRB(lambda)
Transformation Box-Cox du nombre de résidents	RES(lambda)

Concernant l'estimation de la demande de travail en excluant le travail des médecins, nous pouvons voir qu'il existe un lien négatif entre la demande de travail et le prix relatif du travail en excluant le travail des médecins, le prix relatif des médicaments et le prix relatif de la nourriture de restaurant incluant les boissons non-alcoolisées. Lorsque nous avons une augmentation du prix relatif de l'un de ces trois facteurs de production, la demande de travail en excluant le travail des médecins diminue. Lorsque le nombre de médecins dans les hôpitaux augmente, nous avons une augmentation de la demande de travail en excluant le travail des médecins ce qui met en évidence la complémentarité entre les médecins et le personnel médical. Enfin, lorsque nous avons une augmentation du nombre de patients hospitalisés et une augmentation du nombre de services de restauration et de blanchisserie, nous avons une augmentation du nombre demandé d'heures de travail par les hôpitaux.

TABLEAU 4.3: Estimation du système de demandes de facteurs de production variables par la méthode des moments généralisée : logarithme de la quantité de travail

	coefficient	erreur std.	t de Student	p. critique
LPT	-0.70478	0.20680	-3.40803	0.00066
LPM	-0.87293	0.18803	-4.64241	0.00000
LPN	-0.94109	0.40633	-2.31607	0.02057
LPF	0.41371	0.24042	1.72081	0.08531
LPE	-0.14517	0.08563	-1.69539	0.09003
LNМ	0.20835	0.04523	4.60643	0.00000
LSE	-0.01072	0.02715	-0.39474	0.69304
LSB	-0.24003	0.24230	-0.99066	0.32187
LJPH	0.63694	0.19202	3.31702	0.00091
VIS(lambda)	-0.00668	0.01607	-0.41537	0.67788
LABO(lambda)	-0.25365	0.11896	-2.13234	0.03300
IRB(lambda)	0.41337	0.17116	2.41518	0.01574
RES(lambda)	-0.00427	0.01927	-0.22139	0.82479
R ²	0.86336			
Adj. R ²	0.85582			
Nombre obs.	2583			

Concernant l'estimation de la demande de médicaments, nous pouvons voir qu'il existe un lien négatif entre la demande de médicaments et le prix relatif des médicaments, le prix relatif des fournitures mais également le prix relatif du travail en excluant le travail des médecins. Lorsque nous avons une augmentation du prix relatif de l'un de ces trois facteurs de production, la demande de médicaments par les hôpitaux diminue. En revanche, lorsque le nombre de médecins dans les hôpitaux augmente, nous avons une augmentation de la quantité de médicaments utilisés pour traiter et soigner les patients. Concernant le lien entre la demande de médicaments et les services de santé réalisés, lorsque nous avons une augmentation du nombre de services de laboratoire, nous avons une diminution du nombre de médicaments utilisés en revanche lorsque nous avons une augmentation du nombre de services de restauration et de blanchisserie, nous avons une augmentation de la quantité demandée de médicaments.

TABLEAU 4.4: Estimation du système de demandes de facteurs de production variables par la méthode des moments généralisée : logarithme de la quantité de médicaments

	coefficient	erreur std.	t de Student	p. critique
LPT	-0.87293	0.18803	-4.64241	0.00000
LPM	-1.35751	0.34014	-3.99107	0.00000
LPN	0.51205	0.49739	1.02948	0.30328
LPF	-1.34477	0.35172	-3.82343	0.00013
LPE	-0.31959	0.17650	-1.81069	0.07021
LNМ	0.40213	0.09165	4.38746	0.00000
LSE	-0.00315	0.05536	-0.05695	0.95459
LSB	-0.78466	0.42465	-1.84776	0.06466
LJPH	0.58088	0.32344	1.79596	0.07252
VIS(lambda)	-0.00901	0.02715	-0.33200	0.73989
LABO(lambda)	-0.62401	0.24011	-2.59881	0.00937
IRB(lambda)	0.74610	0.28765	2.59377	0.00950
RES(lambda)	0.01738	0.03730	0.46588	0.64131
R ²	0.69550			
Adj. R ²	0.67871			
Nombre obs.	2583			

Concernant l'estimation de la demande de nourriture, nous pouvons voir qu'il existe un lien négatif entre la demande de nourriture et le prix relatif des fournitures et le prix relatif du travail en excluant le travail des médecins. Lorsque nous avons une augmentation du prix relatif de l'un de ces deux facteurs de production variables, la quantité demandée de nourriture par les hôpitaux diminue. Concernant le lien entre la quantité demandée de nourriture et les services de santé réalisés, lorsque nous avons une augmentation du nombre de patients hospitalisés, nous avons également une augmentation de la quantité demandée de nourriture par les hôpitaux nécessaire pour nourrir les patients hospitalisés recevant des soins de santé.

TABLEAU 4.5: Estimation du système de demandes de facteurs de production variables par la méthode des moments généralisée : logarithme de la quantité de nourriture

	coefficient	erreur std.	t de Student	p. critique
LPT	-0.94109	0.40633	-2.31607	0.02057
LPM	0.51205	0.49739	1.02948	0.30328
LPN	1.05303	1.41857	0.74232	0.45791
LPF	-1.41061	0.61114	-2.30815	0.02101
LPE	-0.16831	0.27340	-0.61562	0.53815
LNМ	0.18039	0.13492	1.33702	0.18124
LSE	-0.06237	0.07839	-0.79567	0.42624
LSB	-1.36800	0.62077	-2.20374	0.02756
LJPH	1.65274	0.47280	3.49567	0.00047
VIS(lambda)	-0.02884	0.04687	-0.61539	0.53831
LABO(lambda)	-0.68240	0.34739	-1.96438	0.04951
IRB(lambda)	0.30051	0.41631	0.72185	0.47040
RES(lambda)	0.00820	0.05811	0.14121	0.88771
R ²	0.26986			
Adj. R ²	0.22957			
Nombre obs.	2583			

Lorsque le prix relatif des médicaments et le prix relatif de la nourriture de restaurant incluant les boissons non-alcoolisées augmentent, il semblerait que la demande de fournitures par les hôpitaux diminue. Concernant le lien entre la quantité demandée de fournitures et les services de santé réalisés, lorsque nous avons une augmentation du nombre de patients hospitalisés, nous avons également une augmentation de la quantité demandée de fournitures par les hôpitaux. De même, lorsque nous avons une augmentation du nombre de services de restauration et de blanchisserie, nous avons une augmentation de la quantité demandée de fournitures par les hôpitaux.

TABLEAU 4.6: Estimation du système de demandes de facteurs de production variables par la méthode des moments généralisée : logarithme de la quantité de fournitures

	coefficient	erreur std.	t de Student	p. critique
LPT	0.41371	0.24042	1.72081	0.08531
LPM	-1.34477	0.35172	-3.82343	0.00013
LPN	-1.41061	0.61114	-2.30815	0.02101
LPF	-0.44346	0.48509	-0.91418	0.36064
LPE	-0.30363	0.16351	-1.85694	0.06334
LNМ	0.11036	0.08798	1.25445	0.20970
LSE	-0.03667	0.05356	-0.68470	0.49354
LSB	-0.84562	0.42921	-1.97018	0.04884
LJPH	0.87267	0.33461	2.60799	0.00912
VIS(lambda)	0.02441	0.03037	0.80357	0.42166
LABO(lambda)	-0.42527	0.23338	-1.82222	0.06844
IRB(lambda)	0.76933	0.32451	2.37075	0.01777
RES(lambda)	-0.05650	0.03727	-1.51595	0.12956
R ²	0.55661			
Adj. R ²	0.53215			
Nombre obs.	2583			

La quantité demandée d'énergie qui est un agrégat du mazout, du gaz et de l'électricité diminue lorsque le prix relatif de l'énergie augmente. Lorsque nous avons une augmentation du nombre de médecins, les hôpitaux augmentent la quantité utilisée d'énergie. Concernant le lien entre la quantité demandée d'énergie et les services de santé réalisés, lorsque nous avons une augmentation du nombre de patients hospitalisés, nous avons également une augmentation de la quantité d'énergie utilisée alors que lorsque nous avons une augmentation du nombre de patients en service ambulatoire, nous avons une diminution de la quantité d'énergie demandée.

TABLEAU 4.7: Estimation du système de demandes de facteurs de production variables par la méthode des moments généralisée : logarithme de la quantité d'énergie

	coefficient	erreur std.	t de Student	p. critique
LPT	-0.14517	0.08563	-1.69539	0.09003
LPM	-0.31959	0.17650	-1.81069	0.07021
LPN	-0.16831	0.27340	-0.61562	0.53815
LPF	-0.30363	0.16351	-1.85694	0.06334
LPE	-1.18854	0.14072	-8.44631	0.00000
LNМ	0.19502	0.06807	2.86481	0.00418
LSE	-0.02574	0.04076	-0.63152	0.52771
LSB	-0.02532	0.30772	-0.08227	0.93443
LJPH	0.46277	0.22441	2.06220	0.03921
VIS(lambda)	-0.04921	0.01677	-2.93511	0.00334
LABO(lambda)	-0.39647	0.17038	-2.32700	0.01998
IRB(lambda)	0.34712	0.20329	1.70755	0.08774
RES(lambda)	0.04486	0.02656	1.68930	0.09119
R ²	0.67501			
Adj. R ²	0.65708			
Nombre obs.	2583			

4.3 Estimation de l'inefficacité technique variante dans le temps : 2ème étape

Dans cette section, nous présentons l'évolution de la moyenne de l'efficacité technique par année sur l'ensemble des hôpitaux puis en décomposant l'échantillon selon la taille des établissements.

4.3.1 Construction des variables à expliquer

La deuxième étape de notre méthode d'estimation consiste à estimer l'efficacité technique variante dans le temps en adaptant la méthodologie de Cornwell et al. (1990) pour la rendre opérationnelle dans le cadre d'un système de demandes conditionnelles de facteurs de production variables. Pour estimer l'efficacité technique, nous avons utilisé les coefficients des effets fixes hôpitaux estimés par la méthode des moments généralisée à la première étape auxquels nous avons additionné les résidus. Une fois cette construction des variables à expliquer, nous avons estimé pour chaque hôpital un système d'équations apparemment indépendantes par les moindres carrés généralisés en utilisant une constante, une tendance et une tendance au carré spécifique à chaque hôpital en imposant que les paramètres soient communs pour les cinq équations. De cette manière, nous nous retrouvons pour chaque hôpital avec une estimation commune de la valeur prédite pour les cinq équations nous permettant de caractériser l'inefficacité technique.

4.3.2 Interprétation des résultats

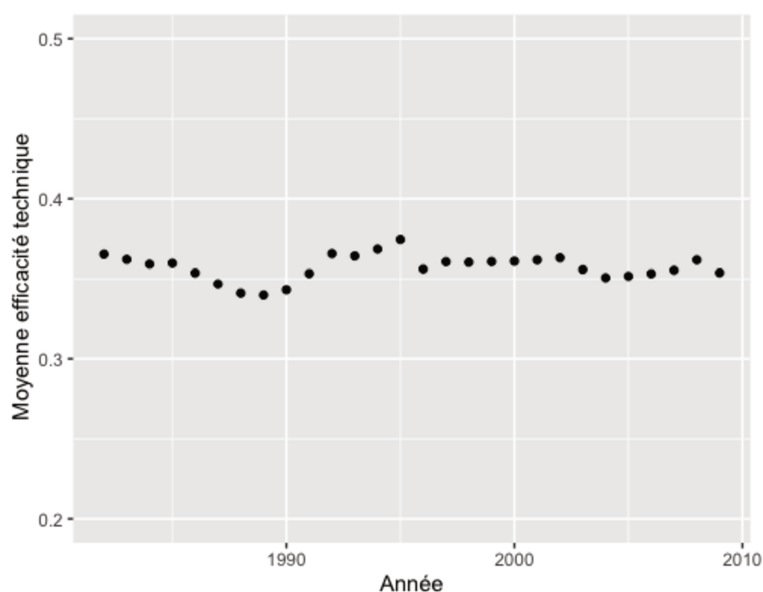
De façon à estimer l'efficacité technique pour chacun des hôpitaux et pour chaque année, nous avons retiré à cette étape plusieurs hôpitaux avec des valeurs estimées pour les effets fixes assez différentes des autres. Ces hôpitaux ont une ordonnée à l'origine relativement éloignée et ne sont donc pas facilement comparables aux autres. Nous avons éliminé à cette étape treize hôpitaux sur un total de cent vingt-trois utilisés lors de l'estimation de la première

étape.

4.3.2.1 Évolution de la moyenne de l'efficacité technique sur l'ensemble des hôpitaux

Le tableau 4.8 présente la moyenne de l'efficacité technique sur l'ensemble des cent dix hôpitaux par année d'étude. Nous pouvons constater que la moyenne de l'efficacité technique a peu évolué sur l'ensemble de la période étudiée avec une moyenne proche de 36 % (Figure 4.1). Autrement dit, en moyenne, les hôpitaux atteignent un niveau d'efficacité technique de 36 %.

FIGURE 4.1: Évolution de la moyenne de l'efficacité technique par année d'étude : ensemble des hôpitaux



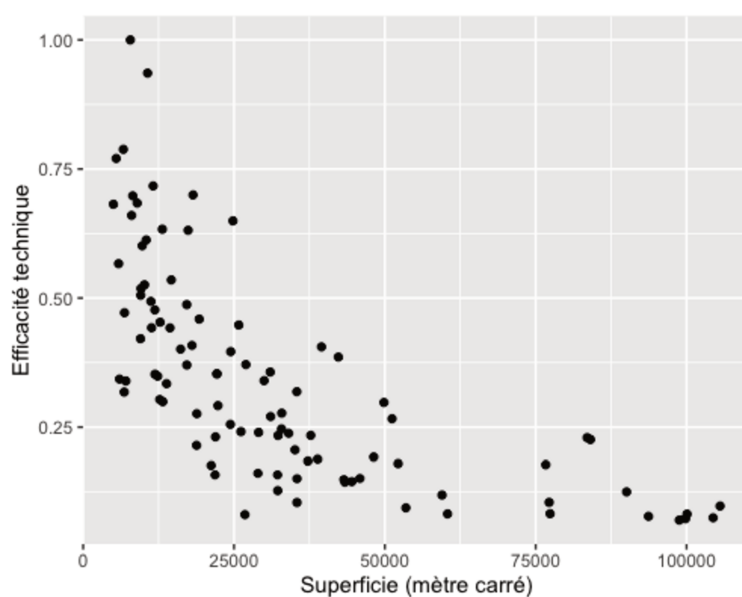
En réalité, cette moyenne est relativement faible et peut s'expliquer en étudiant la relation entre la superficie des hôpitaux et le niveau d'efficacité technique. Prenons par exemple l'année 1990 (Figure 4.2) pour étudier la relation entre la superficie et le niveau d'efficacité technique. Nous pouvons constater qu'il existe un lien entre le nombre de mètres carrés et le

TABLEAU 4.8: Moyenne de l'efficacité technique par année : ensemble des hôpitaux

Années	Moyenne de l'efficacité technique	Nombre d'hôpitaux
1982	0.365	93
1983	0.362	93
1984	0.359	94
1985	0.360	94
1986	0.354	94
1987	0.347	97
1988	0.341	97
1989	0.340	97
1990	0.343	97
1991	0.353	99
1992	0.366	99
1993	0.364	99
1994	0.369	102
1995	0.375	99
1996	0.356	81
1997	0.361	75
1998	0.360	72
1999	0.361	69
2000	0.361	69
2001	0.362	69
2002	0.363	69
2003	0.356	67
2004	0.351	64
2005	0.352	64
2006	0.353	64
2007	0.355	64
2008	0.362	63
2009	0.354	63

niveau d'efficacité technique atteint par les hôpitaux, plus la superficie des hôpitaux augmente et moins l'efficacité technique est élevée. L'ensemble des représentations graphiques mettant en relation la superficie des hôpitaux et le niveau d'efficacité technique de 1982 à 2009 sont consultables dans les annexes.

FIGURE 4.2: Relation entre la superficie des hôpitaux et l'efficacité technique : 1990



Il existe à ce stade une limite à notre étude empirique qui mérite d'être soulevée et expliquée. Le fait d'avoir un hôpital de taille moyenne ou de grande taille ne signifie pas que l'hôpital est inefficace mais cette efficacité technique plus faible est le signe que les hôpitaux de petite taille ne réalisent pas les mêmes services de santé que les hôpitaux de taille plus importante et notamment que les Centres Hospitaliers Universitaires. Dans les articles de Bilodeau et al. (2000, 2002, 2009) et de Crémieux et al. (2005), la base de données sur les hôpitaux Québécois contenait deux indicateurs permettant de prendre en compte la diversité et la complexité des soins de santé. Le premier indicateur prenait en compte le nombre de spécialités offertes dans les hôpitaux tandis que le deuxième indicateur prenait en

compte la différence dans la complexité des services de santé réalisés par les hôpitaux. Nous utilisons la base de données mise à jour sur les hôpitaux Québécois mais malheureusement ces deux indicateurs ne sont plus disponibles. La technologie de production qui a été estimée à la première étape par l'estimation du système de demandes par la méthode des moments généralisée ne prend donc pas en compte les différences dans les spécialités offertes et dans la complexité des soins et par conséquent les effets fixes vont capter ces différences. Pour surpasser cette limite, nous proposons d'estimer l'efficacité technique de la même manière que précédemment mais en décomposant le calcul de l'efficacité technique par rapport à la taille des hôpitaux qui va servir de variable substitutive à la diversité et à la complexité des soins de santé réalisés. Nous pourrions ainsi mieux calculer l'efficacité technique pour chacun des hôpitaux et avoir une idée plus précise de la moyenne de l'efficacité technique par année d'étude.

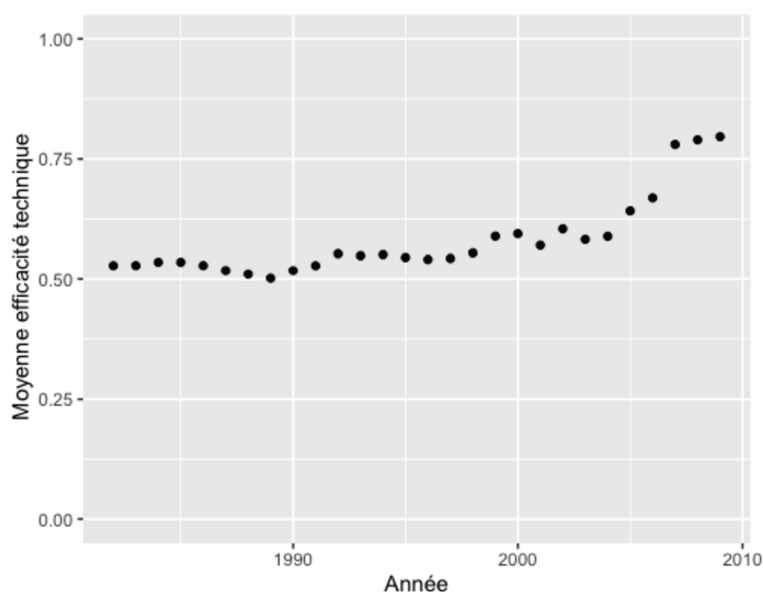
Nous proposons dans la suite de cette section de calculer l'efficacité technique sur des sous-groupes d'hôpitaux en utilisant l'estimation commune de la technologie de production présentée précédemment. Nous calculons l'efficacité technique pour le sous-groupe des hôpitaux ayant une superficie inférieure à 20.000 mètres carrés, pour le sous-groupe des hôpitaux ayant une superficie comprise entre 20.000 et 40.000 mètres carrés, pour le sous-groupe des hôpitaux ayant une superficie inférieure à 40.000 mètres carrés et enfin pour le sous-groupe des hôpitaux ayant une superficie supérieure à 40.000 mètres carrés.

4.3.2.2 Évolution de la moyenne de l'efficacité technique sur les hôpitaux de moins de 20.000 mètres carrés

Concernant les hôpitaux ayant une superficie inférieure à 20.000 mètres carrés, nous pouvons voir à la Figure 4.3 que la moyenne de l'efficacité technique a eu tendance à augmenter notamment au début des années 2005. En moyenne sur l'ensemble de la période étudiée, les hôpitaux ayant une superficie inférieure à 20.000 mètres carrés atteignent un niveau d'effi-

cacité technique de près de 58 %. En estimant la moyenne de l'efficacité technique pour la période 1982-2004, nous trouvons une moyenne de près de 55 %. Autrement dit, les hôpitaux de moins de 20.000 mètres carrés pourraient réduire de 42 % l'utilisation de facteurs de production variables en produisant la même quantité de soins de santé s'ils étaient efficaces. Les hôpitaux de petite taille semblent avoir un niveau d'efficacité technique peu élevé mais ce chiffre est à mettre en relation avec le fait que la superficie est une variable substitutive imparfaite de la diversité et de la complexité des services de santé réalisés.

FIGURE 4.3: Évolution de la moyenne de l'efficacité technique par année d'étude : hôpitaux de moins de 20.000 mètres carrés

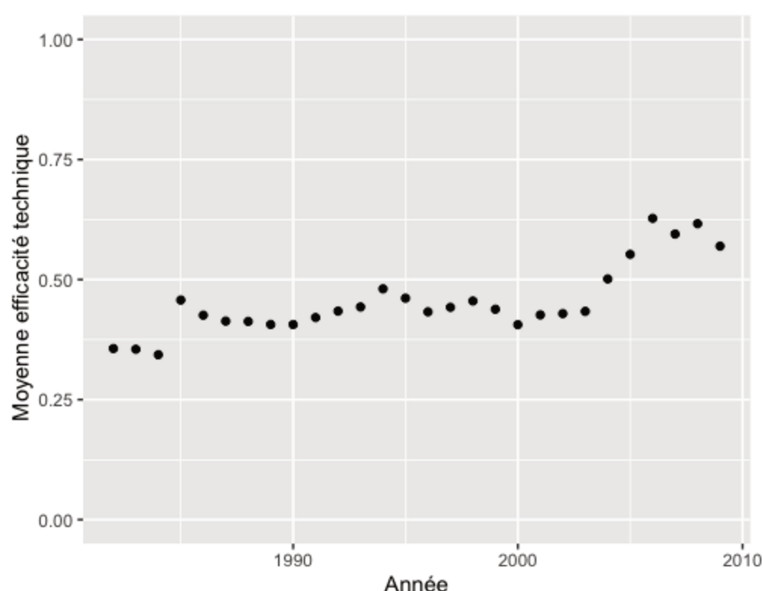


4.3.2.3 Évolution de la moyenne de l'efficacité technique sur les hôpitaux compris entre 20.000 et 40.000 mètres carrés

Concernant les hôpitaux ayant une superficie comprise entre 20.000 et 40.000 mètres carrés, nous pouvons voir à la Figure 4.4 que la moyenne de l'efficacité technique a eu tendance à augmenter avec une accélération en 2004. En moyenne, sur l'ensemble de la période étudiée,

les hôpitaux ayant une superficie comprise entre 20.000 et 40.000 mètres carrés atteignent un niveau d'efficacité technique de plus de 45 %. En estimant la moyenne de l'efficacité technique pour la période 1982-2003, nous trouvons une moyenne de plus de 42 %. Les hôpitaux ayant une superficie comprise entre 20.000 et 40.000 mètres carrés sont donc moins efficaces techniquement que les hôpitaux ayant une superficie inférieure à 20.000 mètres carrés.

FIGURE 4.4: Évolution de la moyenne de l'efficacité technique par année d'étude : hôpitaux compris entre 20.000 et 40.000 mètres carrés

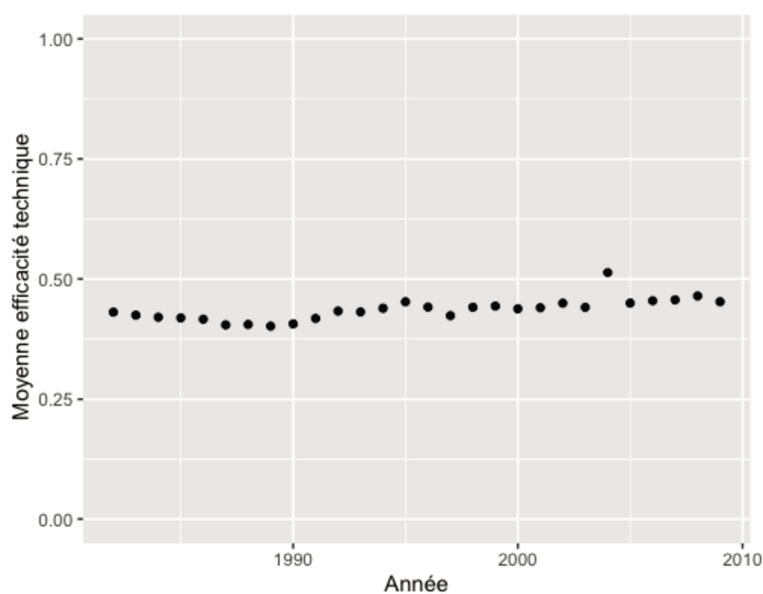


4.3.2.4 Évolution de la moyenne de l'efficacité technique sur les hôpitaux de moins de 40.000 mètres carrés

Nous analysons désormais l'ensemble des hôpitaux ayant une superficie inférieure à 40.000 mètres carrés car nous avons eu des augmentations dans la taille des hôpitaux notamment au tournant des années 2004-2005. Cette augmentation dans la taille des hôpitaux s'est répercutée par une diminution du nombre d'hôpitaux de moins de 20.000 mètres carrés. Il est intéressant de voir si l'augmentation de l'efficacité technique que nous avons observée pour

les deux échantillons se confirme lorsque nous étudions ces deux catégories simultanément. Concernant les hôpitaux ayant une superficie inférieure à 40.000 mètres carrés, nous pouvons voir à la Figure 4.5 que la moyenne de l'efficacité technique augmente légèrement sur la période 1982-2009 mais sans constater une forte amélioration de l'efficacité technique dans les années 2004-2005. En moyenne, sur l'ensemble de la période étudiée, les hôpitaux d'une superficie inférieure à 40.000 mètres carrés atteignent un niveau d'efficacité technique de plus de 43 %.

