

# Les effets des dépenses d'infrastructures routières sur le développement économique du Québec

par

Denis Bolduc

Département d'économie et GREEN, Université Laval

Richard Laferrière

Centre de recherche sur les transports, Université de Montréal

Mai 2001

## Table des matières

Sommaire.....	3
1 Introduction.....	4
2 Revue de la littérature.....	6
2.1 Le contexte.....	6
2.2 Les approches à fonctions de production.....	7
2.3 Les approches à fonctions de coût.....	11
2.3.1 Analyse des retombées du stock de capital routier sur la fonction de coût.....	13
2.3.2 Analyse des effets du stock de capital public sur les demandes d'intrants.....	18
2.3.3 Analyse des retombées du stock de capital public sur la productivité des facteurs	19
2.3.4 Investissement optimal dans les infrastructures routières.....	23
3. Application du modèle au Québec.....	25
3.1 Le contexte.....	25
3.2 Modèle économétrique.....	26
3.3 Description des banques de données.....	28
3.3.1 Les données sur la main-d'œuvre.....	28
3.3.2 Les données sur le capital.....	29
3.3.3 Les données sur les matières premières.....	30
3.3.4 Les données sur l'énergie.....	30
3.3.5 Les variables de capital public.....	31
3.4 Analyse descriptive des données.....	31
4 Présentation du modèle économétrique.....	38
4.1 Estimation économétrique.....	41
5 Résultats de l'estimation du modèle économétrique.....	44
5.1 Résultats de l'estimation.....	44
5.1.1 Estimation des paramètres de la fonction translog.....	44
5.1.2 Élasticités de la fonction de coût par rapport au capital public.....	50
5.1.3 Bénéfices marginaux du capital routier.....	54
5.1.4 Taux de rendement social.....	55
5.1.5 Demande des facteurs de production.....	58
5.1.6 Rendements à l'échelle.....	58
5.1.7 Estimation des fonctions de demande par secteur d'activité.....	59
5.1.8 Décomposition de la productivité.....	62
6 Conclusion.....	64
Bibliographie.....	66

## Sommaire

Le présent rapport se veut une revue critique de la littérature de façon à permettre d'établir des fondements pour l'établissement du modèle économétrique qui est proposé au MTQ, ainsi que les résultats de l'analyse économétrique effectuée en exploitant des données québécoises. La revue de la littérature a mis en relief différentes méthodologies visant à établir les retombées des investissements en infrastructures de transport sur la productivité de l'économie.

À la lumière des études sur le sujet, il existe une forte présomption voulant les dépenses publiques d'infrastructures contribuent à accroître la productivité des différents secteurs de l'économie. Des formulations économiques différentes tendent à montrer qu'une telle relation existe, mais que l'ampleur de la contribution des investissements en infrastructures sur la productivité de l'économie ne fait pas consensus.

Les études présentées dans ce rapport comportent toutes une lacune sur le plan de l'information publiée. La revue de la littérature permet de cerner un certain nombre de paramètres critiques concernant l'effet sur l'économie des infrastructures publiques ou routières : élasticité de la fonction de production ( $\gamma$ ), la productivité marginale du stock routier ( $Pm_R$ ), l'élasticité de la fonction de coût par rapport au stock routier ( $\eta_{CR}$ ), les bénéfices marginaux ( $BM_R$ ) associés à une augmentation du stock routier, son effet ( $EC_R$ ) sur le taux de croissance de la productivité des facteurs de production, le taux de rendement social net (t.r.s.n.) associé à ce stock.

Tous ces estimateurs possèdent une distribution statistique. Il est important de la connaître, car elle révèle de l'information sur le degré d'incertitude associée à l'évaluation du paramètre. Par exemple, une élasticité de la fonction de coût par rapport au stock de capital routier ( $\eta_{CR}$ ) estimée à  $-0,08$  s'avère être assez forte si la distribution statistique de ce paramètre est très centrée autour de cette valeur. Toutefois, une distribution « plus large » pourrait indiquer qu'en fait le paramètre  $\eta_{CR}$  n'est pas vraiment différent de 0 ou de  $-0,20$ . L'estimation du paramètre est sans contredit une source d'information importante; en connaître la distribution l'est tout autant.

# 1 Introduction

Sur la base des résultats de plusieurs études visant à évaluer les répercussions des dépenses en infrastructures routières sur la croissance des secteurs économiques nationaux, nous constatons que ces dépenses sont généralement bénéfiques, tant du point de vue économique que social. Quoique la direction de causalité semble être bien définie, un survol de la littérature permet d'observer une très grande variabilité dans l'ampleur que prennent ces effets. Les analyses effectuées au niveau national indiquent généralement une plus grande portée de ces effets que ce que démontrent des études régionales ou locales, à savoir dans des États ou des administrations locales. Cette tendance ressort aussi dans les analyses effectuées par secteur d'activité. Les autres sources de cette variabilité sont d'ordre économétrique.