FIGURE 4.5: Évolution de la moyenne de l'efficacité technique par année d'étude : hôpitaux de moins de 40.000 mètres carrés

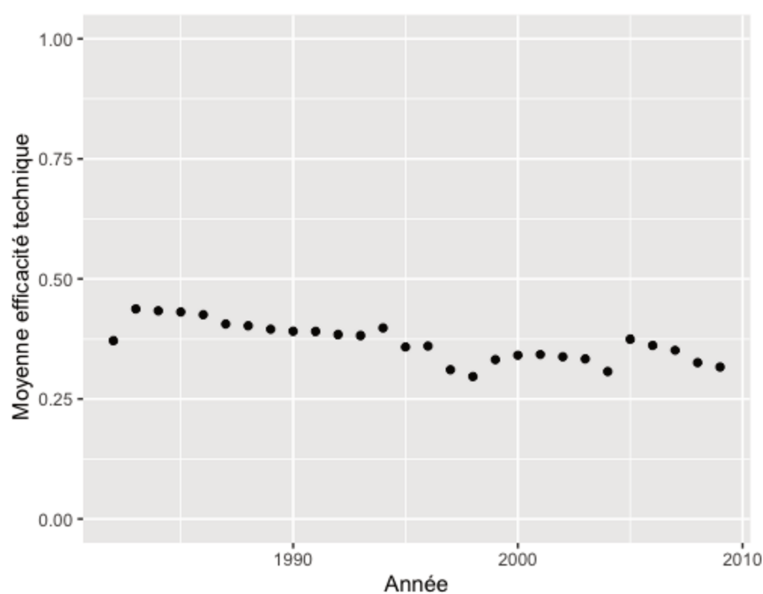


4.3.2.5 Évolution de la moyenne de l'efficacité technique sur les hôpitaux de plus de 40.000 mètres carrés

La dernière catégorie que nous proposons d'étudier est celle des hôpitaux ayant une superficie de plus de 40.000 mètres carrés. Nous constatons à la Figure 4.6 que la moyenne de l'efficacité technique a une tendance à la baisse sur la période 1982-2009. En moyenne, sur

l'ensemble de la période étudiée, les hôpitaux d'une superficie supérieure à 40.000 mètres carrés atteignent un niveau d'efficacité technique de près de 44 %.

FIGURE 4.6: Évolution de la moyenne de l'efficacité technique par année d'étude : hôpitaux de plus de 40.000 mètres carrés



En réalisant des estimations de l'inefficacité par catégorie d'hôpital, nous avons pu constater que les hôpitaux ayant une superficie inférieure à 20.000 mètres carrés sont en moyenne plus efficaces d'un point de vue technique que les hôpitaux avec une superficie comprise entre 20.000 et 40.000 mètres carrés et que les hôpitaux avec une superficie supérieure à 40.000 mètres carrés. Les hôpitaux avec une superficie inférieure à 20.000 mètres carrés atteignent un niveau d'efficacité technique de près de 58 % alors que les niveaux moyens d'efficacité technique pour les hôpitaux avec une superficie comprise entre 20.000 et 40.000 mètres carrés et avec une superficie supérieure à 40.000 mètres carrés sont respectivement de 42 % et de 44 %.

4.4 Estimation des matrices de variances-covariances des effets aléatoires : 3ème étape

Après avoir estimé la technologie de production des hôpitaux à travers l'estimation du système de demandes conditionnelles de facteurs de production variables, nous avons à la deuxième étape utilisé le fait que l'efficacité technique était variante dans le temps mais commune à l'ensemble des facteurs de production variables nous permettant la mise en place de la stratégie décrite précédemment. La troisième et dernière étape consiste à estimer et à interpréter les matrices de variances-covariances des effets aléatoires restant à caractériser grâce à l'adaptation de la méthode de Platon et al. (2012) dans le cadre de l'estimation de l'inefficacité allocative.

4.4.1 Interprétation des matrices de variances-covariances

À cette troisième et dernière étape, nous avons utilisé les résidus de la deuxième étape pour estimer l'effet de la distance par rapport au Centre Hospitalier de l'Université de Montréal qui est une variable permettant de capter l'hétérogénéité entre les hôpitaux notamment les différences de climat car lorsque nous nous éloignons de Montréal en remontant vers le nord du Québec, le climat est continental subpolaire entre le 51ème et le 58ème degré de latitude, et le climat est polaire au Nord du 58ème. Cette mesure de la distance entre les hôpitaux et le CHUM permet également de prendre divers facteurs permettant d'expliquer l'hétérogénéité comme par exemple la densité de population ou le revenu des ménages. À Montréal, la densité de population est la plus élevée du Québec et les ménages ont des revenus importants. Plus nous nous éloignons du centre-ville de Montréal, moins la densité de population est importante et moins les ménages ont des revenus élevés. La distance géographique par rapport au CHUM est donc une variable substitutive permettant à la fois de capter les différences de température et de climat mais permet également de capter les différences de densité de population et de revenus des ménages. Avant d'analyser l'effet de l'éloignement géographique par rapport

au CHUM captant l'hétérogénéité entre les hôpitaux, nous allons étudier les estimations conjointes des matrices de variances-covariances de nos effets aléatoires.

Les matrices de variances-covariances se lisent sous la forme suivante :

$$\begin{pmatrix} Var(QT) \\ Cov(QM, QT) & Var(QM) \\ Cov(QN, QT) & Cov(QN, QM) & Var(QN) \\ Cov(QF, QT) & Cov(QF, QM) & Cov(QF, QN) & Var(QF) \\ Cov(QE, QT) & Cov(QE, QM) & Cov(QE, QN) & Cov(QE, QF) & Var(QE) \end{pmatrix}$$

Avec QT qui correspond à l'équation de la demande de travail, QM qui correspond à l'équation de la demande de médicaments, QN qui correspond à l'équation de la demande de nourriture, QF qui correspond à l'équation de la demande de fournitures et enfin QE qui correspond à l'équation de la demande d'énergie.

4.4.1.1 Matrice de variances-covariances de l'effet individuel aléatoire : hétérogénéité

La matrice de variances-covariances de l'hétérogénéité est donnée par :

$$\Sigma_{\mu} = \begin{pmatrix} 0.46490 \\ -0.06457 & 0.20347 \\ -0.94013 & -0.25580 & 2.55552 \\ 0.48209 & 0.18565 & -1.60515 & 1.37814 \\ 0.02688 & -0.12714 & 0.19178 & -0.49131 & 0.36379 \end{pmatrix}$$

L'hétérogénéité se décompose en deux composantes, l'hétérogénéité observée et l'hétérogénéité inobservée. L'hétérogénéité observée dans le cadre de cette estimation sera analysée à travers l'estimation de l'effet de la distance géographique par rapport au CHUM. De façon à

analyser l'hétérogénéité inobservée, nous allons analyser la matrice de variances-covariances ci-dessus. Nous pouvons constater que les valeurs pour les variances et pour les covariances sont élevées mettant en évidence qu'une partie de l'hétérogénéité n'est pas expliquée par la distance par rapport au CHUM.

Néanmoins, la matrice de variances-covariances de l'hétérogénéité inobservée permet de nous assurer que la matrice de variances-covariances de l'inefficacité allocative est correctement estimée.

4.4.1.2 Matrice de variances-covariances de l'effet temporel aléatoire

La matrice de variances-covariances de l'effet temporel aléatoire est donnée par :

$$\Sigma_{\zeta} = \begin{pmatrix} 0.00594 & & & & \\ 0.00652 & 0.01406 & & & \\ -0.00139 & 0.01526 & 0.05000 & & \\ 0.00810 & 0.00679 & -0.01568 & 0.01838 & \\ 0.00499 & 0.01211 & 0.01746 & 0.00245 & 0.01528 \end{pmatrix}$$

La méthodologie de Platoni et al. (2012) permet de prendre en compte un effet temporel aléatoire en utilisant la méthodologie de Biorn (2004). Les effets temporels qui sont communs à l'ensemble des hôpitaux sont ainsi pris en compte à travers l'estimation de cette matrice de variances-covariances. Nous pouvons constater qu'il existe deux covariances négatives qui s'expliquent par le fait que l'effet temporel a un impact opposé sur la demande d'heures de travail en excluant le travail des médecins et sur la demande de nourriture pour nourrir les patients hospitalisés. De même, il y a un impact opposé entre la demande de fournitures et la demande de nourriture nécessaire pour nourrir les patients hospitalisés

4.4.1.3 Matrice de variances-covariances de l'inefficacité allocative

La matrice de variances-covariances de l'inefficacité allocative est donnée par :

$$\Sigma_{\xi} = \begin{pmatrix} 0.09714 & & & & & \\ 0.15316 & 0.38508 & & & & \\ 0.09277 & 0.28051 & 0.45637 & & & \\ 0.15835 & 0.26722 & 0.17039 & 0.42119 & & \\ 0.07970 & 0.19502 & 0.18408 & 0.04799 & 0.20962 & \end{pmatrix}$$

Les variances supérieures à zéro sont le signe de la présence d'inefficacité allocative alors que le signe des covariances va nous renseigner sur le type d'effets de substitution. Lorsque nous avons une covariance positive, nous avons de l'inefficacité allocative et l'utilisation des deux facteurs de production devrait évoluer dans le même sens pour réduire l'inefficacité. En revanche, lorsque nous avons une covariance négative, nous avons de l'inefficacité allocative mais cette fois un facteur de production est sur-utilisé et l'autre facteur de production est sous-utilisé. Pour être efficace, l'hôpital devrait réduire l'utilisation d'un facteur de production en le substituant à l'autre facteur de production en augmentant l'utilisation de ce dernier. Nous pouvons remarquer que l'ensemble des variances sont positives et non nulles mettant en évidence qu'il y a de l'inefficacité allocative. La variance plus faible pour le facteur de production du nombre d'heures de travail en excluant le travail des médecins met en évidence que c'est le facteur qui souffre le moins d'une mauvaise allocation par les hôpitaux. Nous verrons dans la section suivante que l'inefficacité allocative est différente selon la taille des hôpitaux.

4.4.2 Présentation des résultats de la prise en compte de l'hétérogénéité par la distance par rapport au Centre Hospitalier de l'Université de Montréal (CHUM)

Le tableau 4.9 présente les résultats d'estimation en utilisant la distance des hôpitaux par rapport au Centre Hospitalier de l'Université de Montréal comme variable captant l'hétérogénéité. Les paramètres sont estimés simultanément aux matrices de variances-covariances décrites ci-dessus. Nous pouvons voir que la distance en nombre de kilomètres est toujours significative mais que l'effet est différent selon les facteurs de production variables.

Lorsque nous nous éloignons du centre-ville de Montréal, nous avons une augmentation du nombre d'heures de travail en excluant le travail des médecins qui sont utilisées par les hôpitaux conjointement aux médecins pour traiter et soigner les patients. La distance par rapport au CHUM captant les différences de climat, de densité de population et de revenus plus faibles semble faire diminuer l'utilisation par les hôpitaux de médicaments, de fournitures et de nourriture pour nourrir les patients hospitalisés recevant des soins de santé. De même, les différences de climat, de densité de population et de revenus plus faibles semblent diminuer l'utilisation d'énergie nécessaire pour le fonctionnement des appareils médicaux, pour l'éclairage et le chauffage des bâtiments.

4.4.2.1 Hôpitaux de moins de 20.000 mètres carrés

Nous avons réalisé la même estimation que précédemment pour analyser l'hétérogénéité sous la forme de la distance par rapport au CHUM tout en caractérisant la matrice de variances-covariances de l'inefficacité allocative selon la taille des hôpitaux. Pour les hôpitaux de moins de 20.000 mètres carrés, la matrice de variances-covariances de l'inefficacité allocative est donnée par :

TABLEAU 4.9: Estimation de l'effet de la distance par rapport au Centre Hospitalier de l'Université de Montréal

	coefficient	erreur std.	t de Student	p. critique
Quantité de travail				
constante	-0.44041	0.02265	-19.44429	0.00000
Distance	6.14e-07	1.61e-08	38.17029	0.00000
Quantité de médicaments				
constante	1.59164	0.02245	70.88689	0.00000
Distance	-1.82e-07	1.37e-08	-13.28875	0.00000
Quantité de nourriture				
constante	-2.82389	0.01627	-173.54100	0.00000
Distance	-2.49e-06	5.91e-09	-421.40760	0.00000
Quantité de fournitures				
constante	0.59459	0.00956	62.20604	0.00000
Distance	-2.16e-07	9.17e-09	-23.58322	0.00000
Quantité d'énergie				
constante	1.66517	0.02674	62.28467	0.00000
Distance	-2.10e-07	1.66e-08	-12.67431	0.00000
Nombre obs.	2583			
Nombre panel	18			

$$\Sigma_{\xi} = \begin{pmatrix} 0.08927 & & & & & & \\ 0.01969 & 0.14224 & & & & & \\ -0.05803 & 0.09768 & 0.43549 & & & & \\ 0.10222 & 0.04042 & -0.10343 & 0.26389 & & & \\ 0.01521 & 0.05112 & 0.12519 & -0.06327 & 0.14459 & & \end{pmatrix}$$

Cette matrice met en évidence qu'il y a de l'inefficacité allocative dans les hôpitaux de moins de 20.000 mètres carrés car l'ensemble des variances sont positives. Comme pour l'ensemble des hôpitaux, les hôpitaux d'une superficie inférieure à 20.000 mètres carrés ont peu d'inefficacité allocative dans le nombre d'heures de travail en excluant le travail des médecins. En revanche, il y a plus d'inefficacités allocatives dans le choix de la quantité de fournitures et de nourriture.

Cette matrice met en évidence sept covariances positives et trois covariances négatives. Concernant les covariances négatives, nous pouvons voir qu'il y a de l'inefficacité allocative qui s'explique par le fait qu'un facteur de production est sur-utilisé et l'autre facteur de production est sous-utilisé, il s'agit de la demande d'heures de travail en excluant le travail des médecins et la demande de nourriture pour nourrir les patients hospitalisés. Nous pouvons constater qu'il existe ce type d'inefficacités allocatives entre la demande de nourriture pour nourrir les patients hospitalisés et la demande de fournitures. Enfin, il existe ce type d'inefficacités dans le choix des quantités de facteurs de production variables entre la demande de fournitures et la demande d'énergie.

4.4.2.2 Hôpitaux entre 20.000 et 40.000 mètres carrés

Pour les hôpitaux dont la superficie est comprise entre 20.000 et 40.000 mètres carrés, la matrice de variances-covariances de l'inefficacité allocative est donnée par :

$$\Sigma_{\xi} = \begin{pmatrix} 0.22191 & & & & \\ 0.40652 & 0.88074 & & & \\ 0.25874 & 0.62640 & 0.67376 & & \\ 0.38555 & 0.72146 & 0.45994 & 0.80284 & \\ 0.22120 & 0.47320 & 0.38182 & 0.30410 & 0.35166 \end{pmatrix}$$

Cette matrice met en évidence qu'il y a de l'inefficacité allocative dans les hôpitaux dont la superficie est comprise entre 20.000 et 40.000 mètres carrés car l'ensemble des variances sont positives. Ces hôpitaux ont un niveau élevé d'inefficacité allocative dans le choix de la quantité de fournitures, de nourriture et de médicaments.

4.4.2.3 Hôpitaux entre 40.000 et 100.000 mètres carrés

Pour les hôpitaux dont la superficie est comprise entre 40.000 et 100.000 mètres carrés, la matrice de variances-covariances de l'inefficacité allocative est donnée par :

$$\Sigma_{\xi} = \begin{pmatrix} 0.09658 & & & & \\ 0.03683 & 0.10607 & & & \\ -0.08818 & 0.08201 & 0.37702 & & \\ 0.03648 & 0.03747 & 0.07725 & 0.19789 & \\ 0.08348 & 0.06858 & -0.07436 & -0.07206 & 0.19159 \end{pmatrix}$$

Cette matrice met en évidence qu'il y a de l'inefficacité allocative dans les hôpitaux dont la superficie est comprise entre 40.000 et 100.000 mètres carrés. Ces hôpitaux ont peu d'inefficacité allocative dans la quantité de médicaments et dans le nombre d'heures de travail en excluant le travail des médecins. Cette matrice met en évidence sept covariances positives et trois covariances négatives. Concernant les covariances négatives, nous pouvons voir qu'il y a de l'inefficacité allocative qui s'explique par le fait qu'un facteur de production est sur-utilisé et l'autre facteur de production est sous-utilisé, il s'agit de la demande d'heures de travail

en excluant le travail des médecins et de la demande de nourriture pour nourrir les patients hospitalisés. Nous pouvons constater qu'il existe ce type d'inefficacités allocatives entre la demande de nourriture et la demande d'énergie. Enfin, il existe ce type d'inefficacités dans le choix des quantités de facteurs de production variables entre la demande de fournitures et la demande d'énergie.

4.4.2.4 Hôpitaux de plus de 100.000 mètres carrés

Pour les hôpitaux dont la superficie est supérieure à 100.000 mètres carrés, la matrice de variances-covariances de l'inefficacité allocative est donnée par :

$$\Sigma_{\xi} = \begin{pmatrix} 0.06423 & & & & \\ 0.05779 & 0.19690 & & & \\ 0.01413 & 0.12883 & 0.52503 & & \\ 0.00709 & 0.09548 & 0.11520 & 0.28584 & \\ 0.09883 & 0.12633 & 0.00101 & -0.11111 & 0.28555 \end{pmatrix}$$

Cette matrice met en évidence qu'il y a de l'inefficacité allocative dans les hôpitaux de plus de 100.000 mètres carrés. Ces hôpitaux ont peu d'inefficacité allocative dans le nombre d'heures de travail en excluant le travail des médecins alors qu'il y a plus d'inefficacité allocative dans le choix de la quantité de nourriture. Il y a neuf covariances positives et une covariance négative correspondant à la demande de fournitures et à la demande d'énergie.

En résumé, les hôpitaux ne sont pas inefficaces de la même manière dans le choix des facteurs de production variables car les signes des covariances sont différents selon la taille des hôpitaux et donc la stratégie à mettre en place pour réduire l'inefficacité allocative en substituant des facteurs de production à d'autres facteurs doit être différente. Néanmoins, en analysant la valeur des variances, les hôpitaux sont moins inefficaces allocativement dans la fixation du nombre d'heures de travail en excluant le travail des médecins que dans la fixation de la quantité de fournitures et d'énergie notamment.

4.4.3 Présentation des résultats de la prise en compte de l'hétérogénéité par la distance par rapport au Centre Hospitalier de l'Université de Montréal et par la région sociosanitaire

De manière à diminuer l'hétérogénéité inobservée, nous avons cherché d'autres variables nous permettant d'expliquer les différences existantes entre les hôpitaux. Nous avons pensé à prendre en compte la localisation dans la Municipalité Régionale de Comté en s'intéressant à la démographie de la MRC d'implantation de l'hôpital ou en s'intéressant à la part de la population de plus soixante-quinze ans mais nous avons deux limites à ce stade. Premièrement, il n'est pas possible d'utiliser une variable dichotomique correspondante à la MRC où se situe l'hôpital car dans la plupart des cas il n'existe qu'un seul hôpital par MRC. La démographie est également difficile à prendre en compte car la démographie évolue d'une année à l'autre, ce type d'hétérogénéité est de l'hétérogénéité variante dans le temps et il aurait fallu utiliser les variables démographiques à l'étape d'estimation de l'efficacité technique variante dans le temps. Nous aurions eu trop de variables explicatives par rapport au nombre d'observations par hôpital. De façon à augmenter le nombre de variables pour capter l'hétérogénéité, nous avons utilisé des variables dichotomiques en fonction de la région sociosanitaire d'implantation des hôpitaux. Il existe dix-huit régions sociosanitaires et chacune de ces régions a des responsabilités au niveau de la gestion du réseau de la santé. La région sociosanitaire de Montréal a été utilisée comme catégorie de référence.

Les résultats d'estimation sont consultables au tableau 4.10. Nous pouvons voir que la plupart des effets fixes régions sociosanitaires sont statistiquement significatifs pour capter l'hétérogénéité entre les hôpitaux. Nous retrouvons également l'effet de la distance en kilomètres par rapport au centre-ville de Montréal captant les différences de climat, de densité de population et de revenu des ménages, lorsque nous nous éloignons du centre-ville de Montréal, nous avons une augmentation du nombre d'heures de travail en excluant le travail des mé-

decins qui sont utilisées par les hôpitaux conjointement aux médecins pour traiter et soigner les patients. Lorsque nous nous éloignons du centre-ville de Montréal, les hôpitaux utilisent moins de fournitures, moins de nourriture et ils utilisent une quantité d'énergie plus faible pour le fonctionnement des appareils médicaux, pour l'éclairage et le chauffage des bâtiments.

TABLEAU 4.10: Estimation de l'effet de la distance par rapport au Centre Hospitalier de l'Université de Montréal et de la région sociosanitaire

	coefficient	erreur std.	t de Student	p. critique
Quantité de travail				
constante	-0.27630	0.20426	-1.35270	0.17615
Distance	1.45e-06	9.57e-08	15.15978	0.00000
RS01	-0.80966	0.06324	-12.80300	0.00000
RS02	-0.26452	0.04003	-6.60843	3.88e-11
RS03	-0.11713	0.03246	-3.60781	0.00031
RS04	-0.04938	0.02418	-2.04242	0.04111
RS05	-0.64912	0.03631	-17.87923	0.00000
RS07	-0.71572	0.03500	-20.44917	0.00000
RS08	-0.99484	0.07535	-13.20225	0.00000
RS09	0.17156	0.08479	2.02345	0.04303
RS10	0.27447	0.04619	5.94206	2.81e-09
RS11	-1.30238	0.09902	-13.15217	0.00000
RS12	0.09351	0.04602	2.03221	0.04213
RS13	-0.02175	0.03103	-0.70108	0.48326
RS14	0.03802	0.04339	0.87619	0.38093
RS15	-0.19609	0.03193	-6.14115	8.19e-10
RS16	0.43161	0.02333	18.49753	0.00000
RS17	0.72209	0.07065	10.22039	0.00000
Quantité de médicaments				
constante	1.44554	0.23628	6.11791	9.48e-10
Distance	1.71e-07	7.30e-08	2.35002	0.01877
RS01	0.33114	0.04802	6.89563	5.36e-12
RS02	0.38851	0.03020	12.86355	0.00000
RS03	-0.07025	0.02478	-2.83463	0.00459
RS04	-0.14148	0.01841	-7.68277	1.55e-14
RS05	0.05729	0.02753	2.08108	0.03743

RS07	0.16345	0.02679	6.10087	1.05e-09
RS08	0.23589	0.05734	4.11416	0.00004
RS09	-0.31948	0.06426	-4.97134	6.65e-07
RS10	-0.35227	0.03554	-9.91297	0.00000
RS11	0.25810	0.07518	3.43312	0.00060
RS12	0.02165	0.03491	0.62034	0.53503
RS13	-0.28491	0.02336	-12.19834	0.00000
RS14	-0.08880	0.03297	-2.69367	0.00707
RS15	0.63401	0.02427	26.12004	0.00000
RS16	0.94283	0.01769	53.31019	0.00000
RS17	2.21384	0.05389	41.08035	0.00000
<hr/>				
Quantité de nourriture				
constante	-3.18987	0.36401	-8.76317	0.00000
Distance	-4.08e-06	3.73e-08	-109.13910	0.00000
RS01	0.97906	0.02419	40.47940	0.00000
RS02	-0.00742	0.01524	-0.486959	0.62629
RS03	0.85513	0.01277	66.94102	0.00000
RS04	0.33998	0.00968	35.16169	0.00000
RS05	1.07999	0.01461	73.92312	0.00000
RS07	1.13715	0.01382	82.28264	0.00000
RS08	0.59960	0.02987	20.07039	0.00000
RS09	0.87467	0.03272	26.73315	0.00000
RS10	0.13036	0.01852	7.04056	1.91e-12
RS11	2.75800	0.03834	71.92508	0.00000
RS12	0.16287	0.01860	8.75693	0.00000
RS13	0.96123	0.01259	76.32605	0.00000
RS14	-0.98177	0.01660	-59.13415	0.00000
RS15	-0.42744	0.01317	-32.44412	0.00000
RS16	-1.87266	0.00933	-200.6518	0.00000
RS17	-2.70520	0.02767	-97.74826	0.00000
<hr/>				
Quantité de fournitures				
constante	0.94275	0.34876	2.70316	0.00687
Distance	-1.97e-06	7.58e-08	-25.93835	0.00000
RS01	1.10498	0.04884	22.62560	0.00000
RS02	1.05021	0.03058	34.33853	0.00000
RS03	0.50592	0.02601	19.45283	0.00000

RS04	-0.07938	0.01976	-4.01634	0.00006
RS05	-0.18532	0.02989	-6.19958	5.66e-10
RS07	0.48380	0.02825	17.12682	0.00000
RS08	2.32631	0.06092	38.18773	0.00000
RS09	0.52265	0.06631	7.88251	3.11e-15
RS10	-0.29468	0.03802	-7.75082	9.10e-15
RS11	1.79009	0.07766	23.04927	0.00000
RS12	-0.30196	0.03811	-7.92386	2.22e-15
RS13	-0.68655	0.02565	-26.76208	0.00000
RS14	0.50977	0.03390	15.03782	0.00000
RS15	0.49457	0.02688	18.39941	0.00000
RS16	1.19278	0.01906	62.57196	0.00000
RS17	6.47731	0.05632	115.00740	0.00000
<hr/>				
Quantité d'énergie				
constante	1.56019	0.17450	8.94068	0.00000
Distance	-1.24e-06	1.00e-07	-12.42299	0.00000
RS01	0.58622	0.06505	9.01194	0.00000
RS02	0.07784	0.04073	1.91136	0.05596
RS03	0.27741	0.03412	8.13098	4.44e-16
RS04	0.07613	0.02518	3.02271	0.00250
RS05	0.47693	0.03731	12.78124	0.00000
RS07	0.76342	0.03682	20.73281	0.00000
RS08	-0.63688	0.07832	-8.13209	4.44e-16
RS09	1.86079	0.08637	21.54437	0.00000
RS10	0.91192	0.04955	18.40442	0.00000
RS11	1.49166	0.10205	14.61691	0.00000
RS12	1.12118	0.04729	23.70701	0.00000
RS13	0.00252	0.03171	0.07948	0.93665
RS14	-0.42180	0.04303	-9.80147	0.00000
RS15	-0.02660	0.03433	-0.77489	0.43840
RS16	-0.27753	0.02391	-11.60829	0.00000
RS17	-0.29855	0.07383	-4.04403	0.00005
<hr/>				
Nombre obs.	2583			
Nombre panel	18			
<hr/>				

La matrice de variances-covariances de l'hétérogénéité est donnée par :

$$\Sigma_{\mu} = \begin{pmatrix} 0.40306 & & & & & \\ -0.07746 & 0.17168 & & & & \\ -0.76820 & -0.17885 & 1.99763 & & & \\ 0.35338 & 0.15766 & -1.20072 & 0.97936 & & \\ 0.05776 & -0.13165 & 0.09802 & -0.34104 & 0.28084 & \end{pmatrix}$$

Nous pouvons constater que les valeurs pour les variances et pour les covariances sont élevées mais la plupart des valeurs sont plus faibles que lorsque nous utilisons uniquement la distance en kilomètres par rapport au Centre Hospitalier de l'Université de Montréal comme variable captant l'hétérogénéité entre les hôpitaux. La prise en compte des régions sociosanitaires où sont localisés les hôpitaux ont permis de réduire l'hétérogénéité inobservée. Nous allons maintenant regarder l'impact de la prise en compte des différentes régions sociosanitaires sur l'estimation de la matrice de variances-covariances de l'inefficacité allocative.

La matrice de variances-covariances de l'inefficacité allocative est donnée par :

$$\Sigma_{\xi} = \begin{pmatrix} 0.09577 & & & & & \\ 0.15242 & 0.38505 & & & & \\ 0.09723 & 0.28235 & 0.44271 & & & \\ 0.15643 & 0.26595 & 0.17701 & 0.41893 & & \\ 0.07924 & 0.19521 & 0.18490 & 0.04679 & 0.21027 & \end{pmatrix}$$

Nous pouvons constater que les valeurs des variances et des covariances sont faiblement impactées par la prise en compte de variables supplémentaires pour capter l'hétérogénéité. Autrement dit, nous estimons correctement la matrice de variances-covariances de l'inefficacité allocative même en l'absence des effets régions sociosanitaires.

La matrice de variances-covariances de l'effet temporel aléatoire est donnée par :

$$\Sigma_{\zeta} = \begin{pmatrix} 0.00535 & & & & & \\ 0.00654 & 0.01516 & & & & \\ 0.00201 & 0.01592 & 0.03216 & & & \\ 0.00680 & 0.00590 & -0.00824 & 0.01484 & & \\ 0.00472 & 0.01305 & 0.01802 & 0.00180 & 0.01638 & \end{pmatrix}$$

Pour caractériser l'inefficacité allocative, nous continuons à utiliser comme seule variable captant l'hétérogénéité la distance par rapport au CHUM car nous avons vu que la prise en compte des différentes régions sociosanitaires a peu d'effet sur les valeurs de variances et de covariances pour la matrice de l'inefficacité allocative. De plus, lorsque nous décomposons l'échantillon en fonction de la superficie des hôpitaux, nous excluons de l'estimation de nombreuses régions sociosanitaires et nous avons trop peu d'hôpitaux par région sociosanitaire en travaillant sur un sous-échantillon d'hôpitaux par rapport à la superficie.

4.5 Préconisations de politiques de santé à réaliser

La réalisation de cette thèse a permis de mettre en évidence que le système de santé du Québec n'est pas efficace pour réaliser les soins et les services de santé au coût le plus faible pour les contribuables Québécois. L'application aux hôpitaux Québécois pour estimer l'inefficacité technique et l'inefficacité allocative à l'aide du système de demandes conditionnelles de facteurs de production variables a mis en évidence des sources importantes de réduction du coût du système de santé avec une réduction possible de la quantité de facteurs de production variables nécessaires à la réalisation des soins. Nous avons pu constater que l'efficacité technique est différente selon la superficie en nombre de mètres carrés des établissements hospitaliers et il est apparu que les hôpitaux d'une superficie inférieure à 20.000 mètres carrés sont en moyenne moins inefficaces techniquement que les hôpitaux d'une superficie supérieure à 20.000 mètres carrés.

La prise en compte de variables captant l'hétérogénéité entre les hôpitaux est nécessaire pour l'estimation de l'efficacité comme nous avons pu le voir en obtenant des coefficients statistiquement significatifs lors de la prise en compte de l'effet région sociosanitaire et de la distance par rapport au Centre Hospitalier de l'Université de Montréal utilisée comme une variable substitutive de la densité de population, du revenu des ménages et également du climat. Le tableau 4.11 présente la moyenne de l'efficacité technique par région sociosanitaire et par taille des hôpitaux. Les hôpitaux de petite taille ont une superficie inférieure à 20.000 mètres carrés, Les hôpitaux de taille moyenne ont une superficie comprise entre 20.000 et 40.000 mètres carrés et les hôpitaux de grande taille ont une superficie supérieure à 40.000 mètres carrés. Nous pouvons voir que la moyenne de l'efficacité technique est différente selon la taille des hôpitaux comme nous avons pu le constater à la section trois de ce chapitre. La moyenne de l'efficacité technique est aussi différente selon la région sociosanitaire où se trouvent les établissements hospitaliers.

TABLEAU 4.11: Moyenne de l'efficacité technique par région sociosanitaire et par taille des hôpitaux

Région Sociosanitaire	Hôpitaux petite taille		Hôpitaux taille moyenne		Hôpitaux grande taille	
	Moyenne	Nombre obs	Moyenne	Nombre obs	Moyenne	Nombre obs
Abitibi-Témiscamingue (08)	0.431	39	0.356	27	0.283	33
Bas-Saint-Laurent (01)	0.569	69	0.543	47	0.469	26
Côte-Nord (09)	0.764	17	0.339	52		
Capitale-Nationale (03)	0.590	50			0.332	125
Chaudières-Appalaches (12)	0.624	23	0.734	18	0.656	39
Estrie (05)	0.489	70	0.421	28	0.186	28
Gaspésie-Îles-de-le-Madeleine (11)	0.365	98	0.545	37		
Lanaudière (14)	0.276	1	0.338	21	0.426	34
Laurentides (15)	0.623	67	0.456	35	0.366	34
Laval (13)			0.277	10	0.290	18
Mauricie et Centre-du-Québec (04)	0.657	65	0.339	99	0.467	32
Montérégie (16)	0.762	28	0.420	115	0.557	84
Montréal (06)	0.506	97	0.494	169	0.307	316
Nord-du-Québec (10)	0.692	14				
Nunavik (17)	0.376	6	0.239	1	0.201	7
Outaouais (07)	0.584	39	0.315	36	0.327	11
Saguenay-Lac-Saint-Jean (02)	0.485	33	0.574	45	0.292	62

Ce constat nous mène à ne pas incriminer totalement les gestionnaires des hôpitaux dans l'atteinte d'un niveau d'efficacité technique peu élevé car les facteurs géographiques et démographiques sont une partie de l'explication de l'utilisation de quantités de facteurs de production variables plus élevées. Le Ministère de la Santé et des Services Sociaux doit donc évaluer l'efficacité du système de santé en prenant en considération ces différences géographiques, climatiques et démographiques dans l'évaluation des établissements hospitaliers. Néanmoins, le Ministère de la Santé et des Services Sociaux doit contrôler au mieux le fonctionnement des hôpitaux de manière à conserver un système de santé gratuit et accessible à toute la population Québécoise et pour permettre au Québec de surmonter l'augmentation des coûts du système de santé à venir avec le vieillissement de la population et avec le développement de nouveaux médicaments plus efficaces mais plus coûteux.

Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons estimé le système de demandes conditionnelles de facteurs de production variables avec notre méthode d'estimation à trois étapes sur la base de données des hôpitaux Québécois pour la période allant de 1981 à 2009. Les estimations ont mis en évidence la présence d'inefficacité technique importante notamment pour les hôpitaux d'une superficie comprise entre 20.000 et 40.000 mètres carrés et pour les hôpitaux d'une superficie supérieure à 40.000 mètres carrés. La troisième étape a mis en évidence que les hôpitaux ne sont pas inefficaces de la même manière dans le choix des facteurs de production variables car les signes des covariances sont différents selon la taille des hôpitaux et donc la stratégie à mettre en place pour réduire l'inefficacité allocative en substituant des facteurs de production à d'autres facteurs doit être différente.

Conclusion générale

L'objectif de cette thèse était d'analyser l'efficacité de la production à travers la mesure de l'inefficacité technique et de la mesure de l'inefficacité allocative. Nous avons développé au premier chapitre un modèle théorique permettant d'explicitier la différence entre le coût observé et le coût minimum de production en identifiant une décomposition entre l'inefficacité technique et l'inefficacité allocative. Nous avons introduit les problèmes d'inefficacité à l'intérieur de la fonction de transformation décrivant la technologie de production des entreprises. L'utilisation d'une fonction de transformation a pour but de prendre en considération des technologies de production multi-inputs, multi-outputs ayant connu du progrès technologique à travers les années. En résolvant le problème de minimisation du coût de production, nous avons pu établir le surplus de coût qui est dû à l'inefficacité technique et le surplus de coût qui est dû à l'inefficacité allocative dans la fonction de coût stochastique ainsi que le lien entre l'inefficacité allocative dans la fonction de coût et l'inefficacité allocative dans chacune des équations de parts de coût stochastiques. Notre modèle généralise plusieurs modèles habituellement utilisés dans la littérature selon la nature additive ou multiplicative des erreurs.

Dans le deuxième chapitre de la thèse, nous avons présenté succinctement le système de santé Québécois depuis sa mise en place à la suite de la Révolution Tranquille qui débute dans les années 1960 jusqu'aux missions actuelles du Ministère de la Santé et des Services Sociaux et la responsabilité des différents établissements de santé et de services sociaux intervenant

dans la fourniture de soins de santé à la population. Nous avons ensuite présenté la base de données utilisée dans le chapitre empirique de la thèse, cette base provient de Binet et al. (2020). Cette base de données contient l'ensemble des hôpitaux Québécois pour la période allant de 1981 à 2009 et inclut les quantités de facteurs de production utilisés par les hôpitaux et chaque quantité de soins de santé réalisés. Les données sur les finances des hôpitaux et sur les services réalisés par les hôpitaux proviennent du Ministère de la Santé et des Services Sociaux à travers les rapports financiers AS471 et les rapports statistiques AS477 que les hôpitaux doivent remplir annuellement. Les données sur les salaires des équipes médicales proviennent de la Régie de l'Assurance Maladie du Québec tandis que les indices de prix utilisés proviennent de Statistique Canada.

Dans le troisième chapitre, nous avons proposé une méthodologie permettant d'estimer l'inefficacité technique et l'inefficacité allocative en estimant le système de demandes conditionnelles de facteurs de production variables découlant du modèle théorique développé au premier chapitre. Cette méthode repose sur trois étapes d'estimation. La première étape consiste à estimer la technologie de production à travers l'estimation du système de demandes conditionnelles de facteurs de production par la méthode des moments généralisée pour prendre en compte l'endogénéité entre les régresseurs et les résidus. La deuxième étape propose une adaptation de la méthode d'estimation de l'inefficacité technique variante dans le temps développée par Cornwell et al. (1990) pour la rendre opérationnelle dans le cas de l'estimation de l'inefficacité technique variante dans le temps à l'aide du système de demandes conditionnelles de facteurs de production variables. La troisième étape consiste à prendre en considération l'hétérogénéité observée et l'hétérogénéité inobservée afin d'estimer l'inefficacité allocative grâce à l'adaptation de la méthodologie de Platoni et al. (2012) pour la rendre utilisable dans un objectif de mesure de l'efficacité. La méthodologie de Platoni et al. (2012) consiste à estimer un système d'équations apparemment indépendantes en prenant en compte le caractère non cylindré d'un panel et en prenant en compte à la fois un effet

individuel aléatoire et un effet temporel aléatoire. La mise en œuvre de cette troisième étape permet d'estimer la matrice de variances-covariances de l'inefficacité allocative, de l'effet individuel aléatoire et de l'effet temporel aléatoire.

Dans le quatrième et dernier chapitre, nous avons mis en œuvre la méthodologie développée au troisième chapitre pour vérifier si l'estimation de l'inefficacité technique et de l'inefficacité allocative est possible en utilisant le système de demandes conditionnelles de facteurs de production variables. L'application repose sur l'utilisation d'une base de données sur les hôpitaux Québécois pour la période allant de 1981 à 2009. Les estimations ont mis en évidence la présence d'inefficacité technique importante notamment pour les hôpitaux d'une superficie comprise entre 20.000 et 40.000 mètres carrés et pour les hôpitaux d'une superficie supérieure à 40.000 mètres carrés. La troisième étape a mis en évidence que les hôpitaux ne sont pas inefficaces de la même manière dans le choix des facteurs de production variables car les signes des covariances sont différents selon la taille des hôpitaux. La stratégie à mettre en place pour réduire l'inefficacité allocative en substituant des facteurs de production à d'autres facteurs doit donc être adaptée en fonction du type d'hôpitaux.

La thèse a donc permis d'établir le lien entre le coût observé et le coût minimum de production en établissant le surplus de coût qui est dû à l'inefficacité technique et le surplus de coût qui est dû à l'inefficacité allocative dans la fonction de coût stochastique ainsi que le lien entre l'inefficacité allocative dans la fonction de coût et l'inefficacité allocative dans chacune des équations de parts de coût stochastiques. Nous avons utilisé pour la première fois le système de demandes conditionnelles de facteurs de production variables pour estimer l'inefficacité technique et allocative découlant du modèle théorique présenté au premier chapitre. Nous avons développé une méthode d'estimation en trois étapes pour à la fois estimer l'inefficacité technique et l'inefficacité allocative en veillant à prendre en compte l'hétérogénéité. Nous avons réalisé l'estimation du système de demandes conditionnelles de facteurs de

production variables sur la base de données des hôpitaux Québécois mise à jour jusque 2009. Cette base de données disposant de vingt-neuf années d'observations a permis l'estimation de l'efficacité technique grâce à l'adaptation de la méthodologie de Cornwell et al. (1990) nécessitant l'observation des firmes pendant de nombreuses années. L'une des limites de cette estimation est l'absence des indicateurs sur la diversité et sur la complexité des soins réalisés par les hôpitaux. Dans les travaux futurs, nous développerons une méthodologie pour estimer la fonction de coût stochastique conjointement au système de parts de coût du chapitre théorique avec des méthodes économétriques permettant la prise en compte de la non-linéarité des termes aléatoires.

Annexe A

Annexes du chapitre théorique

A.1 Résolution du problème de minimisation du coût sans inefficacité

Nous présentons ici le cas sans inefficacité en illustrant le problème au cas d'une fonction de production mono-output Cobb-Douglas avec deux facteurs de production :

$$y = \gamma x_1^{\beta_1} x_2^{\beta_2} k^\alpha$$

$$\min_{\mathbf{x}} \mathbf{w}^T \mathbf{x} \text{ s.t. } y \leq \gamma x_1^{\beta_1} x_2^{\beta_2} k^\alpha$$

$$\min_{x_1, x_2} w_1 x_1 + w_2 x_2 \text{ s.t. } y \leq \gamma x_1^{\beta_1} x_2^{\beta_2} k^\alpha$$

$$\mathcal{L} = w_1 x_1 + w_2 x_2 + \lambda \left[y - \gamma x_1^{\beta_1} x_2^{\beta_2} k^\alpha \right]$$

$$\frac{\partial \mathcal{L}}{\partial \lambda} = y - \gamma x_1^{\beta_1} x_2^{\beta_2} k^\alpha = 0$$

$$\frac{\partial \mathcal{L}}{\partial x_1} = w_1 - \lambda \beta_1 \gamma x_1^{\beta_1 - 1} x_2^{\beta_2} k^\alpha = 0$$

$$\frac{\partial \mathcal{L}}{\partial x_2} = w_2 - \lambda \beta_2 \gamma x_1^{\beta_1} x_2^{\beta_2 - 1} k^\alpha = 0$$

$$\frac{w_1}{w_2} = \frac{\lambda \beta_1 \gamma x_1^{\beta_1 - 1} x_2^{\beta_2} k^\alpha}{\lambda \beta_2 \gamma x_1^{\beta_1} x_2^{\beta_2 - 1} k^\alpha} = \frac{\beta_1 x_1^{-1}}{\beta_2 x_2^{-1}}$$

$$\frac{w_1}{w_2} = \frac{\beta_1 x_2}{\beta_2 x_1}$$

$$w_1 \beta_2 x_1 = w_2 \beta_1 x_2$$

$$x_1 = \frac{w_2 \beta_1 x_2}{w_1 \beta_2}$$

$$y - \gamma x_1^{\beta_1} x_2^{\beta_2} k^\alpha = 0$$

$$y - \gamma \left(\frac{w_2 \beta_1 x_2}{w_1 \beta_2} \right)^{\beta_1} x_2^{\beta_2} k^\alpha = 0$$

$$y = \gamma \left(\frac{w_2 \beta_1 x_2}{w_1 \beta_2} \right)^{\beta_1} x_2^{\beta_2} k^\alpha$$

$$y x_2^{-\beta_2} = \gamma k^\alpha \left(\frac{w_2 \beta_1 x_2}{w_1 \beta_2} \right)^{\beta_1}$$

$$\begin{aligned}
yx_2^{-\beta_2} &= \gamma k^\alpha \left(\frac{w_2 \beta_1}{w_1 \beta_2} \right)^{\beta_1} x_2^{\beta_1} \\
yx_2^{-\beta_2} x_2^{-\beta_1} &= \gamma k^\alpha \left(\frac{w_2 \beta_1}{w_1 \beta_2} \right)^{\beta_1} \\
yx_2^{-\beta_2 - \beta_1} &= \gamma k^\alpha \left(\frac{w_2 \beta_1}{w_1 \beta_2} \right)^{\beta_1} \\
x_2^{-\beta_2 - \beta_1} &= y^{-1} \gamma k^\alpha \left(\frac{w_2 \beta_1}{w_1 \beta_2} \right)^{\beta_1} \\
x_2 &= \left[y^{-1} \gamma k^\alpha \left(\frac{w_2 \beta_1}{w_1 \beta_2} \right)^{\beta_1} \right]^{\frac{-1}{\beta_2 + \beta_1}} \\
x_1 &= \left[y^{-1} \gamma k^\alpha \left(\frac{w_1 \beta_2}{w_2 \beta_1} \right)^{\beta_2} \right]^{\frac{-1}{\beta_2 + \beta_1}} \\
C(y, w_1, w_2) &= w_1 \left[y^{-1} \gamma k^\alpha \left(\frac{w_1 \beta_2}{w_2 \beta_1} \right)^{\beta_2} \right]^{\frac{-1}{\beta_2 + \beta_1}} + w_2 \left[y^{-1} \gamma k^\alpha \left(\frac{w_2 \beta_1}{w_1 \beta_2} \right)^{\beta_1} \right]^{\frac{-1}{\beta_2 + \beta_1}}
\end{aligned}$$

139

Prouvons que nous revenons à une fonction de coût Cobb-Douglas :

$$\begin{aligned}
C(y, w_1, w_2) &= w_1 \left[y^{-1} \gamma k^\alpha \left(\frac{w_1 \beta_2}{w_2 \beta_1} \right)^{\beta_2} \right]^{\frac{-1}{\beta_2 + \beta_1}} + w_2 \left[y^{-1} \gamma k^\alpha \left(\frac{w_2 \beta_1}{w_1 \beta_2} \right)^{\beta_1} \right]^{\frac{-1}{\beta_2 + \beta_1}} \\
C &= w_1 y^{\frac{1}{\beta_2 + \beta_1}} (\gamma k^\alpha)^{\frac{-1}{\beta_2 + \beta_1}} \left(\frac{w_1 \beta_2}{w_2 \beta_1} \right)^{\frac{-\beta_2}{\beta_2 + \beta_1}} + w_2 y^{\frac{1}{\beta_2 + \beta_1}} (\gamma k^\alpha)^{\frac{-1}{\beta_2 + \beta_1}} \left(\frac{w_2 \beta_1}{w_1 \beta_2} \right)^{\frac{-\beta_1}{\beta_2 + \beta_1}} \\
&= w_1 y^{\frac{1}{\beta_2 + \beta_1}} (\gamma k^\alpha)^{\frac{-1}{\beta_2 + \beta_1}} \left(\frac{w_1}{w_2} \right)^{\frac{-\beta_2}{\beta_2 + \beta_1}} \left(\frac{\beta_2}{\beta_1} \right)^{\frac{-\beta_2}{\beta_2 + \beta_1}} + w_2 y^{\frac{1}{\beta_2 + \beta_1}} (\gamma k^\alpha)^{\frac{-1}{\beta_2 + \beta_1}} \left(\frac{w_2}{w_1} \right)^{\frac{-\beta_1}{\beta_2 + \beta_1}} \left(\frac{\beta_1}{\beta_2} \right)^{\frac{-\beta_1}{\beta_2 + \beta_1}} \\
&= w_1 (w_1)^{\frac{-\beta_2}{\beta_2 + \beta_1}} \left(\frac{1}{w_2} \right)^{\frac{-\beta_2}{\beta_2 + \beta_1}} y^{\frac{1}{\beta_2 + \beta_1}} (\gamma k^\alpha)^{\frac{-1}{\beta_2 + \beta_1}} \left(\frac{\beta_2}{\beta_1} \right)^{\frac{-\beta_2}{\beta_2 + \beta_1}} + w_2 (w_2)^{\frac{-\beta_1}{\beta_2 + \beta_1}} \left(\frac{1}{w_1} \right)^{\frac{-\beta_1}{\beta_2 + \beta_1}} y^{\frac{1}{\beta_2 + \beta_1}} (\gamma k^\alpha)^{\frac{-1}{\beta_2 + \beta_1}} \left(\frac{\beta_1}{\beta_2} \right)^{\frac{-\beta_1}{\beta_2 + \beta_1}} \\
&= (w_1)^{\left(1 - \frac{-\beta_2}{\beta_2 + \beta_1}\right)} \left(\frac{1}{w_2} \right)^{\frac{-\beta_2}{\beta_2 + \beta_1}} y^{\frac{1}{\beta_2 + \beta_1}} (\gamma k^\alpha)^{\frac{-1}{\beta_2 + \beta_1}} \left(\frac{\beta_2}{\beta_1} \right)^{\frac{-\beta_2}{\beta_2 + \beta_1}} + (w_2)^{\left(1 - \frac{-\beta_1}{\beta_2 + \beta_1}\right)} \left(\frac{1}{w_1} \right)^{\frac{-\beta_1}{\beta_2 + \beta_1}} y^{\frac{1}{\beta_2 + \beta_1}} (\gamma k^\alpha)^{\frac{-1}{\beta_2 + \beta_1}} \left(\frac{\beta_1}{\beta_2} \right)^{\frac{-\beta_1}{\beta_2 + \beta_1}} \\
&= (w_1)^{\left(\frac{\beta_1}{\beta_2 + \beta_1}\right)} \left(\frac{1}{w_2} \right)^{\frac{-\beta_2}{\beta_2 + \beta_1}} y^{\frac{1}{\beta_2 + \beta_1}} (\gamma k^\alpha)^{\frac{-1}{\beta_2 + \beta_1}} \left(\frac{\beta_2}{\beta_1} \right)^{\frac{-\beta_2}{\beta_2 + \beta_1}} + (w_2)^{\left(\frac{\beta_2}{\beta_2 + \beta_1}\right)} \left(\frac{1}{w_1} \right)^{\frac{-\beta_1}{\beta_2 + \beta_1}} y^{\frac{1}{\beta_2 + \beta_1}} (\gamma k^\alpha)^{\frac{-1}{\beta_2 + \beta_1}} \left(\frac{\beta_1}{\beta_2} \right)^{\frac{-\beta_1}{\beta_2 + \beta_1}} \\
&= \left[y^{\frac{1}{\beta_2 + \beta_1}} (\gamma k^\alpha)^{\frac{-1}{\beta_2 + \beta_1}} \right] \left[(w_1)^{\left(\frac{\beta_1}{\beta_2 + \beta_1}\right)} \left(\frac{1}{w_2} \right)^{\frac{-\beta_2}{\beta_2 + \beta_1}} \left(\frac{\beta_2}{\beta_1} \right)^{\frac{-\beta_2}{\beta_2 + \beta_1}} + (w_2)^{\left(\frac{\beta_2}{\beta_2 + \beta_1}\right)} \left(\frac{1}{w_1} \right)^{\frac{-\beta_1}{\beta_2 + \beta_1}} \left(\frac{\beta_1}{\beta_2} \right)^{\frac{-\beta_1}{\beta_2 + \beta_1}} \right]
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
&= \left[y^{\frac{1}{\beta_2+\beta_1}} (\gamma k^\alpha)^{\frac{-1}{\beta_2+\beta_1}} \right] \left[(w_1)^{\left(\frac{\beta_1}{\beta_2+\beta_1}\right)} (w_2)^{\left(\frac{\beta_2}{\beta_2+\beta_1}\right)} \left(\frac{\beta_2^{\frac{-\beta_2}{\beta_2+\beta_1}}}{\beta_1^{\frac{-\beta_2}{\beta_2+\beta_1}}} \right) + (w_2)^{\left(\frac{\beta_2}{\beta_2+\beta_1}\right)} (w_1)^{\left(\frac{\beta_1}{\beta_2+\beta_1}\right)} \left(\frac{\beta_1^{\frac{-\beta_1}{\beta_2+\beta_1}}}{\beta_2^{\frac{-\beta_1}{\beta_2+\beta_1}}} \right) \right] \\
&= \left[y^{\frac{1}{\beta_2+\beta_1}} (\gamma k^\alpha)^{\frac{-1}{\beta_2+\beta_1}} (w_1)^{\left(\frac{\beta_1}{\beta_2+\beta_1}\right)} (w_2)^{\left(\frac{\beta_2}{\beta_2+\beta_1}\right)} \right] \left[\left(\frac{\beta_2^{\frac{-\beta_2}{\beta_2+\beta_1}}}{\beta_1^{\frac{-\beta_2}{\beta_2+\beta_1}}} \right) + \left(\frac{\beta_1^{\frac{-\beta_1}{\beta_2+\beta_1}}}{\beta_2^{\frac{-\beta_1}{\beta_2+\beta_1}}} \right) \right] \\
&= \left[y^{\frac{1}{\beta_2+\beta_1}} (\gamma k^\alpha)^{\frac{-1}{\beta_2+\beta_1}} (w_1)^{\left(\frac{\beta_1}{\beta_2+\beta_1}\right)} (w_2)^{\left(\frac{\beta_2}{\beta_2+\beta_1}\right)} \right] \left[\frac{\beta_2^{\frac{-\beta_2}{\beta_2+\beta_1}} \beta_2^{\frac{-\beta_1}{\beta_2+\beta_1}}}{\beta_1^{\frac{-\beta_2}{\beta_2+\beta_1}} \beta_2^{\frac{-\beta_1}{\beta_2+\beta_1}}} + \frac{\beta_1^{\frac{-\beta_1}{\beta_2+\beta_1}} \beta_1^{\frac{-\beta_2}{\beta_2+\beta_1}}}{\beta_2^{\frac{-\beta_1}{\beta_2+\beta_1}} \beta_1^{\frac{-\beta_2}{\beta_2+\beta_1}}} \right] \\
&= \left[y^{\frac{1}{\beta_2+\beta_1}} (\gamma k^\alpha)^{\frac{-1}{\beta_2+\beta_1}} (w_1)^{\left(\frac{\beta_1}{\beta_2+\beta_1}\right)} (w_2)^{\left(\frac{\beta_2}{\beta_2+\beta_1}\right)} \right] \left[\frac{\beta_2^{\frac{-\beta_2-\beta_1}{\beta_2+\beta_1}} + \beta_1^{\frac{-\beta_2-\beta_1}{\beta_2+\beta_1}}}{\beta_2^{\frac{-\beta_1}{\beta_2+\beta_1}} \beta_1^{\frac{-\beta_2}{\beta_2+\beta_1}}} \right] \\
&= \left[y^{\frac{1}{\beta_2+\beta_1}} (\gamma k^\alpha)^{\frac{-1}{\beta_2+\beta_1}} (w_1)^{\left(\frac{\beta_1}{\beta_2+\beta_1}\right)} (w_2)^{\left(\frac{\beta_2}{\beta_2+\beta_1}\right)} \right] \left[\frac{\beta_2^{-1} + \beta_1^{-1}}{\beta_1^{\frac{-\beta_2}{\beta_2+\beta_1}} \beta_2^{\frac{-\beta_1}{\beta_2+\beta_1}}} \right] \\
&= A_0 y^{\frac{1}{\beta_2+\beta_1}} (w_1)^{\left(\frac{\beta_1}{\beta_2+\beta_1}\right)} (w_2)^{\left(\frac{\beta_2}{\beta_2+\beta_1}\right)}
\end{aligned}$$

$$\text{Avec : } A_0 = (\gamma k^\alpha)^{\frac{-1}{\beta_2+\beta_1}} \left[\frac{\beta_2^{-1} + \beta_1^{-1}}{\beta_1^{\frac{-\beta_2}{\beta_2+\beta_1}} \beta_2^{\frac{-\beta_1}{\beta_2+\beta_1}}} \right]$$

140

Nous pouvons également utiliser le lemme de Shephard pour retrouver les demandes conditionnelles de facteurs :

$$\begin{aligned}
\frac{\partial C}{\partial w_1} &= \frac{\beta_1}{\beta_2+\beta_1} A_0 y^{\frac{1}{\beta_2+\beta_1}} (w_1)^{\left(\frac{\beta_1}{\beta_2+\beta_1}-1\right)} (w_2)^{\left(\frac{\beta_2}{\beta_2+\beta_1}\right)} \\
x_1 &= \frac{\beta_1}{\beta_2+\beta_1} A_0 y^{\frac{1}{\beta_2+\beta_1}} (w_1)^{\left(\frac{-\beta_2}{\beta_2+\beta_1}\right)} (w_2)^{\left(\frac{\beta_2}{\beta_2+\beta_1}\right)} \\
x_1 &= \frac{\beta_1}{\beta_2+\beta_1} \left[\frac{\beta_2^{-1} + \beta_1^{-1}}{\beta_1^{\frac{-\beta_2}{\beta_2+\beta_1}} \beta_2^{\frac{-\beta_1}{\beta_2+\beta_1}}} \right] y^{\frac{1}{\beta_2+\beta_1}} (w_1)^{\left(\frac{-\beta_2}{\beta_2+\beta_1}\right)} (w_2)^{\left(\frac{\beta_2}{\beta_2+\beta_1}\right)} (\gamma k^\alpha)^{\frac{-1}{\beta_2+\beta_1}} \\
x_1 &= (w_1 w_2^{-1})^{\left(\frac{-\beta_2}{\beta_2+\beta_1}\right)} \frac{\beta_1}{\beta_2+\beta_1} \left[\frac{\beta_2^{-1} + \beta_1^{-1}}{\beta_1^{\frac{-\beta_2}{\beta_2+\beta_1}} \beta_2^{\frac{-\beta_1}{\beta_2+\beta_1}}} \right] y^{\frac{1}{\beta_2+\beta_1}} (\gamma k^\alpha)^{\frac{-1}{\beta_2+\beta_1}}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
x_1 &= \left(\frac{w_1}{w_2}\right)^{\left(\frac{-\beta_2}{\beta_2+\beta_1}\right)} \beta_1 \left[\frac{\left(\frac{1}{\beta_2}\right) + \left(\frac{1}{\beta_1}\right)}{(\beta_2+\beta_1) \left(\beta_1^{\frac{-\beta_2}{\beta_2+\beta_1}} \beta_2^{\frac{-\beta_1}{\beta_2+\beta_1}}\right)} \right] y^{\frac{1}{\beta_2+\beta_1}} (\gamma k^\alpha)^{\frac{-1}{\beta_2+\beta_1}} \\
x_1 &= \left(\frac{w_1}{w_2}\right)^{\left(\frac{-\beta_2}{\beta_2+\beta_1}\right)} \beta_1 \left[\frac{(\beta_2+\beta_1) \left(\beta_1^{\frac{-\beta_2}{\beta_2+\beta_1}} \beta_2^{\frac{-\beta_1}{\beta_2+\beta_1}}\right)}{\beta_2+\beta_1} \right] y^{\frac{1}{\beta_2+\beta_1}} (\gamma k^\alpha)^{\frac{-1}{\beta_2+\beta_1}} \\
x_1 &= \left(\frac{w_1}{w_2}\right)^{\left(\frac{-\beta_2}{\beta_2+\beta_1}\right)} \left(\beta_1^{\frac{-\beta_2}{\beta_2+\beta_1}+1} \beta_2^{\frac{-\beta_1}{\beta_2+\beta_1}}\right) y^{\frac{1}{\beta_2+\beta_1}} (\gamma k^\alpha)^{\frac{-1}{\beta_2+\beta_1}} \\
x_1 &= \left(\frac{w_1}{w_2}\right)^{\left(\frac{-\beta_2}{\beta_2+\beta_1}\right)} \left(\beta_1^{\frac{\beta_1}{\beta_2+\beta_1}} \beta_2^{\frac{-\beta_1}{\beta_2+\beta_1}}\right) y^{\frac{1}{\beta_2+\beta_1}} (\gamma k^\alpha)^{\frac{-1}{\beta_2+\beta_1}} \\
x_1 &= \left(\frac{w_1^{\beta_2}}{w_2^{\beta_2}}\right)^{\left(\frac{-1}{\beta_2+\beta_1}\right)} \left(\beta_1^{-\beta_1} \beta_2^{\beta_1}\right)^{\left(\frac{-1}{\beta_2+\beta_1}\right)} y^{\frac{1}{\beta_2+\beta_1}} (\gamma k^\alpha)^{\frac{-1}{\beta_2+\beta_1}} \\
x_1 &= \left[\left(\frac{w_1}{w_2}\right)^{\beta_2} \left(\beta_1^{-\beta_1} \beta_2^{\beta_1}\right) \right]^{\frac{-1}{\beta_2+\beta_1}} y^{\frac{1}{\beta_2+\beta_1}} (\gamma k^\alpha)^{\frac{-1}{\beta_2+\beta_1}} \\
x_1 &= \left[\left(\frac{w_1 \beta_2^{\beta_1}}{w_2 \beta_1^{\beta_1}}\right)^{\beta_2} \right]^{\frac{-1}{\beta_2+\beta_1}} y^{\frac{1}{\beta_2+\beta_1}} (\gamma k^\alpha)^{\frac{-1}{\beta_2+\beta_1}} \\
x_1 &= \left[y^{-1} \gamma k^\alpha \left(\frac{w_1 \beta_2}{w_2 \beta_1}\right)^{\beta_2} \right]^{\frac{-1}{\beta_2+\beta_1}}
\end{aligned}$$

A.2 Résolution du problème de minimisation du coût avec de l'inefficacité technique et allocative

Nous présentons ici le cas avec inefficacité technique et inefficacité allocative en illustrant le problème au cas d'une fonction de production mono-output Cobb-Douglas avec deux facteurs de production :

$$y = \gamma (\theta \xi_1 x_1)^{\beta_1} (\theta \xi_2 x_2)^{\beta_2} k^\alpha$$

$$\min_{\mathbf{x}} \mathbf{w}^T \mathbf{x} \text{ s.t. } y \leq \gamma (\theta \xi_1 x_1)^{\beta_1} (\theta \xi_2 x_2)^{\beta_2} k^\alpha$$

$$\min_{x_1, x_2} w_1 x_1 + w_2 x_2 \text{ s.t. } y \leq \gamma (\theta \xi_1 x_1)^{\beta_1} (\theta \xi_2 x_2)^{\beta_2} k^\alpha$$

$$\mathcal{L} = w_1 x_1 + w_2 x_2 + \lambda \left[y - \gamma (\theta \xi_1 x_1)^{\beta_1} (\theta \xi_2 x_2)^{\beta_2} k^\alpha \right]$$

$$\frac{\partial \mathcal{L}}{\partial \lambda} = y - \gamma (\theta \xi_1 x_1)^{\beta_1} (\theta \xi_2 x_2)^{\beta_2} k^\alpha = 0$$

$$\frac{\partial \mathcal{L}}{\partial x_1} = w_1 - \lambda \gamma \beta_1 \theta \xi_1 (\theta \xi_1 x_1)^{\beta_1 - 1} (\theta \xi_2 x_2)^{\beta_2} k^\alpha = 0$$

$$\frac{\partial \mathcal{L}}{\partial x_2} = w_2 - \lambda \gamma \beta_2 \theta \xi_2 (\theta \xi_1 x_1)^{\beta_1} (\theta \xi_2 x_2)^{\beta_2 - 1} k^\alpha = 0$$

$$\frac{w_1}{w_2} = \frac{\lambda \gamma \beta_1 \theta \xi_1 (\theta \xi_1 x_1)^{\beta_1 - 1} (\theta \xi_2 x_2)^{\beta_2} k^\alpha}{\lambda \gamma \beta_2 \theta \xi_2 (\theta \xi_1 x_1)^{\beta_1} (\theta \xi_2 x_2)^{\beta_2 - 1} k^\alpha}$$

$$\frac{w_1}{w_2} = \frac{\beta_1 \xi_1 (\theta \xi_1 x_1)^{-1}}{\beta_2 \xi_2 (\theta \xi_2 x_2)^{-1}} = \left(\frac{\beta_1 \xi_1}{\beta_2 \xi_2} \right) (\theta \xi_1 x_1)^{-1} \left(\frac{1}{\theta \xi_2 x_2} \right)^{-1}$$

$$\frac{w_1}{w_2} = \frac{\beta_1 \xi_1 (\theta \xi_2 x_2)}{\beta_2 \xi_2 (\theta \xi_1 x_1)}$$

$$\frac{w_1}{w_2} = \frac{\beta_1 x_2}{\beta_2 x_1}$$

$$w_1 \beta_2 x_1 = w_2 \beta_1 x_2$$

$$x_1 = \frac{w_2 \beta_1 x_2}{w_1 \beta_2}$$

$$\begin{aligned}
y - \gamma (\theta \xi_1 x_1)^{\beta_1} (\theta \xi_2 x_2)^{\beta_2} k^\alpha &= 0 \\
y - \gamma \left(\theta \xi_1 \frac{w_2 \beta_1 x_2}{w_1 \beta_2} \right)^{\beta_1} (\theta \xi_2 x_2)^{\beta_2} k^\alpha &= 0 \\
y &= \gamma \left(\theta \xi_1 \frac{w_2 \beta_1 x_2}{w_1 \beta_2} \right)^{\beta_1} (\theta \xi_2 x_2)^{\beta_2} k^\alpha = 0 \\
y x_2^{-\beta_2} &= \gamma k^\alpha \left(\theta \xi_1 \frac{w_2 \beta_1 x_2}{w_1 \beta_2} \right)^{\beta_1} (\theta \xi_2)^{\beta_2} \\
y x_2^{-\beta_2} &= \gamma k^\alpha (\theta \xi_1)^{\beta_1} \left(\frac{w_2 \beta_1 x_2}{w_1 \beta_2} \right)^{\beta_1} (\theta \xi_2)^{\beta_2} \\
y x_2^{-\beta_2} x_2^{-\beta_1} &= \gamma k^\alpha (\theta \xi_1)^{\beta_1} \left(\frac{w_2 \beta_1}{w_1 \beta_2} \right)^{\beta_1} (\theta \xi_2)^{\beta_2} \\
x_2^{-\beta_2 - \beta_1} &= y^{-1} \gamma k^\alpha \left(\frac{w_2 \beta_1}{w_1 \beta_2} \right)^{\beta_1} (\theta \xi_1)^{\beta_1} (\theta \xi_2)^{\beta_2} \\
x_2 &= \left[y^{-1} \gamma k^\alpha \left(\frac{w_2 \beta_1}{w_1 \beta_2} \right)^{\beta_1} \right]^{\frac{-1}{\beta_2 + \beta_1}} \left[(\theta \xi_1)^{\beta_1} (\theta \xi_2)^{\beta_2} \right]^{\frac{-1}{\beta_2 + \beta_1}} \\
x_1 &= \left[y^{-1} \gamma k^\alpha \left(\frac{w_1 \beta_2}{w_2 \beta_1} \right)^{\beta_2} \right]^{\frac{-1}{\beta_2 + \beta_1}} \left[(\theta \xi_1)^{\beta_1} (\theta \xi_2)^{\beta_2} \right]^{\frac{-1}{\beta_2 + \beta_1}} \\
C(y, w_1, w_2, \theta, \xi) &= w_1 \left[y^{-1} \gamma k^\alpha \left(\frac{w_1 \beta_2}{w_2 \beta_1} \right)^{\beta_2} \right]^{\frac{-1}{\beta_2 + \beta_1}} \left[(\theta \xi_1)^{\beta_1} (\theta \xi_2)^{\beta_2} \right]^{\frac{-1}{\beta_2 + \beta_1}} + w_2 \left[y^{-1} \gamma k^\alpha \left(\frac{w_2 \beta_1}{w_1 \beta_2} \right)^{\beta_1} \right]^{\frac{-1}{\beta_2 + \beta_1}} \left[(\theta \xi_1)^{\beta_1} (\theta \xi_2)^{\beta_2} \right]^{\frac{-1}{\beta_2 + \beta_1}}
\end{aligned}$$

Etablissons désormais le lien entre la fonction de coût avec l'inefficacité technique et allocative et la fonction de coût sans inefficacité :

$$\begin{aligned}
C(y, w_1, w_2, \theta, \xi) &= w_1 \left[y^{-1} \gamma k^\alpha \left(\frac{w_1 \beta_2}{w_2 \beta_1} \right)^{\beta_2} \right]^{\frac{-1}{\beta_2 + \beta_1}} \left[(\theta \xi_1)^{\beta_1} (\theta \xi_2)^{\beta_2} \right]^{\frac{-1}{\beta_2 + \beta_1}} + w_2 \left[y^{-1} \gamma k^\alpha \left(\frac{w_2 \beta_1}{w_1 \beta_2} \right)^{\beta_1} \right]^{\frac{-1}{\beta_2 + \beta_1}} \left[(\theta \xi_1)^{\beta_1} (\theta \xi_2)^{\beta_2} \right]^{\frac{-1}{\beta_2 + \beta_1}} \\
C(y, w_1, w_2, \theta, \xi) &= \left[(\theta \xi_1)^{\beta_1} (\theta \xi_2)^{\beta_2} \right]^{\frac{-1}{\beta_2 + \beta_1}} \left[w_1 \left[y^{-1} \gamma k^\alpha \left(\frac{w_1 \beta_2}{w_2 \beta_1} \right)^{\beta_2} \right]^{\frac{-1}{\beta_2 + \beta_1}} + w_2 \left[y^{-1} \gamma k^\alpha \left(\frac{w_2 \beta_1}{w_1 \beta_2} \right)^{\beta_1} \right]^{\frac{-1}{\beta_2 + \beta_1}} \right] \\
\text{Avec : } C(y, w_1, w_2) &= w_1 \left[y^{-1} \gamma k^\alpha \left(\frac{w_1 \beta_2}{w_2 \beta_1} \right)^{\beta_2} \right]^{\frac{-1}{\beta_2 + \beta_1}} + w_2 \left[y^{-1} \gamma k^\alpha \left(\frac{w_2 \beta_1}{w_1 \beta_2} \right)^{\beta_1} \right]^{\frac{-1}{\beta_2 + \beta_1}}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
C(y, w_1, w_2, \theta, \boldsymbol{\xi}) &= C(y, w_1, w_2) \left[(\theta \xi_1)^{\beta_1} (\theta \xi_2)^{\beta_2} \right]^{\frac{-1}{\beta_2 + \beta_1}} \\
C(y, w_1, w_2, \theta, \boldsymbol{\xi}) &= C(y, w_1, w_2) \left[\xi_1^{\beta_1} \xi_2^{\beta_2} \right]^{\frac{-1}{\beta_2 + \beta_1}} \left[\theta^{\beta_1} \theta^{\beta_2} \right]^{\frac{-1}{\beta_2 + \beta_1}} \\
C(y, w_1, w_2, \theta, \boldsymbol{\xi}) &= C(y, w_1, w_2) \left[\xi_1^{\beta_1} \xi_2^{\beta_2} \right]^{\frac{-1}{\beta_2 + \beta_1}} \theta^{\frac{-\beta_2 - \beta_1}{\beta_2 + \beta_1}} \\
C(y, w_1, w_2, \theta, \boldsymbol{\xi}) &= C(y, w_1, w_2) \xi_1^{\frac{-\beta_1}{\beta_2 + \beta_1}} \xi_2^{\frac{-\beta_2}{\beta_2 + \beta_1}} \theta^{-1}
\end{aligned}$$

Après transformation logarithmique, nous obtenons l'équation suivante :

$$\ln C(y, w_1, w_2, \theta, \boldsymbol{\xi}) = \ln C(y, w_1, w_2) - \frac{\beta_1}{\beta_2 + \beta_1} \ln \xi_1 - \frac{\beta_2}{\beta_2 + \beta_1} \ln \xi_2 - \ln \theta$$

Annexe B

Annexes du chapitre méthodologique

B.1 Démonstration : Platoni et al. (2012)

La démonstration qui suit provient des annexes de l'article de Platoni et al. (2012) qui consiste à démontrer le lien entre l'estimation des matrices de variances-covariances et les matrices de variation intra-individuelle et inter-individuelle

L'objectif de la démonstration est de démontrer que :

$$\begin{aligned}\hat{\Sigma}_\xi &= \frac{\mathbf{W}_{\varepsilon\varepsilon}}{n - N - T} \\ \hat{\Sigma}_\mu &= \frac{\mathbf{B}_{\varepsilon\varepsilon}^C - (N - 1) \times \hat{\Sigma}_\xi}{n - \sum_{i=1}^N \frac{T_i^2}{n}} \\ \hat{\Sigma}_\zeta &= \frac{\mathbf{B}_{\varepsilon\varepsilon}^T - (T - 1) \times \hat{\Sigma}_\xi}{n - \sum_{t=1}^T \frac{N_t^2}{n}}\end{aligned}$$

Les termes aléatoires $\boldsymbol{\mu}_i = (\mu_{1i}, \dots, \mu_{Gi})$, $\boldsymbol{\zeta}_t = (\zeta_{1t}, \dots, \zeta_{Gt})$, $\boldsymbol{\xi}_{it} = (\xi_{1it}, \dots, \xi_{Git})$ étant indépendants, nous pouvons écrire que :

$$E(\mathbf{W}_{\varepsilon\varepsilon}) = E(\mathbf{W}_{\xi})$$

$$E(\mathbf{B}_{\varepsilon\varepsilon}^C) = E(\mathbf{B}_{\mu}^C) + E(\mathbf{B}_{\xi}^C)$$

$$E(\mathbf{B}_{\varepsilon\varepsilon}^T) = E(\mathbf{B}_{\zeta}^T) + E(\mathbf{B}_{\xi}^T)$$

Les variations within individuelles sont égales à :

$$\begin{aligned} \mathbf{W}_{\xi} &= \sum_{i=1}^N \sum_{t=1}^{T_i} (\xi_{it} - \bar{\xi}_i - \bar{\xi}_{.t}) (\xi_{it} - \bar{\xi}_i - \bar{\xi}_{.t})' \\ &= \sum_{i=1}^N \sum_{t=1}^{T_i} \xi_{it} \xi_{it}' - \sum_{i=1}^N T_i \bar{\xi}_i \bar{\xi}_i' - \sum_{t=1}^T N_t \bar{\xi}_{.t} \bar{\xi}_{.t}' \end{aligned}$$

Les variations between individuelles sont égales à :

$$\begin{aligned} \mathbf{B}_{\mu}^C &= \sum_{i=1}^N T_i (\boldsymbol{\mu}_i - \bar{\boldsymbol{\mu}}) (\boldsymbol{\mu}_i - \bar{\boldsymbol{\mu}})' = \sum_{i=1}^N T_i \boldsymbol{\mu}_i \boldsymbol{\mu}_i' - n \bar{\boldsymbol{\mu}} \bar{\boldsymbol{\mu}}' \\ \mathbf{B}_{\xi}^C &= \sum_{i=1}^N T_i (\bar{\boldsymbol{\xi}}_i - \bar{\boldsymbol{\xi}}) (\bar{\boldsymbol{\xi}}_i - \bar{\boldsymbol{\xi}})' = \sum_{i=1}^N T_i \bar{\boldsymbol{\xi}}_i \bar{\boldsymbol{\xi}}_i' - n \bar{\boldsymbol{\xi}} \bar{\boldsymbol{\xi}}' \end{aligned}$$

Les variations between temporelles sont égales à :

$$\begin{aligned} \mathbf{B}_{\zeta}^T &= \sum_{t=1}^T N_t (\boldsymbol{\zeta}_t - \bar{\boldsymbol{\zeta}}) (\boldsymbol{\zeta}_t - \bar{\boldsymbol{\zeta}})' = \sum_{t=1}^T N_t \boldsymbol{\zeta}_t \boldsymbol{\zeta}_t' - n \bar{\boldsymbol{\zeta}} \bar{\boldsymbol{\zeta}}' \\ \mathbf{B}_{\xi}^T &= \sum_{t=1}^T N_t (\bar{\boldsymbol{\xi}}_{.t} - \bar{\boldsymbol{\xi}}) (\bar{\boldsymbol{\xi}}_{.t} - \bar{\boldsymbol{\xi}})' = \sum_{t=1}^T N_t \bar{\boldsymbol{\xi}}_{.t} \bar{\boldsymbol{\xi}}_{.t}' - n \bar{\boldsymbol{\xi}} \bar{\boldsymbol{\xi}}' \end{aligned}$$

Avec :

$$\begin{aligned} \bar{\boldsymbol{\mu}}_g &= \frac{\sum_{i=1}^N (T_i \boldsymbol{\mu}_{gi})}{n} \\ \bar{\boldsymbol{\zeta}}_g &= \frac{\sum_{t=1}^T (N_t \boldsymbol{\zeta}_{gt})}{n} \end{aligned}$$

Comme $E(\varepsilon_{it}\varepsilon'_{js}) = \delta_{ij}\Sigma_\mu + \delta_{ts}\Sigma_\zeta + \delta_{ij}\delta_{ts}\Sigma_\xi$ où $E(\mu_i\mu'_j) = \delta_{ij}\Sigma_\mu$, $E(\zeta_t\zeta'_s) = \delta_{ts}\Sigma_\zeta$ et $E(\xi_{it}\xi'_{js}) = \delta_{ij}\delta_{ts}\Sigma_\xi$, il s'en suit que :

$$\begin{aligned} E(\bar{\xi}_i\bar{\xi}'_i) &= \frac{\Sigma_\xi}{T_i} \\ E(\bar{\xi}_{.t}\bar{\xi}'_{.t}) &= \frac{\Sigma_\xi}{N_t} \\ E(\bar{\mu}\bar{\mu}') &= \frac{\left(\sum_{i=1}^N T_i^2\right)\Sigma_\mu}{n^2} \\ E(\bar{\zeta}\bar{\zeta}') &= \frac{\left(\sum_{t=1}^T N_t^2\right)\Sigma_\zeta}{n^2} \\ E(\bar{\xi}\bar{\xi}') &= \frac{\Sigma_\xi}{n} \end{aligned}$$

Des différentes équations, nous obtenons :

$$\begin{aligned} E(\mathbf{W}_\xi) &= \sum_{i=1}^N \sum_{t=1}^{T_i} \Sigma_\xi - \sum_{i=1}^N \left(T_i \times \frac{\Sigma_\xi}{T_i}\right) - \sum_{t=1}^T \left(N_t \times \frac{\Sigma_\xi}{N_t}\right) \\ &= (n - N - T) \Sigma_\xi \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} E(\mathbf{B}_\mu^C) &= \sum_{i=1}^N T_i \Sigma_\mu - n \frac{\left(\sum_{i=1}^N T_i^2\right)\Sigma_\mu}{n^2} \\ &= \left(n - \frac{\sum_{i=1}^N T_i^2}{n}\right) \Sigma_\mu \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} E(\mathbf{B}_\xi^C) &= \sum_{i=1}^N \left(T_i \times \frac{\Sigma_\xi}{T_i}\right) - n \frac{\Sigma_\xi}{n} \\ &= (N - 1) \Sigma_\xi \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
E(\mathbf{B}_\zeta^T) &= \sum_{t=1}^T N_t \boldsymbol{\Sigma}_\zeta - n \frac{\left(\sum_{t=1}^T N_t^2\right) \boldsymbol{\Sigma}_\zeta}{n^2} \\
&= \left(n - \frac{\sum_{t=1}^T N_t^2}{n}\right) \boldsymbol{\Sigma}_\zeta
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
E(\mathbf{B}_\xi^T) &= \sum_{t=1}^T \left(N_t \frac{\boldsymbol{\Sigma}_\xi}{N_t}\right) - n \frac{\boldsymbol{\Sigma}_\xi}{n} \\
&= (T - 1) \boldsymbol{\Sigma}_\xi
\end{aligned}$$

En combinant ces différentes équations, nous obtenons :

$$\begin{aligned}
E(\mathbf{W}_{\varepsilon\varepsilon}) &= (n - N - T) \boldsymbol{\Sigma}_\xi \\
E(\mathbf{B}_{\varepsilon\varepsilon}^C) &= \left(n - \sum_{i=1}^N \frac{T_i^2}{n}\right) \boldsymbol{\Sigma}_\mu + (N - 1) \boldsymbol{\Sigma}_\xi \\
E(\mathbf{B}_{\varepsilon\varepsilon}^T) &= \left(n - \sum_{t=1}^T \frac{N_t^2}{n}\right) \boldsymbol{\Sigma}_\zeta + (T - 1) \boldsymbol{\Sigma}_\xi
\end{aligned}$$

Remplaçons $\hat{\boldsymbol{\Sigma}}_\xi$ dans les expressions de $\hat{\boldsymbol{\Sigma}}_\mu$ et de $\hat{\boldsymbol{\Sigma}}_\zeta$ nous obtenons finalement :

$$\begin{aligned}
\hat{\boldsymbol{\Sigma}}_\zeta &= \frac{\mathbf{W}_{\varepsilon\varepsilon}}{n - N - T} \\
\hat{\boldsymbol{\Sigma}}_\mu &= \frac{\mathbf{B}_{\varepsilon\varepsilon}^C - ((N - 1) / (n - N - T)) \mathbf{W}_{\varepsilon\varepsilon}}{n - \left(\sum_{i=1}^N T_i^2\right) / n} \\
\hat{\boldsymbol{\Sigma}}_\zeta &= \frac{\mathbf{B}_{\varepsilon\varepsilon}^T - ((T - 1) / (n - N - T)) \mathbf{W}_{\varepsilon\varepsilon}}{n - \left(\sum_{t=1}^T N_t^2\right) / n}
\end{aligned}$$

Annexe C

Annexes du chapitre empirique

C.1 Résultats d'estimation du système de demandes conditionnelles de facteurs de production variables par la méthode des moments généralisée

C.1.1 Équation de la demande de travail

TABLEAU C.1: Résultats d'estimation : logarithme de la quantité de travail

	coefficient	erreur std.	t de Student	p. critique
LPT	-0.70477651	0.20679873	-3.40803	0.00065644
LPM	-0.87293524	0.18803509	-4.64241	3.4795e-06
LPN	-0.94109473	0.40633257	-2.31607	0.02057087
LPF	0.41371100	0.24041690	1.72081	0.08531117
LPE	-0.14517187	0.08562721	-1.69539	0.09002610
LNМ	0.20835517	0.04523134	4.60643	4.1376e-06
LES	-0.01071857	0.02715379	-0.39474	0.69304475
LSB	-0.24003415	0.24229723	-0.99066	0.32187125
LJPH	0.63693968	0.19202141	3.31702	0.00091247
VIS(lambda)	-0.00667734	0.01607552	-0.41537	0.67787600
LABO(lambda)	-0.25365550	0.11895642	-2.13234	0.03299877
IRB(lambda)	0.41337261	0.17115618	2.41518	0.01574208

RES(lambda)	-0.00426577	0.01926771	-0.22139	0.82478870
11042264	8.83211689	1.69295364	5.21699	1.8483e-07
11042371	8.80569270	1.70058739	5.17803	2.2780e-07
11042744	8.00487319	1.26625477	6.32169	2.6770e-10
11042918	8.91146772	1.71627975	5.19232	2.1102e-07
11042942	8.25822687	1.47775260	5.58837	2.3411e-08
11042991	8.04858123	1.45862403	5.51793	3.4999e-08
11043023	8.13849217	1.32939033	6.12197	9.5251e-10
11043056	8.19662181	1.54114896	5.31851	1.0646e-07
11043130	7.95553785	1.55344125	5.12124	3.0815e-07
11043171	8.02893893	1.44685559	5.54923	2.9289e-08
11043221	7.94419846	1.35455756	5.86479	4.6131e-09
11043353	8.26696610	1.45222607	5.69262	1.2798e-08
11043379	7.99331728	1.47933500	5.40332	6.6644e-08
11043445	8.11386058	1.46464112	5.53983	3.0902e-08
11043502	8.04905825	1.42947597	5.63078	1.8335e-08
11043510	8.23801865	1.48612911	5.54327	3.0301e-08
11043593	7.86253121	1.48860715	5.28180	1.3011e-07
11043759	8.20698556	1.51567187	5.41475	6.2533e-08
11043833	8.32954380	1.54066115	5.40647	6.5484e-08
11043882	7.78454023	1.43467243	5.42601	5.8726e-08
11043916	8.22970334	1.56428007	5.26102	1.4568e-07
11043924	7.76847314	1.38707124	5.60063	2.1818e-08
11044013	8.18370898	1.54033989	5.31292	1.0977e-07
11044021	8.03715711	1.49588686	5.37284	7.8927e-08
11044062	8.29741414	1.57419101	5.27091	1.3806e-07
11044070	8.27015897	1.55703028	5.31150	1.1063e-07
11044088	8.44120683	1.51515146	5.57120	2.5833e-08
11044096	8.74290212	1.74689635	5.00482	5.6691e-07
11044104	8.02625750	1.56635923	5.12415	3.0344e-07
11044112	8.16467597	1.54147611	5.29666	1.1998e-07
11044120	8.55503173	1.66992457	5.12300	3.0528e-07
11044138	8.31887548	1.55684616	5.34342	9.2847e-08
11044146	8.23451389	1.42255289	5.78855	7.2739e-09
11044179	8.43748924	1.66924226	5.05468	4.3733e-07
11044187	8.37005253	1.61474736	5.18351	2.2122e-07

11044195	8.85320582	1.97571843	4.48101	7.4966e-06
11044203	8.54257980	1.65610855	5.15822	2.5320e-07
11044211	8.18353542	1.62472384	5.03688	4.7993e-07
11044229	8.21319571	1.59217468	5.15848	2.5286e-07
11044237	7.73702247	1.52235126	5.08228	3.7842e-07
11044278	8.04322177	1.62771427	4.94142	7.8581e-07
11044286	8.17163739	1.64859997	4.95671	7.2655e-07
11044302	8.19032243	1.61076660	5.08474	3.7358e-07
11044336	8.04077633	1.36851577	5.87555	4.3242e-09
11044344	8.56014486	1.76007159	4.86352	1.1675e-06
11044351	8.69893936	1.68245938	5.17037	2.3731e-07
11044369	8.41547006	1.56367860	5.38184	7.5087e-08
11044377	8.47569690	1.69108961	5.01197	5.4627e-07
11044385	8.69970972	1.67697500	5.18774	2.1626e-07
11044393	8.09336378	1.48492993	5.45033	5.1249e-08
11044401	7.65123651	1.19342442	6.41116	1.4972e-10
11044419	8.36251883	1.69586794	4.93111	8.2834e-07
11044427	7.92654006	1.50371777	5.27130	1.3777e-07
11044435	8.20143267	1.81708596	4.51351	6.4358e-06
11044443	8.35853439	1.63292971	5.11873	3.1226e-07
11044450	8.62560498	1.81839679	4.74352	2.1241e-06
11044468	8.35555879	1.57755379	5.29653	1.2007e-07
11044476	8.58048450	1.70403944	5.03538	4.8369e-07
11044484	8.47744951	1.63431784	5.18715	2.1695e-07
11044500	7.82948451	1.48826681	5.26081	1.4584e-07
11044526	8.17636189	1.57172832	5.20215	2.0018e-07
11044534	8.63030795	1.78692600	4.82970	1.3840e-06
11044542	8.16046616	1.76258062	4.62984	3.6971e-06
11044567	8.16766035	1.61549182	5.05584	4.3470e-07
11044575	8.24521641	1.65016837	4.99659	5.9158e-07
11044583	7.69386742	1.49684269	5.14006	2.7888e-07
11044591	8.33980715	1.55872754	5.35039	8.9344e-08
11044609	8.39274452	1.79913179	4.66489	3.1206e-06
11044872	8.21772078	1.53801926	5.34305	9.3031e-08
11044930	8.13790049	1.71491756	4.74536	2.1049e-06
11097029	6.58026494	0.90578354	7.26472	3.9657e-13

11287208	8.00759402	1.50256086	5.32930	1.0034e-07
11546389	6.03776368	1.04929463	5.75412	8.9183e-09
12335386	8.29795248	1.69314426	4.90091	9.6614e-07
12363412	8.01771929	1.37635613	5.82532	5.8436e-09
12399044	11.23459590	3.52661641	3.18566	0.00144787
12409991	8.23239720	1.61111334	5.10976	3.2743e-07
12420774	8.11242422	1.65625663	4.89805	9.8030e-07
12431656	9.42446634	1.72770769	5.45490	4.9954e-08
12452645	6.09282429	0.81381117	7.48678	7.5495e-14
12460028	8.16769546	1.33502106	6.11803	9.7631e-10
12461570	9.04134458	1.51620417	5.96314	2.5425e-09
12464228	8.62034806	1.62074936	5.31874	1.0633e-07
12475976	9.16304800	1.86292429	4.91864	8.8281e-07
12513479	9.11220355	1.85800112	4.90430	9.4963e-07
12530127	8.92522811	1.79836820	4.96296	7.0361e-07
12530226	9.05482368	1.73954995	5.20527	1.9685e-07
12576120	7.97360510	1.53333805	5.20016	2.0233e-07
12576138	7.52308170	1.30169783	5.77944	7.6778e-09
12599213	9.64261368	1.91992629	5.02239	5.1752e-07
12685608	9.10106574	1.92715370	4.72254	2.3550e-06
12691408	8.05000344	1.48976154	5.40355	6.6558e-08
12691697	8.37218569	1.76229708	4.75072	2.0499e-06
12694659	9.53671819	1.79601180	5.30994	1.1158e-07
12704276	7.80261558	1.48275535	5.26224	1.4471e-07
12714093	8.10730895	1.53972448	5.26543	1.4223e-07
12721429	8.78586670	1.59214962	5.51824	3.4937e-08
12728861	9.09364604	1.79186175	5.07497	3.9324e-07
12729703	8.94131908	1.76799312	5.05733	4.3133e-07
12730628	12.54656313	3.75019013	3.34558	0.00082357
12745725	8.22654803	1.49582013	5.49969	3.8809e-08
12792370	8.49224990	1.56509096	5.42604	5.8714e-08
12819348	7.06790706	0.92443054	7.64569	2.2204e-14
12840518	8.34413394	1.72374895	4.84069	1.3097e-06
12934659	8.89145973	1.77831753	4.99993	5.8146e-07
13160395	8.35566275	1.64975325	5.06480	4.1479e-07
13163092	8.57447319	1.61153921	5.32067	1.0521e-07

13286331	8.88794243	1.70499221	5.21289	1.8894e-07
13508718	7.64712179	1.49452625	5.11675	3.1555e-07
13508742	8.61760918	1.66426157	5.17804	2.2779e-07
13514542	7.33846336	1.11413939	6.58667	4.6821e-11
13545264	8.72585732	1.79460276	4.86228	1.1748e-06
13623616	9.13567053	1.71829216	5.31672	1.0751e-07
13727227	8.60678482	1.69908294	5.06555	4.1316e-07
13818117	9.07657521	1.83613471	4.94331	7.7826e-07
13818596	7.50039617	1.28831740	5.82185	5.9658e-09
14177356	7.96351104	1.36082376	5.85198	4.9820e-09
14491799	8.60147555	1.62339416	5.29845	1.1881e-07
15103666	11.63738640	3.61559230	3.21867	0.00129124
16311532	8.98662778	1.74714808	5.14360	2.7369e-07
18456327	8.93955359	1.25205105	7.13993	9.8654e-13
24203952	8.21737815	1.51912870	5.40927	6.4472e-08
29732187	6.18862503	0.70103026	8.82790	2.22e-16
<hr/>				
R ²	0.86336			
Adj. R ²	0.855821			
Nombre obs.	2583			
<hr/>				

C.1.2 Équation de la demande de médicaments

TABLEAU C.2: Résultats d'estimation : logarithme de la quantité de médicaments

	coefficient	erreur std.	t de Student	p. critique
LPT	-0.87293524	0.18803509	-4.64241	3.4795e-06
LPM	-1.35750826	0.34013668	-3.99107	6.6160e-05
LPN	0.51205064	0.49738941	1.02948	0.30327621
LPF	-1.34477100	0.35171813	-3.82343	0.00013226
LPE	-0.31959341	0.17650359	-1.81069	0.07021324
LNМ	0.40212600	0.09165352	4.38746	1.1564e-05
LES	-0.00315248	0.05535864	-0.05695	0.95458879
LSB	-0.78465893	0.42465409	-1.84776	0.06466114
LJPH	0.58087863	0.32343651	1.79596	0.07252572
VIS(lambda)	-0.00901512	0.02715378	-0.33200	0.73989303
LABO(lambda)	-0.62400750	0.24011267	-2.59881	0.00936593
IRB(lambda)	0.74609925	0.28765077	2.59377	0.00950436
RES(lambda)	0.01737970	0.03730547	0.46588	0.64131308
11042264	11.55003845	3.31335014	3.48591	0.00049219
11042371	11.55410810	3.32144084	3.47864	0.00050571
11042744	9.49280382	2.54927253	3.72373	0.00019718
11042918	11.65801189	3.34351027	3.48676	0.00049063
11042942	10.69337439	2.96889482	3.60180	0.00031727
11042991	10.26464037	2.94026110	3.49106	0.00048280
11043023	10.18542895	2.68976225	3.78674	0.00015337
11043056	10.24165800	3.09406779	3.31009	0.00093534
11043130	9.91830152	3.08590166	3.21407	0.00131207
11043171	9.62800690	2.91549444	3.30236	0.00096150
11043221	9.88707629	2.65112058	3.72940	0.00019281
11043353	10.12879373	2.91387088	3.47606	0.00051060
11043379	10.09731410	2.98176636	3.38635	0.00071051
11043445	10.12693949	2.93633017	3.44884	0.00056489
11043502	10.36130065	2.89121104	3.58372	0.00034005
11043510	10.36524271	2.98462514	3.47288	0.00051669
11043593	9.58787809	2.96504640	3.23364	0.00122549
11043759	10.22287035	3.06043172	3.34034	0.00083927
11043833	10.45949863	3.09448753	3.38004	0.00072701

11043882	9.71048025	2.87369868	3.37909	0.00072954
11043916	9.89829863	3.15904735	3.13332	0.00173250
11043924	9.70549259	2.80913826	3.45497	0.00055222
11044013	10.84436691	3.11139508	3.48537	0.00049318
11044021	10.21445370	3.01481615	3.38809	0.00070604
11044062	10.98247193	3.16579901	3.46910	0.00052400
11044070	10.80496073	3.12750570	3.45482	0.00055253
11044088	11.07386684	3.05626740	3.62333	0.00029201
11044096	12.18291580	3.48596407	3.49485	0.00047601
11044104	10.34642145	3.11917312	3.31704	0.00091242
11044112	10.57866288	3.09874571	3.41385	0.00064259
11044120	11.43030417	3.34379753	3.41836	0.00063205
11044138	10.88658171	3.13163147	3.47633	0.00051009
11044146	9.97771444	2.88375030	3.45998	0.00054206
11044179	11.46942129	3.34650456	3.42728	0.00061166
11044187	11.05642193	3.24448488	3.40776	0.00065710
11044195	12.67372813	3.90509961	3.24543	0.00117588
11044203	11.35880773	3.31571023	3.42575	0.00061511
11044211	10.94705859	3.23422896	3.38475	0.00071467
11044229	10.86707643	3.20168669	3.39417	0.00069055
11044237	9.75288220	3.01297963	3.23696	0.00121133
11044278	10.20739834	3.23102787	3.15918	0.00158599
11044286	10.55429747	3.28400016	3.21385	0.00131305
11044302	10.36535143	3.21918222	3.21987	0.00128583
11044336	9.53971566	2.74481871	3.47554	0.00051160
11044344	11.62940766	3.47954679	3.34222	0.00083360
11044351	11.71745381	3.36466054	3.48251	0.00049848
11044369	11.06036725	3.13130379	3.53219	0.00041365
11044377	11.34403206	3.37746158	3.35874	0.00078536
11044385	11.62587411	3.37322784	3.44651	0.00056978
11044393	9.62372469	2.97253823	3.23754	0.00120884
11044401	8.97687856	2.41645390	3.71490	0.00020419
11044419	11.35266722	3.35364044	3.38518	0.00071356
11044427	10.14429416	3.03039299	3.34752	0.00081784
11044435	11.27807083	3.59380574	3.13820	0.00170394
11044443	10.96416357	3.26592444	3.35714	0.00078993

11044450	11.99388655	3.61966597	3.31353	0.00092392
11044468	10.86036022	3.14905827	3.44876	0.00056505
11044476	11.55497133	3.38776468	3.41080	0.00064983
11044484	11.31116382	3.26453606	3.46486	0.00053232
11044500	9.88716251	2.95851734	3.34193	0.00083447
11044526	10.68256128	3.12815059	3.41498	0.00063994
11044534	11.86037202	3.57098734	3.32131	0.00089857
11044542	11.08512863	3.50096059	3.16631	0.00154764
11044567	10.86473669	3.21277756	3.38173	0.00072257
11044575	10.93506616	3.29298202	3.32072	0.00090049
11044583	9.93976001	2.96015314	3.35785	0.00078790
11044591	10.95516383	3.13566219	3.49373	0.00047800
11044609	11.56953591	3.58084653	3.23095	0.00123706
11044872	10.71370222	3.04072308	3.52341	0.00042759
11044930	10.83377953	3.37269258	3.21220	0.00132061
11097029	6.26441957	1.88146401	3.32955	0.00087245
11287208	9.93877832	3.00943277	3.30254	0.00096087
11546389	5.69300476	2.09346362	2.71942	0.00654889
12335386	10.65767076	3.37436199	3.15843	0.00159009
12363412	9.77539572	2.78120910	3.51480	0.00044167
12399044	11.62092508	5.64063181	2.06022	0.03939889
12409991	10.87555096	3.22133116	3.37610	0.00073749
12420774	10.74391548	3.30246412	3.25330	0.00114381
12431656	12.52535511	3.43121346	3.65042	0.00026291
12452645	5.79847483	1.70761175	3.39566	0.00068680
12460028	9.81439698	2.66955544	3.67642	0.00023754
12461570	11.16035663	2.98224131	3.74227	0.00018320
12464228	11.31561212	3.22740168	3.50611	0.00045634
12475976	12.61007165	3.67608543	3.43030	0.00060491
12513479	12.65248126	3.65586071	3.46088	0.00054026
12530127	12.22274416	3.53782327	3.45488	0.00055241
12530226	12.88724844	3.46901423	3.71496	0.00020414
12576120	10.20322375	3.06438308	3.32962	0.00087222
12576138	7.99030218	2.59565386	3.07834	0.00208618
12599213	13.24337758	3.78374449	3.50007	0.00046679
12685608	12.99762740	3.80252786	3.41815	0.00063253

12691408	10.44276398	3.00017501	3.48072	0.00050181
12691697	11.45228303	3.50208465	3.27013	0.00107794
12694659	12.65309341	3.53589595	3.57847	0.00034695
12704276	10.03862766	2.99789436	3.34856	0.00081478
12714093	10.33882171	3.07273377	3.36470	0.00076863
12721429	11.45810640	3.14218553	3.64654	0.00026690
12728861	12.35148990	3.52767873	3.50131	0.00046463
12729703	11.99056409	3.49495707	3.43082	0.00060375
12730628	13.80180373	5.99226668	2.30327	0.02128037
12745725	10.40267073	2.95544111	3.51984	0.00043338
12792370	10.99736959	3.12607165	3.51795	0.00043647
12819348	5.66953394	1.85332597	3.05911	0.00222473
12840518	11.08221755	3.44181759	3.21987	0.00128582
12934659	12.07497307	3.49215338	3.45774	0.00054657
13160395	11.05632735	3.29379029	3.35672	0.00079113
13163092	11.38512837	3.18855920	3.57062	0.00035750
13286331	12.00676286	3.41100606	3.52001	0.00043310
13508718	9.55948158	3.00030653	3.18617	0.00144532
13508742	11.62350570	3.29195092	3.53089	0.00041569
13514542	9.13908833	2.20963307	4.13602	3.5574e-05
13545264	12.14563333	3.57604865	3.39638	0.00068500
13623616	12.29088091	3.41059888	3.60373	0.00031493
13727227	11.58263352	3.37941611	3.42741	0.00061138
13818117	12.58999948	3.59966880	3.49754	0.00047123
13818596	8.58148222	2.58837415	3.31539	0.00091780
14177356	10.08398242	2.71279332	3.71720	0.00020234
14491799	11.16877041	3.23300516	3.45461	0.00055296
15103666	12.22514338	5.78764413	2.11228	0.03468236
16311532	12.37692466	3.49989559	3.53637	0.00040717
18456327	10.87350213	2.43516940	4.46519	8.0712e-06
24203952	10.37097119	3.07600013	3.37158	0.00074970
29732187	5.93950205	1.46366117	4.05798	4.9807e-05
R ²	0.695505			
Adj. R ²	0.678706			
Nombre obs.	2583			

C.1.3 Équation de la demande de nourriture

TABLEAU C.3: Résultats d'estimation : logarithme de la quantité de nourriture

	coefficient	erreur std.	t de Student	p. critique
LPT	-0.9410947	0.4063326	-2.31607	0.02057087
LPM	0.5120506	0.4973894	1.02948	0.30327621
LPN	1.0530319	1.4185672	0.74232	0.45790725
LPF	-1.4106115	0.6111445	-2.30815	0.02100752
LPE	-0.1683139	0.2734044	-0.61562	0.53815508
LNМ	0.1803906	0.1349195	1.33702	0.18123975
LES	-0.0623705	0.0783872	-0.79567	0.42623797
LSB	-1.3680027	0.6207640	-2.20374	0.02756116
LJPH	1.6527374	0.4727962	3.49567	0.00047456
VIS(lambda)	-0.0288407	0.0468657	-0.61539	0.53830834
LABO(lambda)	-0.6824000	0.3473878	-1.96438	0.04950915
IRB(lambda)	0.3005141	0.4163109	0.72185	0.47040034
RES(lambda)	0.0082050	0.0581063	0.14121	0.88770893
11042264	7.6651996	4.7615155	1.60982	0.10746217
11042371	7.4434433	4.8087495	1.54790	0.12167322
11042744	3.8271768	3.8319540	0.99875	0.31793393
11042918	8.1212114	4.7744403	1.70098	0.08897277
11042942	5.5689066	4.4609783	1.24836	0.21192314
11042991	4.8614476	4.3686749	1.11280	0.26581754
11043023	4.3413932	3.9601495	1.09627	0.27298219
11043056	5.5577655	4.6026651	1.20751	0.22725900
11043130	5.9304498	4.6147380	1.28511	0.19877786
11043171	4.8439595	4.3687091	1.10879	0.26754469
11043221	5.3535794	3.8129861	1.40404	0.16033273
11043353	5.5724276	4.3206761	1.28971	0.19717505
11043379	5.1025172	4.4333016	1.15095	0.24977447
11043445	5.4184632	4.3940864	1.23313	0.21755234
11043502	4.8113683	4.3048030	1.11767	0.26372799
11043510	5.3301019	4.4612917	1.19474	0.23221017
11043593	5.4237323	4.4453862	1.22008	0.22245758
11043759	5.4658101	4.5459720	1.20234	0.22925455
11043833	5.8180973	4.5304505	1.28422	0.19908912

11043882	4.4870565	4.2775215	1.04899	0.29420566
11043916	5.3242376	4.6700852	1.14007	0.25427823
11043924	4.3114287	4.1863296	1.02988	0.30308538
11044013	5.0908504	4.6136574	1.10343	0.26986193
11044021	4.8742786	4.4856458	1.08664	0.27721768
11044062	5.5514754	4.7175853	1.17676	0.23931336
11044070	5.7825224	4.6675741	1.23887	0.21541700
11044088	6.0436276	4.5617206	1.32486	0.18524330
11044096	6.8437019	5.1561134	1.32730	0.18443469
11044104	5.5475255	4.6461183	1.19401	0.23249603
11044112	5.2981824	4.6048474	1.15057	0.24993316
11044120	6.3205951	4.9657107	1.27285	0.20309613
11044138	5.5945553	4.6487570	1.20345	0.22882477
11044146	4.7337020	4.3023754	1.10025	0.27124348
11044179	6.0673502	4.9712566	1.22049	0.22230411
11044187	6.1608417	4.7994996	1.28364	0.19929136
11044195	8.1849401	5.7539851	1.42248	0.15491185
11044203	6.3302403	4.9238486	1.28563	0.19859704
11044211	5.5988577	4.7727166	1.17310	0.24077988
11044229	5.7887685	4.7481526	1.21916	0.22280610
11044237	4.8990560	4.4528644	1.10020	0.27126520
11044278	5.7136721	4.7942228	1.19178	0.23336953
11044286	5.9418842	4.8627380	1.22192	0.22176083
11044302	5.5462875	4.7800177	1.16031	0.24594650
11044336	4.7980639	4.0987761	1.17061	0.24177879
11044344	6.9321982	5.1016854	1.35881	0.17423326
11044351	6.7484015	5.0209177	1.34406	0.17895473
11044369	6.3833502	4.6628257	1.36899	0.17102829
11044377	6.6769482	4.9871890	1.33882	0.18065414
11044385	6.4495499	4.9932336	1.29166	0.19650000
11044393	5.2611020	4.4598449	1.17966	0.23815826
11044401	3.4736101	3.6319282	0.95641	0.33888433
11044419	6.1064960	4.9638168	1.23020	0.21864520
11044427	5.0466922	4.4939583	1.12299	0.26146169
11044435	6.4443792	5.2883611	1.21860	0.22302080
11044443	5.8558023	4.8540532	1.20637	0.22769673

11044450	7.0412561	5.3500192	1.31612	0.18815911
11044468	6.0349061	4.7142608	1.28014	0.20052074
11044476	7.3074448	5.0554078	1.44547	0.14835126
11044484	6.5270732	4.8759201	1.33863	0.18071466
11044500	5.1870915	4.4260127	1.17196	0.24123758
11044526	5.8627538	4.6575780	1.25876	0.20814251
11044534	6.7410423	5.2776790	1.27727	0.20152974
11044542	6.3649108	5.1690269	1.23136	0.21821350
11044567	6.2152069	4.7847122	1.29897	0.19397802
11044575	5.7859340	4.8775101	1.18625	0.23554760
11044583	4.9773032	4.3964012	1.13213	0.25760143
11044591	5.4648471	4.6697287	1.17027	0.24191478
11044609	6.7614568	5.2902937	1.27809	0.20124290
11044872	6.0455483	4.4211067	1.36743	0.17151607
11044930	6.0555851	4.9720443	1.21793	0.22327533
11097029	1.4722239	2.6409823	0.55745	0.57722805
11287208	5.0073087	4.4819912	1.11721	0.26392806
11546389	1.8271950	3.1013478	0.58916	0.55576375
12335386	5.9670569	5.0056717	1.19206	0.23326114
12363412	4.4360439	4.1434283	1.07062	0.28436070
12399044	-5.9403500	8.1763238	-0.72653	0.46752741
12409991	5.8054672	4.8005605	1.20933	0.22655900
12420774	5.6287501	4.8733912	1.15500	0.24811437
12431656	8.4758157	4.9575919	1.70966	0.08735338
12452645	0.2489690	2.3619027	0.10541	0.91605194
12460028	4.9242309	4.0410096	1.21856	0.22303300
12461570	6.8950160	4.3100705	1.59975	0.10968084
12464228	6.5554220	4.6618951	1.40617	0.15969871
12475976	8.6650545	5.2637501	1.64618	0.09975337
12513479	8.5667255	5.2345478	1.63657	0.10174518
12530127	7.9505125	5.0699173	1.56817	0.11686637
12530226	7.4031919	5.0109110	1.47741	0.13959032
12576120	5.6010424	4.5808159	1.22272	0.22146006
12576138	4.1107350	3.8907834	1.05653	0.29074632
12599213	6.9770145	5.4303885	1.28481	0.19888318
12685608	8.4935628	5.6091663	1.51423	0.12999355

12691408	5.2113576	4.4852147	1.16190	0.24529995
12691697	6.3576315	5.1979575	1.22310	0.22131476
12694659	8.8454131	5.0874802	1.73866	0.08211921
12704276	4.6749451	4.4431145	1.05218	0.29273888
12714093	5.5402722	4.5785132	1.21006	0.22627952
12721429	6.7620605	4.5545295	1.48469	0.13765193
12728861	8.5446280	5.1070238	1.67311	0.09433059
12729703	7.8436964	5.0009497	1.56844	0.11680400
12730628	-2.6984617	8.6699436	-0.31124	0.75562098
12745725	6.1285820	4.2268485	1.44992	0.14710711
12792370	6.0880263	4.5323273	1.34325	0.17921753
12819348	2.1923027	2.7489711	0.79750	0.42517655
12840518	6.2556921	5.1075743	1.22479	0.22067894
12934659	7.8147171	4.9848765	1.56769	0.11698046
13160395	6.3875413	4.9060480	1.30197	0.19295016
13163092	6.6057123	4.5797716	1.44237	0.14922439
13286331	6.6375719	5.0103557	1.32477	0.18527197
13508718	4.5284886	4.4556454	1.01635	0.30948353
13508742	7.0398495	4.7627269	1.47811	0.13940320
13514542	4.0610884	3.2433915	1.25211	0.21055309
13545264	6.8482074	5.2908861	1.29434	0.19557228
13623616	7.9571582	4.9273759	1.61489	0.10636081
13727227	6.8659691	4.8712345	1.40949	0.15871495
13818117	8.5950686	5.1736862	1.66130	0.09667789
13818596	3.8003340	3.7896507	1.00282	0.31596798
14177356	5.0279934	3.9385897	1.27660	0.20176863
14491799	6.7110714	4.6915058	1.43047	0.15260689
15103666	-4.7037953	8.4056689	-0.55960	0.57576392
16311532	7.1014643	5.1761008	1.37197	0.17009735
18456327	7.0450866	3.7311903	1.88816	0.05902801
24203952	4.2957247	4.5586056	0.94233	0.34604074
29732187	-0.3134279	2.0280709	-0.15454	0.87718270
R ²	0.269856			
Adj. R ²	0.229575			
Nombre obs.	2583			

C.1.4 Équation de la demande de fournitures

TABLEAU C.4: Résultats d'estimation : logarithme de la quantité de fournitures

	coefficient	erreur std.	t de Student	p. critique
LPT	0.4137110	0.2404169	1.72081	0.08531117
LPM	-1.3447710	0.3517181	-3.82343	0.00013226
LPN	-1.4106115	0.6111445	-2.30815	0.02100752
LPF	-0.4434590	0.4850919	-0.91418	0.36064273
LPE	-0.3036297	0.1635106	-1.85694	0.06334331
LNМ	0.1103616	0.0879762	1.25445	0.20970277
LES	-0.0366709	0.0535573	-0.68470	0.49354382
LSB	-0.8456166	0.4292075	-1.97018	0.04884010
LJPH	0.8726748	0.3346152	2.60799	0.00911849
VIS(lambda)	0.0244083	0.0303750	0.80357	0.42166330
LABO(lambda)	-0.4252726	0.2333812	-1.82222	0.06844548
IRB(lambda)	0.7693348	0.3245118	2.37075	0.01776764
RES(lambda)	-0.0564979	0.0372690	-1.51595	0.12955760
11042264	11.4200449	3.4020371	3.35683	0.00079083
11042371	10.9860438	3.4282980	3.20452	0.00135635
11042744	8.6242783	2.4412537	3.53273	0.00041281
11042918	11.9549079	3.4608129	3.45436	0.00055346
11042942	9.6557898	2.8623890	3.37333	0.00074494
11042991	8.6746605	2.8875318	3.00418	0.00266838
11043023	9.6902598	2.5833597	3.75103	0.00017692
11043056	8.7245599	3.0513105	2.85928	0.00425317
11043130	8.4364341	3.0861362	2.73366	0.00627255
11043171	8.3868928	2.8513929	2.94133	0.00327416
11043221	9.9375526	2.7265559	3.64473	0.00026878
11043353	9.2454088	2.8553953	3.23787	0.00120745
11043379	8.5351999	2.9242426	2.91877	0.00352052
11043445	8.7812780	2.8842918	3.04452	0.00233548
11043502	8.5676796	2.8176497	3.04072	0.00236513
11043510	9.0913452	2.9300029	3.10285	0.00192106
11043593	8.2971063	2.9480913	2.81440	0.00489464
11043759	8.6875734	2.9860267	2.90941	0.00362764
11043833	9.4830336	3.0653204	3.09365	0.00198155

11043882	8.2858237	2.8600772	2.89706	0.00377342
11043916	8.8762968	3.1076605	2.85626	0.00429381
11043924	8.8719440	2.7057939	3.27887	0.00104515
11044013	9.1568979	3.0522226	3.00008	0.00270456
11044021	8.5060046	2.9630176	2.87072	0.00410235
11044062	9.0559699	3.1155559	2.90669	0.00365925
11044070	9.0914272	3.0765092	2.95511	0.00313151
11044088	9.3701013	2.9781675	3.14626	0.00165767
11044096	10.0907672	3.4797528	2.89985	0.00374003
11044104	8.6009942	3.1210769	2.75578	0.00586394
11044112	8.7543073	3.0622393	2.85879	0.00425975
11044120	9.6902085	3.3130046	2.92490	0.00345199
11044138	9.0511153	3.0891965	2.92993	0.00339669
11044146	8.9639698	2.7928781	3.20958	0.00133271
11044179	9.2795392	3.3162859	2.79817	0.00514730
11044187	9.4547935	3.2050794	2.94994	0.00318436
11044195	10.3320029	3.9597457	2.60926	0.00908488
11044203	9.8438652	3.2897801	2.99226	0.00277476
11044211	8.9698000	3.2551341	2.75559	0.00586738
11044229	9.2366679	3.1615362	2.92158	0.00348902
11044237	8.3464150	3.0584119	2.72900	0.00636168
11044278	8.6444724	3.2595237	2.65207	0.00801040
11044286	9.0550750	3.2949477	2.74817	0.00600168
11044302	9.0213132	3.2153998	2.80566	0.00502931
11044336	8.3076037	2.6947067	3.08293	0.00205426
11044344	9.9449057	3.5354385	2.81292	0.00491720
11044351	9.7296598	3.3274005	2.92410	0.00346084
11044369	9.4711261	3.0774540	3.07758	0.00209146
11044377	9.6169608	3.3680021	2.85539	0.00430562
11044385	9.6934216	3.3285751	2.91218	0.00359560
11044393	8.5434392	2.9216055	2.92423	0.00345945
11044401	8.2149267	2.3101943	3.55595	0.00037804
11044419	9.4383874	3.4016739	2.77463	0.00553483
11044427	8.6684396	2.9861266	2.90290	0.00370380
11044435	9.1161359	3.6550104	2.49415	0.01263908
11044443	9.2812453	3.2522850	2.85376	0.00432774

11044450	9.9458055	3.6360286	2.73535	0.00624040
11044468	9.4107919	3.1166254	3.01955	0.00253676
11044476	9.8687010	3.3676096	2.93048	0.00339068
11044484	9.5374504	3.2284354	2.95420	0.00314075
11044500	8.3963121	2.9552774	2.84112	0.00450289
11044526	8.9024647	3.1334226	2.84113	0.00450280
11044534	9.8541927	3.5669058	2.76267	0.00574158
11044542	9.0062192	3.5356598	2.54725	0.01086960
11044567	8.9263509	3.2167595	2.77495	0.00552937
11044575	9.1134099	3.2980180	2.76330	0.00573058
11044583	8.3621037	3.0011264	2.78632	0.00533920
11044591	9.5283208	3.0797373	3.09387	0.00198006
11044609	9.3421544	3.6018009	2.59375	0.00950498
11044872	9.9197623	3.0892205	3.21109	0.00132574
11044930	8.9268498	3.4537914	2.58465	0.00975918
11097029	7.0737863	1.7944290	3.94208	8.1227e-05
11287208	8.6407613	2.9881117	2.89171	0.00383822
11546389	5.3455672	2.1037787	2.54094	0.01106785
12335386	8.7685993	3.3836558	2.59146	0.00956838
12363412	8.9317567	2.6849595	3.32659	0.00088175
12399044	15.8787497	6.9124719	2.29712	0.02162894
12409991	9.0216762	3.2001506	2.81914	0.00482296
12420774	8.9719386	3.3178261	2.70416	0.00685716
12431656	12.9462322	3.4149238	3.79108	0.00015072
12452645	6.5280772	1.6213368	4.02635	5.6990e-05
12460028	8.5883149	2.6096053	3.29104	0.00100100
12461570	11.1261102	3.0126133	3.69318	0.00022243
12464228	10.5493741	3.2431560	3.25281	0.00114579
12475976	12.0784457	3.7407042	3.22892	0.00124585
12513479	11.9062222	3.7385090	3.18475	0.00145241
12530127	11.2867581	3.6205296	3.11743	0.00182856
12530226	11.5865093	3.4764716	3.33284	0.00086220
12576120	8.7352783	3.0355951	2.87762	0.00401385
12576138	7.5435065	2.5890166	2.91366	0.00357868
12599213	12.9965725	3.8363691	3.38773	0.00070696
12685608	10.9603586	3.8506494	2.84637	0.00442948

12691408	9.0222483	2.9219631	3.08774	0.00202139
12691697	9.1729703	3.5231733	2.60361	0.00923589
12694659	12.2191960	3.5732902	3.41959	0.00062920
12704276	9.2812179	2.9279088	3.16991	0.00152860
12714093	8.9984867	3.0614842	2.93926	0.00329615
12721429	10.6527807	3.1902885	3.33913	0.00084293
12728861	11.5102054	3.5739921	3.22055	0.00128281
12729703	11.5036230	3.5510038	3.23954	0.00120042
12730628	17.9630358	7.2818115	2.46684	0.01364486
12745725	10.6448163	2.9932065	3.55633	0.00037750
12792370	10.3217387	3.1223496	3.30576	0.00094991
12819348	7.2641928	1.8277196	3.97446	7.0945e-05
12840518	9.2986008	3.4370982	2.70536	0.00683240
12934659	11.4653970	3.5847483	3.19838	0.00138552
13160395	9.1351007	3.2821559	2.78326	0.00538978
13163092	10.8825160	3.2374800	3.36142	0.00077781
13286331	10.5205972	3.3940481	3.09972	0.00194143
13508718	8.0185538	2.9791940	2.69152	0.00712243
13508742	10.5163199	3.3379239	3.15056	0.00163352
13514542	8.5251321	2.1880454	3.89623	9.8221e-05
13545264	9.8760693	3.5857654	2.75424	0.00589149
13623616	12.1245932	3.4224253	3.54269	0.00039754
13727227	10.7083357	3.4107071	3.13962	0.00169567
13818117	11.7238958	3.6924325	3.17511	0.00150148
13818596	7.9662788	2.5758519	3.09268	0.00198806
14177356	9.6952027	2.7093725	3.57839	0.00034705
14491799	10.5249260	3.2356703	3.25278	0.00114591
15103666	16.6134609	7.0660467	2.35117	0.01873036
16311532	10.6642273	3.4502964	3.09081	0.00200056
18456327	9.7591565	2.3744690	4.11004	3.9817e-05
24203952	9.3832734	3.0256719	3.10122	0.00193163
29732187	7.0359559	1.3839554	5.08395	3.7513e-07
R ²	0.556611			
Adj. R ²	0.53215			
Nombre obs.	2583			

C.1.5 Équation de la demande d'énergie

TABLEAU C.5: Résultats d'estimation : logarithme de la quantité d'énergie

	coefficient	erreur std.	t de Student	p. critique
LPT	-0.1451719	0.0856272	-1.69539	0.0900261
LPM	-0.3195934	0.1765036	-1.81069	0.0702132
LPN	-0.1683139	0.2734044	-0.61562	0.5381551
LPF	-0.3036297	0.1635106	-1.85694	0.0633433
LPE	-1.1885364	0.1407167	-8.44631	2.22e-16
LNМ	0.1950242	0.0680757	2.86481	0.0041796
LES	-0.0257399	0.0407590	-0.63152	0.5277155
LSB	-0.0253170	0.3077215	-0.08227	0.9344315
LJPH	0.4627713	0.2244064	2.06220	0.0392096
VIS(lambda)	-0.0492095	0.0167658	-2.93511	0.0033405
LABO(lambda)	-0.3964696	0.1703781	-2.32700	0.0199816
IRB(lambda)	0.3471217	0.2032860	1.70755	0.0877446
RES(lambda)	0.0448631	0.0265572	1.68930	0.0911874
11042264	10.6353850	2.1539404	4.93764	8.0116e-07
11042371	10.9161965	2.1362272	5.11004	3.2695e-07
11042744	10.2051929	1.8537219	5.50524	3.7608e-08
11042918	10.4317072	2.1530463	4.84509	1.2810e-06
11042942	11.0611230	2.1285584	5.19653	2.0630e-07
11042991	10.5383987	2.0272788	5.19830	2.0436e-07
11043023	10.0552176	1.9319082	5.20481	1.9734e-07
11043056	10.5551650	2.1228421	4.97219	6.7099e-07
11043130	10.6969715	2.0739566	5.15776	2.5382e-07
11043171	10.3257405	2.0279213	5.09179	3.5998e-07
11043221	9.3509218	1.7151033	5.45210	5.0743e-08
11043353	9.7770691	2.0212580	4.83712	1.3334e-06
11043379	10.3180341	2.0610603	5.00618	5.6294e-07
11043445	10.9130109	2.0303531	5.37493	7.8017e-08
11043502	10.4470582	2.0190171	5.17433	2.3235e-07
11043510	10.7811180	2.0638844	5.22370	1.7826e-07
11043593	10.3040057	2.0117634	5.12188	3.0711e-07
11043759	10.2795827	2.1336411	4.81786	1.4685e-06
11043833	10.4097317	2.1028750	4.95024	7.5110e-07

11043882	9.9874576	1.9406499	5.14645	2.6957e-07
11043916	10.4756197	2.1685748	4.83065	1.3774e-06
11043924	9.6799603	2.0069749	4.82316	1.4300e-06
11044013	10.6580784	2.1472314	4.96364	7.0116e-07
11044021	10.5757049	2.0759849	5.09431	3.5523e-07
11044062	10.8899853	2.1771221	5.00201	5.7522e-07
11044070	11.0682755	2.1542016	5.13799	2.8196e-07
11044088	11.2285278	2.1398633	5.24731	1.5691e-07
11044096	11.4548327	2.3451446	4.88449	1.0501e-06
11044104	10.6572299	2.0919575	5.09438	3.5509e-07
11044112	10.7465814	2.1149880	5.08115	3.8068e-07
11044120	11.0982722	2.2767065	4.87470	1.1034e-06
11044138	10.9615534	2.1436288	5.11355	3.2093e-07
11044146	10.5428162	2.0388048	5.17108	2.3642e-07
11044179	10.9886767	2.2757088	4.82868	1.3910e-06
11044187	11.0414286	2.2161421	4.98227	6.3699e-07
11044195	11.8838861	2.5674860	4.62861	3.7191e-06
11044203	11.0873147	2.2520861	4.92313	8.6281e-07
11044211	10.5413090	2.1454644	4.91330	9.0715e-07
11044229	10.7149398	2.1876551	4.89791	9.8099e-07
11044237	10.0857431	1.9759882	5.10415	3.3726e-07
11044278	10.5091767	2.1379667	4.91550	8.9703e-07
11044286	10.7281609	2.1904790	4.89763	9.8238e-07
11044302	10.7088004	2.1617916	4.95367	7.3799e-07
11044336	10.1091648	1.9003378	5.31967	1.0579e-07
11044344	10.9937319	2.2785683	4.82484	1.4180e-06
11044351	11.5010631	2.3008533	4.99861	5.8544e-07
11044369	11.2383926	2.1638818	5.19363	2.0955e-07
11044377	10.9067922	2.2746846	4.79486	1.6471e-06
11044385	11.0994750	2.3076753	4.80981	1.5288e-06
11044393	10.2095765	2.0551479	4.96781	6.8629e-07
11044401	9.6549537	1.7578718	5.49241	4.0440e-08
11044419	11.0653614	2.2032845	5.02221	5.1799e-07
11044427	10.1375427	2.0759761	4.88327	1.0566e-06
11044435	11.0161163	2.3473560	4.69299	2.7216e-06
11044443	10.8912022	2.2038978	4.94179	7.8432e-07

11044450	11.2908152	2.4102132	4.68457	2.8356e-06
11044468	10.6256485	2.1524097	4.93663	8.0532e-07
11044476	11.5646441	2.3019657	5.02381	5.1370e-07
11044484	10.8800546	2.2334938	4.87132	1.1224e-06
11044500	10.5012140	1.9924760	5.27043	1.3841e-07
11044526	10.5545300	2.0945531	5.03904	4.7456e-07
11044534	11.4495347	2.3976846	4.77525	1.8157e-06
11044542	11.1059652	2.3106371	4.80645	1.5546e-06
11044567	10.8403132	2.1534496	5.03393	4.8736e-07
11044575	10.9780494	2.2016590	4.98626	6.2402e-07
11044583	10.1233063	1.9465434	5.20066	2.0179e-07
11044591	11.1371299	2.1646178	5.14508	2.7154e-07
11044609	11.3745997	2.3784280	4.78240	1.7523e-06
11044872	10.0206677	1.9931558	5.02754	5.0384e-07
11044930	10.6072562	2.1830190	4.85898	1.1945e-06
11097029	7.1585701	1.3473038	5.31326	1.0957e-07
11287208	10.8033913	2.0415465	5.29177	1.2323e-07
11546389	8.4155121	1.3981490	6.01904	1.8048e-09
12335386	11.0489349	2.2525670	4.90504	9.4608e-07
12363412	9.9882122	1.9794466	5.04596	4.5772e-07
12399044	8.1900085	3.4980906	2.34128	0.0192337
12409991	10.6306424	2.1847860	4.86576	1.1544e-06
12420774	10.9370087	2.1956534	4.98121	6.4050e-07
12431656	11.0680957	2.3343667	4.74137	2.1467e-06
12452645	6.8244427	1.2295821	5.55021	2.9125e-08
12460028	10.2376515	1.8685730	5.47886	4.3654e-08
12461570	10.4449456	1.9881243	5.25367	1.5160e-07
12464228	10.2781880	2.1506595	4.77909	1.7814e-06
12475976	10.9132846	2.4162071	4.51670	6.3398e-06
12513479	10.6941010	2.3859058	4.48220	7.4549e-06
12530127	10.4392928	2.3044046	4.53015	5.9500e-06
12530226	11.0800629	2.3220480	4.77168	1.8481e-06
12576120	10.8696788	2.0901623	5.20040	2.0207e-07
12576138	9.2945567	1.7516239	5.30625	1.1385e-07
12599213	11.5635910	2.5069266	4.61266	4.0159e-06
12685608	11.9661721	2.5095343	4.76828	1.8794e-06

12691408	10.6612399	2.1031632	5.06915	4.0544e-07
12691697	11.0521852	2.3277375	4.74804	2.0773e-06
12694659	10.9531092	2.3577001	4.64568	3.4250e-06
12704276	10.5617130	2.0856295	5.06404	4.1643e-07
12714093	10.5667582	2.0749926	5.09243	3.5875e-07
12721429	10.5428626	2.0674738	5.09939	3.4583e-07
12728861	11.2933750	2.3371898	4.83203	1.3679e-06
12729703	10.5500901	2.2995283	4.58794	4.5209e-06
12730628	10.2760165	3.7577079	2.73465	0.0062536
12745725	9.9191069	1.9558995	5.07138	4.0072e-07
12792370	9.9539602	2.1015599	4.73646	2.1992e-06
12819348	8.3593757	1.2746412	6.55822	5.6644e-11
12840518	11.2768599	2.3123215	4.87686	1.0914e-06
12934659	10.3184416	2.2673157	4.55095	5.3918e-06
13160395	11.2395493	2.2228611	5.05634	4.3355e-07
13163092	10.1259923	2.0962556	4.83051	1.3783e-06
13286331	10.9299389	2.3051716	4.74149	2.1455e-06
13508718	10.0724956	2.0310213	4.95933	7.1687e-07
13508742	10.2489856	2.1677056	4.72803	2.2923e-06
13514542	8.7690436	1.5123871	5.79815	6.8707e-09
13545264	11.5396958	2.3877143	4.83295	1.3616e-06
13623616	10.5094920	2.2857683	4.59779	4.3126e-06
13727227	10.4860177	2.2364981	4.68859	2.7807e-06
13818117	11.0242034	2.3409601	4.70927	2.5134e-06
13818596	9.3521185	1.7437049	5.36336	8.3173e-08
14177356	9.6355805	1.8255906	5.27806	1.3279e-07
14491799	10.3017202	2.1697730	4.74783	2.0794e-06
15103666	9.2373845	3.6185749	2.55277	0.0106991
16311532	11.6610091	2.4051941	4.84826	1.2608e-06
18456327	11.0106009	1.7407098	6.32535	2.6145e-10
24203952	10.3741989	2.1094605	4.91794	8.8595e-07
29732187	5.8370510	1.0743398	5.43315	5.6427e-08
R ²	0.675014			
Adj. R ²	0.657084			
Nombre obs.	2583			

C.2 Représentations graphiques de la relation entre la superficie des hôpitaux et l'efficacité technique de 1982 à 2009

FIGURE C.1: Relation entre la superficie des hôpitaux et l'efficacité technique : 1982 à 1987

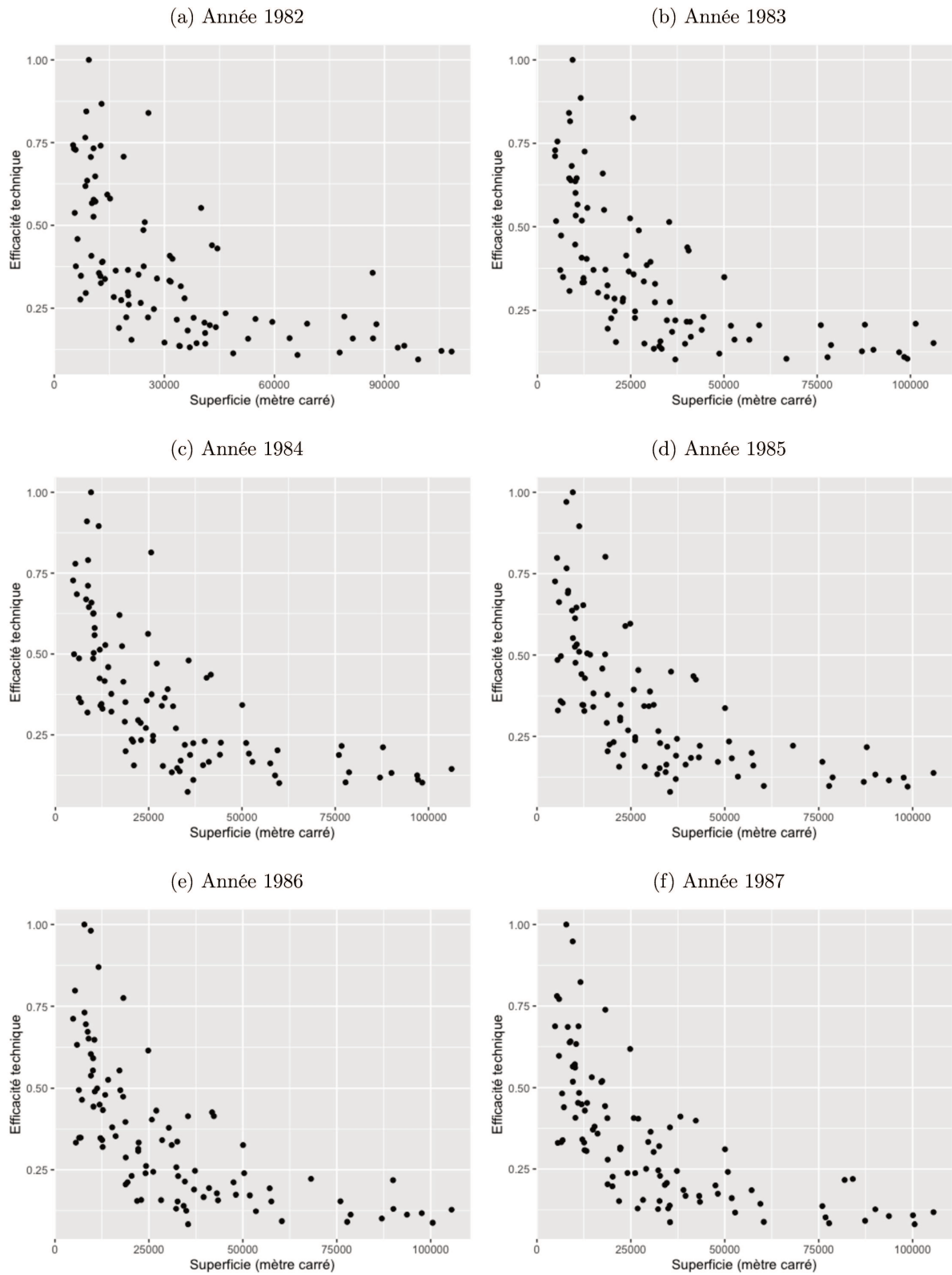


FIGURE C.2: Relation entre la superficie des hôpitaux et l'efficacité technique : 1988 à 1993

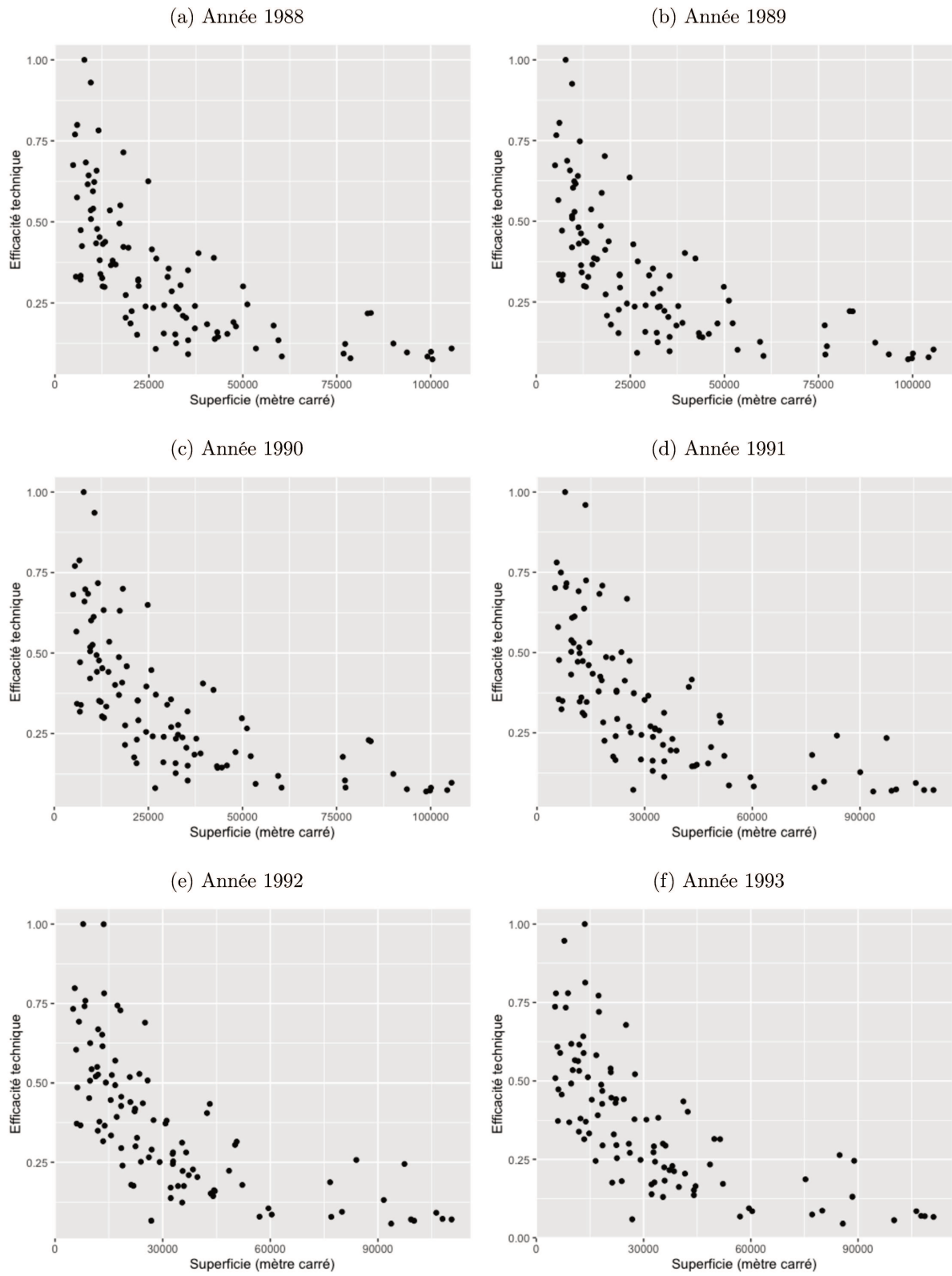


FIGURE C.3: Relation entre la superficie des hôpitaux et l'efficacité technique : 1994 à 1999

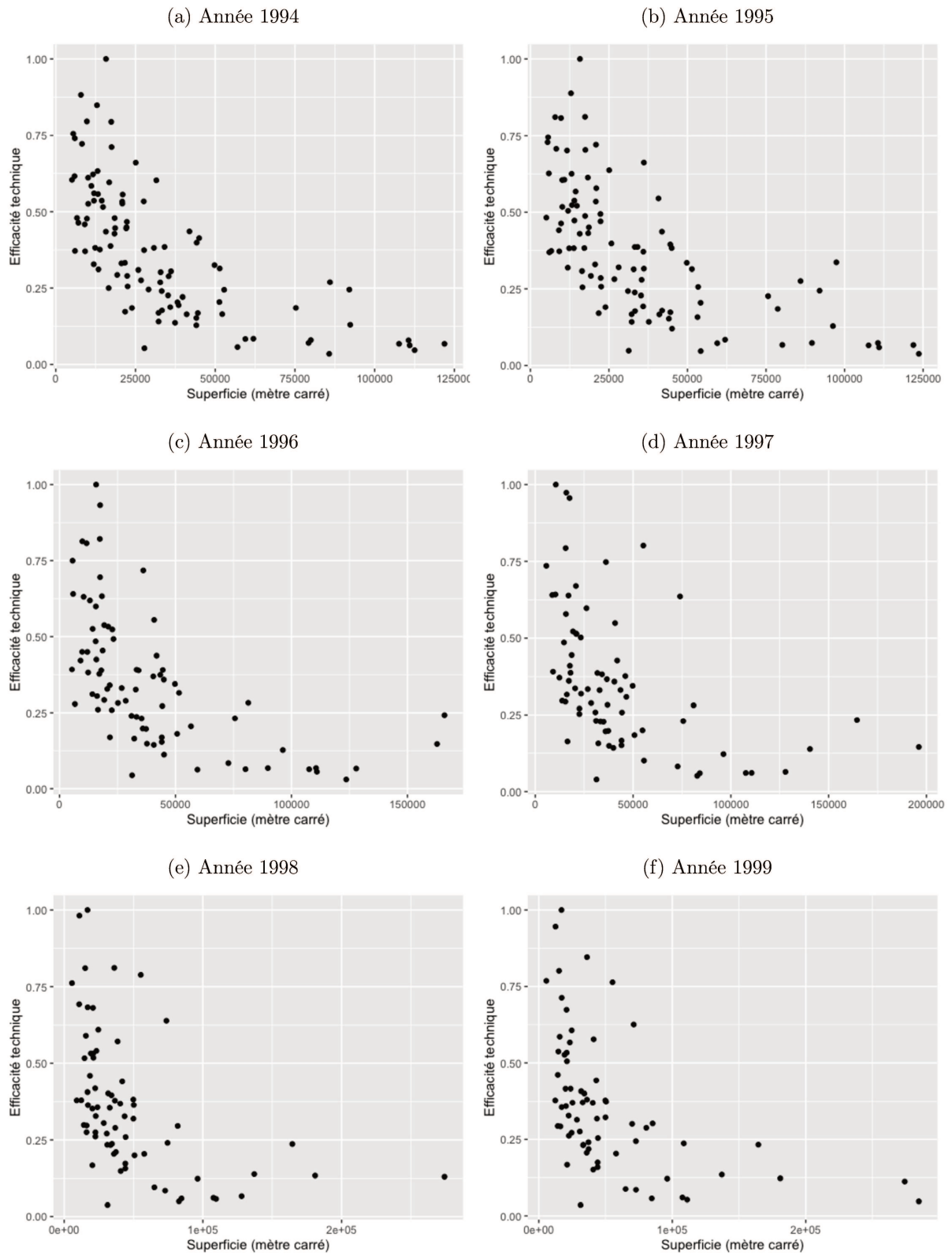


FIGURE C.4: Relation entre la superficie des hôpitaux et l'efficacité technique : 2000 à 2005

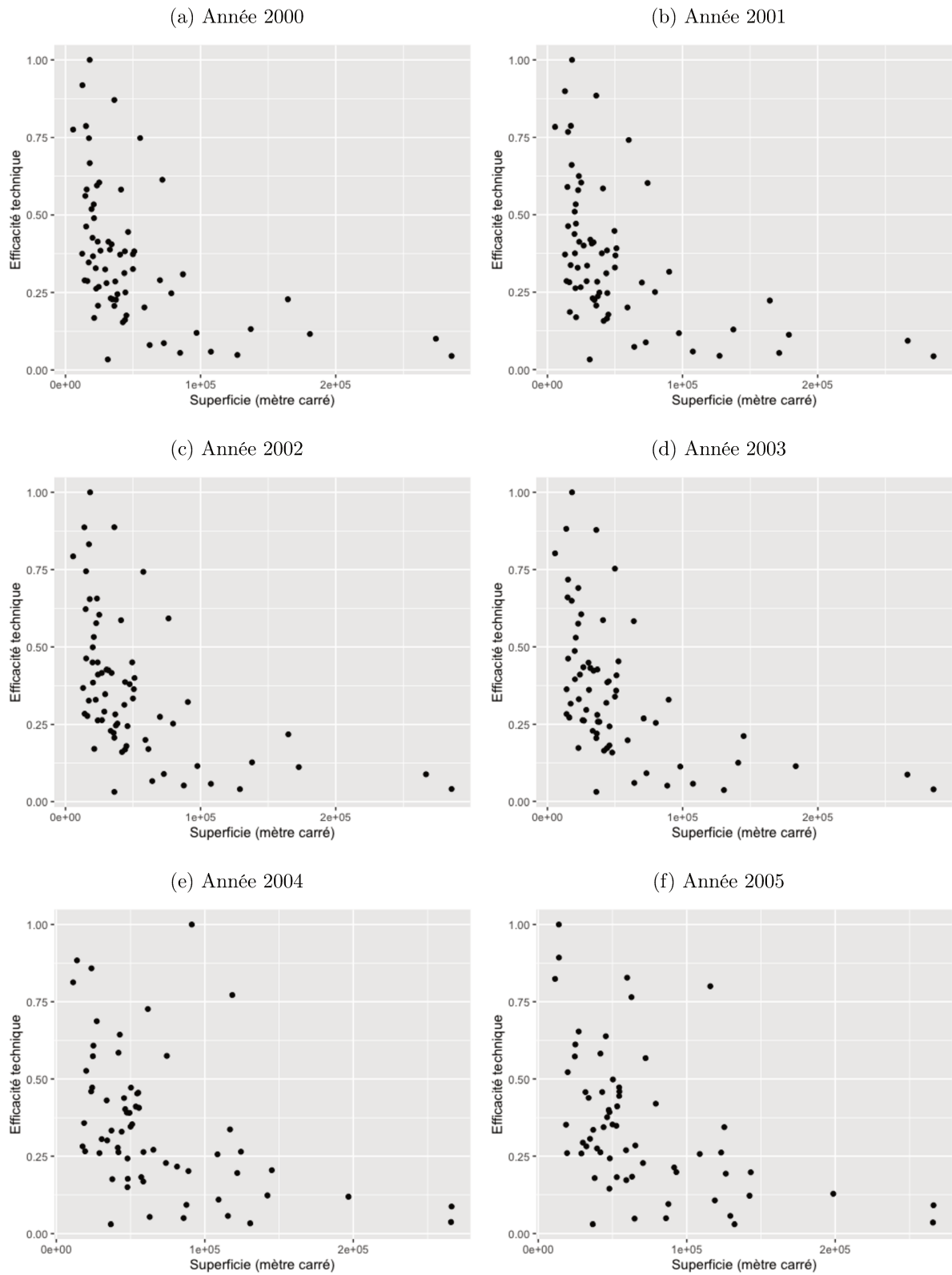
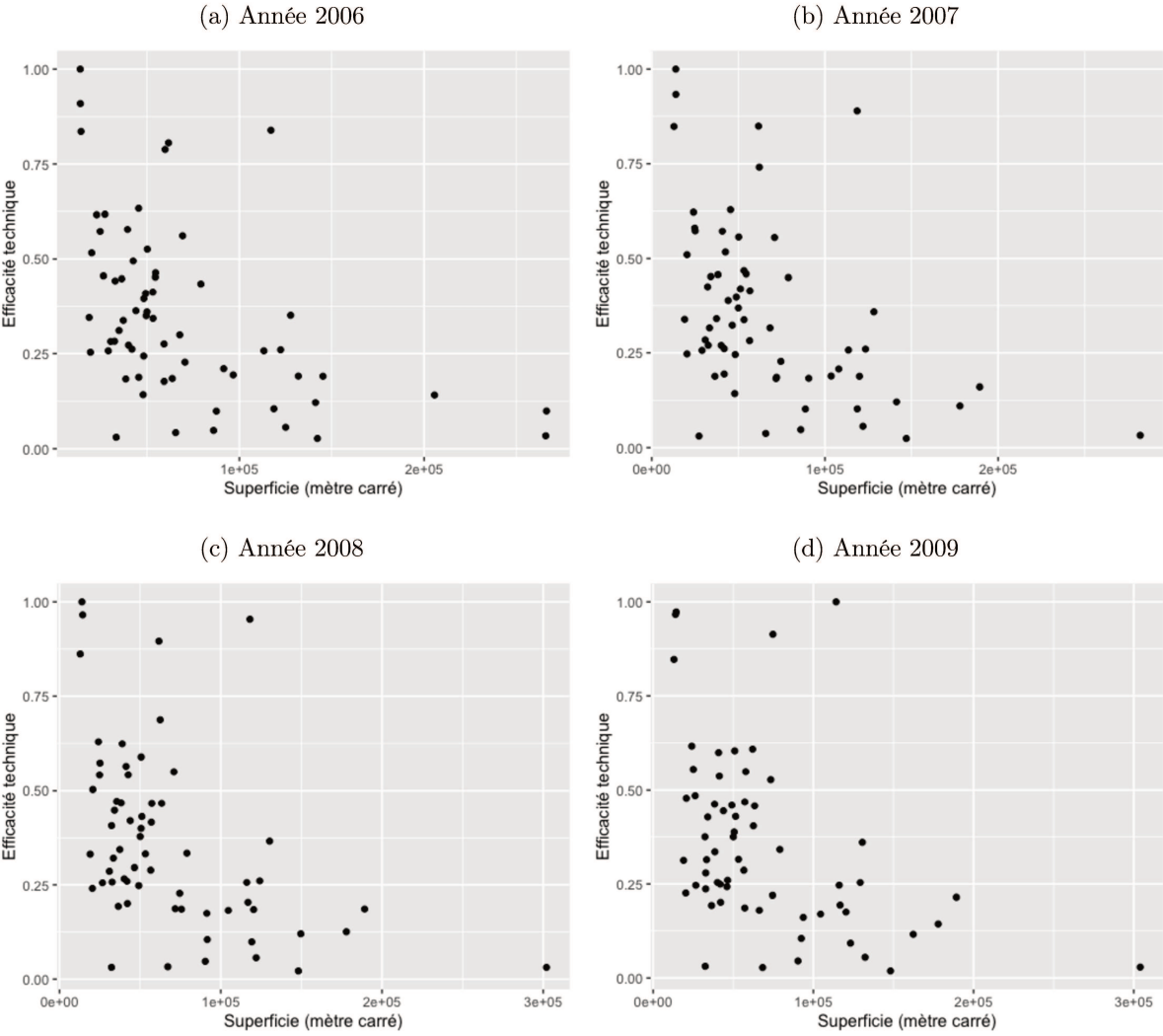


FIGURE C.5: Relation entre la superficie des hôpitaux et l'efficacité technique : 2000 à 2005

FIGURE C.6: Relation entre la superficie des hôpitaux et l'efficacité technique : 2006 à 2009



C.3 Moyenne de l'efficacité technique par année et par superficie des hôpitaux

C.3.1 Moyenne de l'efficacité technique par année pour les hôpitaux de moins de 20.000 mètres carrés

TABLEAU C.6: Moyenne de l'efficacité technique par année : hôpitaux de moins de 20.000 mètres carrés

Années	Moyenne de l'efficacité technique	Nombre d'hôpitaux
1982	0.528	38
1983	0.528	38
1984	0.535	38
1985	0.535	39
1986	0.528	40
1987	0.518	42
1988	0.510	42
1989	0.502	43
1990	0.518	41
1991	0.528	41
1992	0.553	39
1993	0.549	39
1994	0.551	39
1995	0.545	39
1996	0.541	29
1997	0.543	21
1998	0.555	17
1999	0.589	13
2000	0.594	14
2001	0.570	13
2002	0.604	12
2003	0.582	11
2004	0.589	5
2005	0.642	6
2006	0.669	5
2007	0.780	4
2008	0.790	4
2009	0.796	4

C.3.2 Moyenne de l'efficacité technique par année pour les hôpitaux compris entre 20.000 et 40.000 mètres carrés

TABLEAU C.7: Moyenne de l'efficacité technique par année : hôpitaux compris entre 20.000 et 40.000 mètres carrés

Années	Moyenne de l'efficacité technique	Nombre d'hôpitaux
1982	0.356	28
1983	0.355	30
1984	0.343	31
1985	0.457	31
1986	0.426	29
1987	0.413	32
1988	0.413	30
1989	0.406	30
1990	0.406	32
1991	0.421	33
1992	0.434	35
1993	0.443	35
1994	0.481	36
1995	0.461	30
1996	0.433	22
1997	0.442	27
1998	0.455	27
1999	0.438	26
2000	0.406	26
2001	0.426	27
2002	0.429	27
2003	0.434	26
2004	0.501	14
2005	0.553	13
2006	0.627	16
2007	0.595	15
2008	0.616	17
2009	0.570	15

C.3.3 Moyenne de l'efficacité technique par année pour les hôpitaux de moins de 40.000 mètres carrés

TABLEAU C.8: Moyenne de l'efficacité technique par année : hôpitaux de moins de 40.000 mètres carrés

Années	Moyenne de l'efficacité technique	Nombre d'hôpitaux
1982	0.431	66
1983	0.424	68
1984	0.420	69
1985	0.419	70
1986	0.416	69
1987	0.404	74
1988	0.405	72
1989	0.402	73
1990	0.406	73
1991	0.418	74
1992	0.433	74
1993	0.431	74
1994	0.439	75
1995	0.452	69
1996	0.441	51
1997	0.424	48
1998	0.441	44
1999	0.443	39
2000	0.438	40
2001	0.440	40
2002	0.449	39
2003	0.441	37
2004	0.514	19
2005	0.450	19
2006	0.455	21
2007	0.456	19
2008	0.464	21
2009	0.452	19

C.3.4 Moyenne de l'efficacité technique par année pour les hôpitaux de plus de 40.000 mètres carrés

TABLEAU C.9: Moyenne de l'efficacité technique par année : hôpitaux de plus de 40.000 mètres carrés

Années	Moyenne de l'efficacité technique	Nombre d'hôpitaux
1982	0.372	27
1983	0.437	24
1984	0.434	24
1985	0.431	24
1986	0.425	25
1987	0.406	23
1988	0.402	25
1989	0.395	24
1990	0.391	24
1991	0.391	25
1992	0.384	25
1993	0.382	25
1994	0.398	27
1995	0.359	30
1996	0.361	30
1997	0.311	27
1998	0.296	28
1999	0.332	30
2000	0.341	29
2001	0.343	29
2002	0.338	30
2003	0.333	30
2004	0.307	45
2005	0.375	45
2006	0.362	43
2007	0.352	45
2008	0.326	42
2009	0.316	44

C.3.5 Moyenne de l'efficacité technique par année pour l'ensemble des hôpitaux

TABLEAU C.10: Moyenne de l'efficacité technique par année : ensemble des hôpitaux

Années	Moyenne de l'efficacité technique	Nombre d'hôpitaux
1982	0.365	93
1983	0.362	93
1984	0.359	94
1985	0.360	94
1986	0.354	94
1987	0.347	97
1988	0.341	97
1989	0.340	97
1990	0.343	97
1991	0.353	99
1992	0.366	99
1993	0.364	99
1994	0.369	102
1995	0.375	99
1996	0.356	81
1997	0.361	75
1998	0.360	72
1999	0.361	69
2000	0.361	69
2001	0.362	69
2002	0.363	69
2003	0.356	67
2004	0.351	64
2005	0.352	64
2006	0.353	64
2007	0.355	64
2008	0.362	63
2009	0.354	63

C.4 Résultats de la troisième étape d'estimation : Estimation de l'effet de la distance par rapport au Centre Hospitalier de l'Université de Montréal

C.4.1 Hôpitaux de moins de 20.000 mètres carrés

TABLEAU C.11: Troisième étape d'estimation : hôpitaux de moins de 20.000 mètres carrés

	coefficient	erreur std.	t de Student	p. critique
Quantité de travail				
constante	-0.4129452	0.117201	-3.523394	0.0004261
Distance	-9.89e-07	1.12e-07	-8.849848	0.0000000
Quantité de médicaments				
constante	1.75046	0.1045072	16.74966	0.0000000
Distance	2.00e-07	1.50e-07	1.335941	0.1815684
Quantité de nourriture				
constante	-3.632183	0.0899071	-40.3993	0.0000000
Distance	-1.59e-06	1.69e-07	-9.384668	0.0000000
Quantité de fournitures				
constante	0.0179425	216741.3	8.28e-08	0.9999999
Distance	1.43e-06	5.99e-08	23.90183	0.0000000
Quantité d'énergie				
constante	2.152198	2066405	1.04e-06	0.9999992
Distance	-1.18e-06	1.24e-07	-9.541919	0.0000000
Nombre obs.	947			
Nombre panel	24			

La matrice de variances-covariances de l'inefficacité allocative est donnée par :

$$\Sigma_{\xi} = \begin{pmatrix} 0.08927448 & & & & & \\ 0.01969387 & 0.14224172 & & & & \\ -0.05803128 & 0.09768307 & 0.4354923 & & & \\ 0.10221897 & 0.04042045 & -0.1034258 & 0.26388869 & & \\ 0.01520643 & 0.05111605 & 0.12518756 & -0.06326751 & 0.14459069 & \end{pmatrix}$$

La matrice de variances-covariances de l'effet temporel aléatoire est donnée par :

$$\Sigma_{\zeta} = \begin{pmatrix} 0.04425119 & & & & & \\ -0.02713509 & 0.02635514 & & & & \\ -0.06874081 & 0.05411933 & 0.20287387 & & & \\ 0.03743681 & -0.01957571 & -0.09952086 & 0.06127539 & & \\ -0.00008112 & 0.00866649 & 0.03545495 & -0.01288728 & 0.01971683 & \end{pmatrix}$$

La matrice de variances-covariances de l'hétérogénéité est donnée par :

$$\Sigma_{\mu} = \begin{pmatrix} 0.45308579 & & & & & \\ -0.06769288 & 0.28815507 & & & & \\ -0.94459131 & -0.3172912 & 2.9698609 & & & \\ 0.72875455 & 0.2092631 & -2.1659932 & 1.6929764 & & \\ -0.174765 & -0.11875278 & 0.5720669 & -0.4752545 & 0.1955964 & \end{pmatrix}$$

C.4.2 Hôpitaux entre 20.000 et 40.000 mètres carrés

TABLEAU C.12: Troisième étape d'estimation : hôpitaux entre 20.000 et 40.000 mètres carrés

	coefficient	erreur std.	t de Student	p. critique
Quantité de travail				
constante	-1.338334	672434.9	-1.99e-06	0.9999984
Distance	6.67e-07	2.70e-08	24.66253	0.0000000
Quantité de médicaments				
constante	0.7815165	.	.	.
Distance	4.85e-07	5.37e-08	9.03201	0.0000000
Quantité de nourriture				
constante	-3.86938	0.0940787	-41.12919	0.0000000
Distance	-3.76e-07	6.01e-08	-6.246122	4.21e-10
Quantité de fournitures				
constante	-0.8604628	0.2243828	-3.834799	0.0001257
Distance	4.33e-06	4.34e-08	99.80113	0.0000000
Quantité d'énergie				
constante	0.9047146	0.1166052	7.758787	8.66e-15
Distance	-2.74e-07	4.42e-08	-6.192148	5.93e-10
Nombre obs.	769			
Nombre panel	20			

La matrice de variances-covariances de l'inefficacité allocative est donnée par :

$$\Sigma_{\xi} = \begin{pmatrix} 0.2219073 & & & & \\ 0.4065251 & 0.8807386 & & & \\ 0.2587427 & 0.6264038 & 0.6737602 & & \\ 0.3855527 & 0.7214631 & 0.4599435 & 0.8028376 & \\ 0.2211984 & 0.4731982 & 0.3818158 & 0.304088 & 0.3516611 \end{pmatrix}$$

La matrice de variances-covariances de l'effet temporel aléatoire est donnée par :

$$\Sigma_{\zeta} = \begin{pmatrix} 0.01099369 & & & & & \\ 0.00892568 & 0.02593413 & & & & \\ -0.01146918 & 0.00596551 & 0.05706799 & & & \\ 0.01114754 & 0.0180245 & -0.02754207 & 0.02691889 & & \\ 0.00538685 & 0.00915205 & 0.01513523 & -0.00031968 & 0.01718891 & \end{pmatrix}$$

La matrice de variances-covariances de l'hétérogénéité est donnée par :

$$\Sigma_{\mu} = \begin{pmatrix} 0.12321022 & & & & & \\ 0.00576467 & 0.10719112 & & & & \\ -0.30965343 & -0.1360401 & 1.0055695 & & & \\ 0.12709353 & 0.10577038 & -0.562169 & 0.6267565 & & \\ -0.01045685 & -0.03626389 & 0.1289015 & -0.2985084 & 0.20105682 & \end{pmatrix}$$

C.4.3 Hôpitaux entre 40.000 et 100.000 mètres carrés

TABLEAU C.13: Troisième étape d'estimation : hôpitaux entre 40.000 et 100.000 mètres carrés

	coefficient	erreur std.	t de Student	p. critique
Quantité de travail				
constante	-0.5664143	.	.	.
Distance	-2.93e-08	4.32e-08	-0.6772182	0.4982675
Quantité de médicaments				
constante	1.810064	0.0570691	31.71706	0.0000000
Distance	-2.41e-07	2.20e-08	-10.95279	0.0000000
Quantité de nourriture				
constante	-3.663206	0.0378087	-96.88799	0.0000000
Distance	2.61e-06	2.65e-08	98.12787	0.0000000
Quantité de fournitures				
constante	1.3764	0.0613199	22.4462	0.0000000
Distance	-2.50e-06	4.29e-08	-58.43426	0.0000000
Quantité d'énergie				
constante	1.371568	0.0955568	14.35344	0.0000000
Distance	1.11e-07	5.87e-08	1.897176	0.0578047
Nombre obs.	683			
Nombre panel	21			

La matrice de variances-covariances de l'inefficacité allocative est donnée par :

$$\Sigma_{\xi} = \begin{pmatrix} 0.09658326 & & & & \\ 0.03682992 & 0.10607028 & & & \\ -0.08818127 & 0.08201291 & 0.37702111 & & \\ 0.03648157 & 0.03747318 & 0.07724848 & 0.19789306 & \\ 0.08348068 & 0.06857719 & -0.07436561 & -0.07206358 & 0.19159546 \end{pmatrix}$$

La matrice de variances-covariances de l'effet temporel aléatoire est donnée par :

$$\Sigma_{\zeta} = \begin{pmatrix} 0.05325361 & & & & \\ 0.01484863 & 0.03094687 & & & \\ -0.07539305 & 0.01885393 & 0.18596634 & & \\ 0.00329173 & 0.0108855 & 0.01443267 & 0.0225902 & \\ 0.06380675 & 0.02730065 & -0.07588515 & -0.00395854 & 0.09286988 \end{pmatrix}$$

La matrice de variances-covariances de l'hétérogénéité est donnée par :

$$\Sigma_{\mu} = \begin{pmatrix} 0.52885141 & & & & \\ 0.14927616 & 0.18248593 & & & \\ -1.3397151 & -0.52431194 & 3.9312517 & & \\ 0.77083771 & 0.29699912 & -2.3859657 & 1.8848869 & \\ -0.01333938 & -0.01912603 & 0.2613049 & -0.5511558 & 0.42355758 \end{pmatrix}$$

C.4.4 Hôpitaux de plus de 100.000 mètres carrés

TABLEAU C.14: Troisième étape d'estimation : hôpitaux de plus de 100.000 mètres carrés

	coefficient	erreur std.	t de Student	p. critique
Quantité de travail				
constante	-1.147362	613139	-1.87e-06	0.9999985
Distance	9.58e-07	3.66e-07	2.619279	0.0088116
Quantité de médicaments				
constante	1.849405	0.3490097	5.299007	1.16e-07
Distance	-1.83e-08	3.83e-07	-0.0479602	0.961748
Quantité de nourriture				
constante	-2.668922	301634.7	-8.85e-06	0.9999929
Distance	-1.37e-06	3.21e-07	-4.286869	0.0000181
Quantité de fournitures				
constante	0.5904444	264477.3	2.23e-06	0.9999982
Distance	-3.96e-07	4.61e-07	-0.8593926	0.3901239
Quantité d'énergie				
constante	2.073574	426538	4.86e-06	0.9999961
Distance	-1.89e-07	7.07e-07	-0.2675344	0.7890578
Nombre obs.	184			
Nombre panel	11			

La matrice de variances-covariances de l'inefficacité allocative est donnée par :

$$\Sigma_{\xi} = \begin{pmatrix} 0.06422661 & & & & \\ 0.05779376 & 0.19689693 & & & \\ 0.01413282 & 0.12882898 & 0.52503472 & & \\ 0.00709485 & 0.0954811 & 0.11520225 & 0.28584387 & \\ 0.09883085 & 0.1263271 & 0.00101306 & -0.11111588 & 0.28555108 \end{pmatrix}$$

La matrice de variances-covariances de l'effet temporel aléatoire est donnée par :

$$\Sigma_{\zeta} = \begin{pmatrix} 0.01967275 & & & & \\ 0.00851583 & 0.0389072 & & & \\ -0.00335621 & 0.03930415 & 0.02437483 & & \\ 0.00515758 & 0.04734099 & 0.05196927 & 0.08872383 & \\ 0.02581598 & 0.00784518 & -0.02928963 & -0.01335637 & 0.06257191 \end{pmatrix}$$

La matrice de variances-covariances de l'hétérogénéité est donnée par :

$$\Sigma_{\mu} = \begin{pmatrix} 0.07499607 & & & & \\ -0.03764957 & 0.1271608 & & & \\ -0.10712922 & -0.07345803 & 0.40609677 & & \\ -0.04466688 & -0.02081795 & -0.09268717 & 0.59316859 & \\ 0.06878999 & 0.06974263 & -0.15331168 & -0.40649478 & 0.41608662 \end{pmatrix}$$

Bibliographie

- AIGNER, D., LOVELL, C. et SCHMIDT, P. (1977). Formulation and estimation of stochastic frontier production function models. *Journal of Econometrics*, 6(1):21–37.
- ALLEN, R. G. D. (1938). *Mathematical Analysis for Economists*. Macmillan, London.
- ALLEN, R. G. D. et HICKS, J. R. (1934a). A Reconsideration of the Theory of Value. Part I. *Economica*, 1(1):52–76.
- ALLEN, R. G. D. et HICKS, J. R. (1934b). A Reconsideration of the Theory of Value. Part II. A Mathematical Theory of Individual Demand Functions. *Economica*, 1(2):196–219.
- AMSLER, C., PROKHOROV, A. et SCHMIDT, P. (2016). Endogeneity in stochastic frontier models. *Journal of Econometrics*, 190(2):280–288.
- AMSLER, C. et SCHMIDT, P. (2019). Separating different individual effects in a panel data model. *The Econometrics Journal*, 22(2):173–187.
- ARELLANO-VALLE, R. B. et AZZALINI, A. (2006). On the Unification of Families of Skew-normal Distributions. *Scandinavian Journal of Statistics*, 33(3):561–574.
- ATKINSON, S. E. et CORNWELL, C. (1994). Parametric Estimation of Technical and Allocative Inefficiency with Panel Data. *International Economic Review*, 35(1):231–244.
- BATTESE, G. E. et COELLI, T. J. (1992). Frontier production functions, technical efficiency and panel data : With application to paddy farmers in India. *Journal of Productivity Analysis*, 3(1-2):153–169.

- BAUER, P. W. (1985). An analysis of Multiproduct Technology and Efficiency Using the Joint Cost Function and Panel Data : An Application to the U.S. Airline Industry. *Unpublished Ph.D. Dissertation, University of North Carolina, Chapel Hill, NC.*
- BAUER, P. W. (1990). Recent developments in the econometric estimation of frontiers. *Journal of Econometrics*, 46(1-2):39–56.
- BILODEAU, D., CRÉMIEUX, P.-Y. et OUELLETTE, P. (2000). Hospital Cost Function in a Non-Market Health Care System. *Review of Economics and Statistics*, 82(3):489–498.
- BILODEAU, D., CRÉMIEUX, P.-Y. et OUELLETTE, P. (2002). Hospital Technology in a Non-market Health Care System. *Southern Economic Journal*, 68(3):511–529.
- BILODEAU, D., CRÉMIEUX, P.-Y. et OUELLETTE, P. (2009). Hospital performance in a noncompetitive environment. *Applied Economics*, 41(4):459–468.
- BIORN, E. (2004). Regression systems for unbalanced panel data : a stepwise maximum likelihood procedure. *Journal of Econometrics*, 122(2):281–291.
- BIORN, E. (2014). Estimating SUR system with random coefficients : the unbalanced panel data case. *Empirical Economics*, 47(2):451–468.
- BIORN, E., LINDQUIST, K.-G. et SKJERPEN, T. (2003). Random Coefficients in Unbalanced Panels : An Application on Data from Chemical Plants. *Annales d’Economie et de Statistique*, (69):55–83.
- BOUSSEMARY, J.-P., LELEU, H. et VALDMANIS, V. (2015). A two-stage translog marginal cost pricing approach for Floridian hospital outputs. *Applied Economics*, 47(38):4116–4127.
- BOX, G. E. P. et COX, D. R. (1964). An Analysis of Transformations. *Journal of the Royal Statistical Society : Series B (Methodological)*, 26(2):211–243.
- CASTONGUAY, C., MARCOTTE, J. et VENNE, M. (2008). En avoir pour notre argent, rapport du groupe de travail sur le financement du système de santé. *Gouvernement du Québec.*

- CAUDILL, S. B. et FORD, J. M. (1993). Biases in frontier estimation due to heteroscedasticity. *Economics Letters*, 41(1):17–20.
- CAUDILL, S. B., FORD, J. M. et GROPPER, D. M. (1995). Frontier Estimation and Firm-Specific Inefficiency Measures in the Presence of Heteroscedasticity. *Journal of Business & Economic Statistics*, 13(1):105–111.
- CHRISTENSEN, L. R., JORGENSON, D. W. et LAU, L. J. (1973). Transcendental Logarithmic Production Frontiers. *The Review of Economics and Statistics*, 55(1):28–45.
- COLOMBI, R., KUMBHAKAR, S. C., MARTINI, G. et VITTADINI, G. (2014). Closed-skew normality in stochastic frontiers with individual effects and long/short-run efficiency. *Journal of Productivity Analysis*, 42(2):123–136.
- CORNWELL, C., SCHMIDT, P. et SICKLES, R. C. (1990). Production frontiers with cross-sectional and time-series variation in efficiency levels. *Journal of Econometrics*, 46(1-2):185–200.
- CRÉMIEX, P.-Y., MEILLEUR, M.-C., OUELLETTE, P., PETIT, P., ZELDER, M. et POTVIN, K. (2005). Public and private pharmaceutical spending as determinants of health outcomes in Canada : Drug Spending and Outcomes. *Health Economics*, 14(2):107–116.
- FENG, G. et SERLETIS, A. (2009). Efficiency and productivity of the US banking industry, 1998-2005 : evidence from the Fourier cost function satisfying global regularity conditions. *Journal of Applied Econometrics*, 24(1):105–138.
- FERNANDEZ, C., KOOP, G. et STEEL, M. (2000). A Bayesian analysis of multiple-output production frontiers. *Journal of Econometrics*, 98(1):47–79.
- FERRIER, G. D. et LOVELL, C. (1990). Measuring cost efficiency in banking : Econometric and linear programming evidence. *Journal of Econometrics*, 46(1-2):229–245.

- GAGNÉ, R. et OUELLETTE, P. (1998). On the Choice of Functional Forms : Summary of a Monte Carlo Experiment. *Journal of Business & Economic Statistics*, 16(1):118–124.
- GONZALEZ-FARIAS, G., DOMINGUEZ-MOLINA, A. et GUPTA, A. K. (2004). Additive properties of skew normal random vectors. *Journal of Statistical Planning and Inference*, 126(2):521–534.
- GREENE, W. (2004). Distinguishing between heterogeneity and inefficiency : stochastic frontier analysis of the World Health Organization’s panel data on national health care systems. *Health Economics*, 13(10):959–980.
- GREENE, W. (2005a). Fixed and Random Effects in Stochastic Frontier Models. *Journal of Productivity Analysis*, 23(1):7–32.
- GREENE, W. (2005b). Reconsidering heterogeneity in panel data estimators of the stochastic frontier model. *Journal of Econometrics*, 126(2):269–303.
- GREENE, W. H. (1980). On the estimation of a flexible frontier production model. *Journal of Econometrics*, 13(1):101–115.
- GRIFFITHS, W. E. et HAJARGASHT, G. (2016). Some models for stochastic frontiers with endogeneity. *Journal of Econometrics*, 190(2):341–348.
- GUAN, Z., KUMBHAKAR, S. C., MYERS, R. J. et LANSINK, A. O. (2009). Measuring Excess Capital Capacity in Agricultural Production. *American Journal of Agricultural Economics*, 91(3):765–776.
- HANSEN, L. P. (1982). Large Sample Properties of Generalized Method of Moments Estimators. *Econometrica*, 50(4):1029–1054.
- KARAKAPLAN, M. et KUTLU, L. (2017). Handling Endogeneity in Stochastic Frontier Analysis. *Economics Bulletin*, 2(37):889–901.

- KNELLER, R. et ANDREW STEVENS, P. (2003). The specification of the aggregate production function in the presence of inefficiency. *Economics Letters*, 81(2):223–226.
- KUMBHAKAR, S. C. (1990). Production frontiers, panel data, and time-varying technical inefficiency. *Journal of Econometrics*, 46(1-2):201–211.
- KUMBHAKAR, S. C. (1991a). Estimation of technical inefficiency in panel data models with firm- and time-specific effects. *Economics Letters*, 36(1):43–48.
- KUMBHAKAR, S. C. (1991b). The Measurement and Decomposition of Cost-Efficiency : The Translog Cost System. *Oxford Economic Papers*, 43(4):667–683.
- KUMBHAKAR, S. C. (1997). Modeling allocative inefficiency in a translog cost function and cost share equations : An exact relationship. *Journal of Econometrics*, 76(1-2):351–356.
- KUMBHAKAR, S. C., ASCHE, F., ROLL, K. et TVETERAS, R. (2016). A General Error Revenue Function Model with Technical Inefficiency : An Application to Norwegian Fishing Trawler. In GREENE, W., KHALAF, L., SICKLES, R., VEALL, M. et VOIA, M., éditeurs : *Productivity and Efficiency Analysis*. Springer Proceedings in Business and Economics. Springer, Cham.
- KUMBHAKAR, S. C. et HESHMATI, A. (1995). Efficiency Measurement in Swedish Dairy Farms : An Application of Rotating Panel Data, 1976 1988. *American Journal of Agricultural Economics*, 77(3):660–674.
- KUMBHAKAR, S. C. et HJALMARSSON, L. (1993). Technical efficiency and technical progress in Swedish dairy farms. In FRIED, K. L. H. et SCHMIDT, S., éditeurs : *The Measurement of Productive Efficiency*. Oxford University Press, Oxford, United Kingdom.
- KUMBHAKAR, S. C. et HJALMARSSON, L. (1995). Labour-use efficiency in Swedish social insurance offices. *Journal of Applied Econometrics*, 10(1):33–47.

- KUMBHAKAR, S. C. et HJALMARSSON, L. (1998). Relative performance of public and private ownership under yardstick competition : electricity retail distribution. *European Economic Review*, 42(1):97–122.
- KUMBHAKAR, S. C., LIEN, G. et HARDAKER, J. B. (2014). Technical efficiency in competing panel data models : a study of Norwegian grain farming. *Journal of Productivity Analysis*, 41(2):321–337.
- KUMBHAKAR, S. C. et LOVELL, C. A. K. (2003). *Stochastic Frontier Analysis*. Cambridge University Press, 2 édition.
- KUMBHAKAR, S. C. et TSIONAS, E. G. (2005). Measuring technical and allocative inefficiency in the translog cost system : a Bayesian approach. *Journal of Econometrics*, 126(2):355–384.
- KUMBHAKAR, S. C. et TSIONAS, E. G. (2011). Stochastic error specification in primal and dual production systems. *Journal of Applied Econometrics*, 26(2):270–297.
- KUMBHAKAR, S. C. et WANG, H.-J. (2005). Estimation of growth convergence using a stochastic production frontier approach. *Economics Letters*, 88(3):300–305.
- KUMBHAKAR, S. C. et WANG, H.-J. (2006). Estimation of technical and allocative inefficiency : A primal system approach. *Journal of Econometrics*, 134(2):419–440.
- KUTLU, L. (2010). Battese-coelli estimator with endogenous regressors. *Economics Letters*, 109(2):79–81.
- KUTLU, L., TRAN, K. C. et TSIONAS, M. G. (2019). A time-varying true individual effects model with endogenous regressors. *Journal of Econometrics*, 211(2):539–559.
- LEE, Y. et SCHMIDT, P. (1993). A production frontier model with flexible temporal variation in technical efficiency. In FRIED, K. L. H. et SCHMIDT, S., éditeurs : *The Measurement of Productive Efficiency*. Oxford University Press, Oxford, United Kingdom.

- MCELROY, M. B. (1987). Additive General Error Models for Production, Cost, and Derived Demand or Share Systems. *Journal of Political Economy*, 95(4):737–757.
- MEEUSEN, W. et van DEN BROECK, J. (1977). Efficiency Estimation from Cobb-Douglas Production Functions with Composed Error. *International Economic Review*, 18(2):435–444.
- MELFI, C. A. (1984). Estimation and Decomposition of Productive Efficiency in a Panel Data Model : An Application to Electric Utilities. *Unpublished Ph.D. Dissertation, University of North Carolina, Chapel Hill, NC.*
- MINISTÈRE DE LA SANTÉ ET DES SERVICES SOCIAUX (2016). *Le système de santé et de services sociaux au Québec en bref*. OCLC : 957160120.
- MOON, H. R. et PERRON, B. (2008). Seemingly Unrelated Regressions. In PALGRAVE MACMILLAN, éditeur : *The New Palgrave Dictionary of Economics*, pages 1–6. Palgrave Macmillan UK, London.
- ORGANISATION DE COOPÉRATION ET DE DÉVELOPPEMENT ECONOMIQUES (2004). *Vers des systèmes de santé plus performants*. Organisation de Coopération et de Développement Economiques, Washington. OCLC : 468750357.
- OUELLETTE, P. et PETIT, P. (2018). Efficiency Measurement : A Methodological Review and Synthesis. *Data Envelopment Analysis Journal*, 4(1):67–107.
- PITT, M. M. et LEE, L.-F. (1981). The measurement and sources of technical inefficiency in the Indonesian weaving industry. *Journal of Development Economics*, 9(1):43–64.
- PLATONI, S., SCKOKAI, P. et MORO, D. (2012). A Note on Two-Way ECM Estimation of SUR Systems on Unbalanced Panel Data. *Econometric Reviews*, 31(2):119–141.

- REIFSCHNEIDER, D. et STEVENSON, R. (1991). Systematic Departures from the Frontier : A Framework for the Analysis of Firm Inefficiency. *International Economic Review*, 32(3): 715–723.
- RODRIGUEZ-ÁLVAREZ, A., FERNÁNDEZ-BLANCO, V. et LOVELL, C. (2004). Allocative inefficiency and its cost : The case of Spanish public hospitals. *International Journal of Production Economics*, 92(2):99–111.
- SARGAN, J. D. (1958). The Estimation of Economic Relationships using Instrumental Variables. *Econometrica*, 26(3):393–415.
- SCHMIDT, P. et SICKLES, R. C. (1984). Production Frontiers and Panel Data. *Journal of Business & Economic Statistics*, 2(4):367–374.
- TRAN, K. C. et TSIONAS, E. G. (2013). GMM estimation of stochastic frontier model with endogenous regressors. *Economics Letters*, 118(1):233–236.
- TRAN, K. C. et TSIONAS, E. G. (2015). Endogeneity in stochastic frontier models : Copula approach without external instruments. *Economics Letters*, 133:85–88.
- UZAWA, H. (1962). Production Functions with Constant Elasticities of Substitution. *The Review of Economic Studies*, 29(4):291–299.
- WANG, H.-J. (2002). Heteroskedasticity and non-monotonic efficiency effects of a stochastic frontier models. *Journal of Productivity Analysis*, 18(3):241–253.
- WANG, H.-J. et HO, C.-W. (2010). Estimating fixed-effect panel stochastic frontier models by model transformation. *Journal of Econometrics*, 157(2):286–296.
- WANGEN, K. R. et BIORN, E. (2001). Individual Heterogeneity and Price Responses in Tobacco Consumption : A Two-Commodity Analysis of Unbalanced Panel Data. *Discussion Papers 294, Statistics Norway, Research Department*.

ZELLNER, A. (1962). An Efficient Method of Estimating Seemingly Unrelated Regressions and Tests for Aggregation Bias. *Journal of the American Statistical Association*, 57(298): 348-368.

Frontière de coût stochastique et performance des hôpitaux Québécois

Cette thèse étudie la performance des hôpitaux Québécois en utilisant une approche par le coût de production. La thèse est constituée de quatre chapitres. Le premier chapitre propose un modèle théorique permettant de décomposer l'inefficacité des unités de production entre l'inefficacité technique et l'inefficacité allocative. Le deuxième chapitre décrit la base de données sur les hôpitaux Québécois pour la période 1981 à 2009 en présentant les facteurs de production et les services de santé réalisés par les hôpitaux. Le troisième chapitre développe une méthode d'estimation prenant en compte l'hétérogénéité des unités de production et propose une décomposition originale de l'inefficacité dans le cadre de données de panel. La méthode d'estimation repose sur trois étapes d'estimation. La première étape consiste à estimer le système de demandes conditionnelles de facteurs de production par la Méthode des Moments Généralisée (MMG) pour tenir compte de l'endogénéité. La deuxième étape permet d'estimer l'inefficacité technique variante dans le temps en adaptant la méthodologie développée par Cornwell et al. (1990) pour la rendre opérationnelle dans le cadre d'un système. La troisième étape estime l'hétérogénéité observée et inobservée ainsi que l'inefficacité allocative en tenant compte du caractère non cylindré des panels. Enfin, le dernier chapitre présente une application empirique sur les hôpitaux Québécois pour la période 1981 à 2009. Les résultats donnent des indications sur la gestion des ressources au niveau hospitalier afin d'améliorer l'efficacité des hôpitaux.

Mots-clés : Économie de la production, Microéconométrie, Économie de la santé, Inefficacité

Stochastic cost frontier and the measurement of Quebec hospital performance.

This thesis explore the performance of Quebec hospitals by using a cost approach. The thesis consists of four chapters. The first chapter presents a theoretical model to decompose the inefficiency of production units into technical and allocative inefficiency. The second chapter describes the database on Quebec hospitals for the period 1981 to 2009 by presenting the production factors and the health services provided by the hospitals. The third chapter develops an estimation method that take into account decision unit heterogeneity and propose an original decomposition of the inefficiency in a panel data framework. The estimation method is based on three estimation steps. The first step is to estimate the system of conditional factor demand by the Generalized Method of Moments (GMM) to take into account endogeneity. The second step allows to estimate the technical inefficiency varying over time by adapting the methodology developed by Cornwell et al. (1990) for use with a system of equations. The third step estimates the observed and unobserved heterogeneity as well as the allocative inefficiency with unbalanced panels. Finally, the last chapter presents an empirical application to Quebec hospitals for the period 1981 to 2009. The results give prescription on the management of resources at the hospital level in order to improve hospital efficiency.

Keywords : Production economics, Microeconometrics, Health economics, Inefficiency