Dans un contexte de réduction des dépenses publiques, cette ligne de recherche prend une importance évidente pour le ministère des Transports du Québec (MTQ), car elle lui permet d'appuyer ses demandes de crédits auprès du Conseil du trésor. Il devient ainsi impératif de quantifier avec précision l'importance des retombées économiques qu'ont les dépenses publiques québécoises sur les infrastructures routières.

L'étude de Nadiri et Mamuneas (1996), intitulée *Contribution of Highway Capital to Industry and National Productivity Growth*, représente certainement l'analyse économétrique de ce problème la plus formelle et complète effectuée jusqu'à présent. Prenant comme points de départ cette étude ainsi que sa mise à jour publiée en 1998, l'objectif principal de la présente recherche vise le développement d'un modèle économétrique qui améliore certains aspects techniques concernant le modèle de Nadiri et Mamuneas et qui prend en compte les caractéristiques propres à l'économie québécoise. La justification est évidemment de pouvoir obtenir la plus grande précision en regard de l'ampleur des effets des dépenses en infrastructures routières québécoises sur les divers secteurs d'activité.

Plus spécifiquement, il s'agit de formuler un modèle qui possède les éléments pour répondre de la meilleure façon possible aux questions suivantes :

- Quel est le taux de rendement social net des investissements routiers ? Quelle a été son évolution de 1962 à 1996 ? Comment ce taux se compare-t-il à celui des investissements privés ?
- Quels secteurs d'activité tirent le plus avantage des investissements routiers ?
- Quel est le niveau optimal des investissements routiers, c'est-à-dire celui qui est compatible avec le taux de croissance économique désiré ?

Le présent rapport comprend dans un premier temps une revue critique de la littérature de façon à permettre d'établir des fondements pour l'établissement du modèle économétrique qui est proposé au MTQ. Par la suite, nous introduisons la formulation économétrique qui découle de notre analyse de la problématique. Finalement, nous décrivons et analysons les résultats des estimations économétriques effectuées en utilisant des données québécoises.

Comme ce rapport veut en grande partie appliquer la méthodologie de Nadiri et Mamuneas (1998) au contexte de l'économie québécoise, plusieurs des tableaux produisant des résultats et

certaines analyses sont inspirés de ceux qui sont présentés dans leur étude, l'objectif étant de permettre au lecteur de pouvoir faire plus facilement des comparaisons. Nous avons tenté de rédiger ce document de manière à couvrir et présenter de façon exhaustive le matériel requis pour sa compréhension.

Contrairement à Nadiri et Mamuneas, dont l'étude touche tous les secteurs de l'économie américaine, nous nous concentrons uniquement sur les industries de transformation. Dans nos travaux préliminaires, nous avons envisagé couvrir aussi les autres secteurs, mais nos premiers résultats nous ont forcés à conclure qu'il serait nécessaire d'affecter beaucoup plus de ressources que prévu à la collecte de données fiables pour ces secteurs. Pour des raisons liées à la qualité des données disponibles, nous avons donc décidé de laisser tomber cette dimension.

## 2 Revue de la littérature

### 2.1 Le contexte

Dans cette section du rapport ressortent les points importants de la littérature permettant d'établir les fondements du modèle économétrique qui est proposé au MTQ pour quantifier la relation entre investissements publics en infrastructures et productivité économique. Dans leur étude, Nadiri et Mamuneas (1996) incluent une revue exhaustive des travaux sur le sujet et proposent aussi le modèle qui sert maintenant de référence dans le domaine. La littérature propose essentiellement deux types d'approches pour traiter ce problème économique. Une première catégorie repose sur des relations qui requièrent l'estimation de fonctions économiques de production. La seconde catégorie, fondée sur l'estimation de fonctions de coût, a pris racine quelques années après et a été proposée afin de régler de nombreux problèmes qui limitaient l'utilité de l'estimation de fonctions de production. Les avantages incontestables de l'approche par les fonctions de coût comparés à ceux des fonctions de production sont d'ailleurs très bien détaillés dans leur étude. L'élément comparatif dominant tient au fait qu'exploiter la fonction de coût permet d'introduire dans les modèles le comportement de la firme à la fois pour ce qui touche le niveau de production à atteindre que les décisions quant à l'embauche des ressources pour la production.

Comme nous le verrons, le modèle de Nadiri et Mamuneas peut être amélioré tant au point de vue de la formulation des relations que sur des aspects purement économétriques. Le résultat définitif de ces perfectionnements techniques se traduit par des estimations plus appropriées et plus précises. Lorsque nous considérons que des variations même faibles de paramètres estimés peuvent se traduire en millions de dollars, il est primordial d'employer les méthodes économétriques les plus performantes sur le plan statistique.

Les premières études tentaient d'expliquer le ralentissement de croissance qu'a connu l'économie occidentale du début des années 70 au milieu des années 80. Parmi les causes avancées de ce ralentissement, se trouvait évidemment la crise énergétique. (Munnell, 1990). Un autre facteur mis de l'avant était la réduction du prix relatif du travail, qui aurait favorisé une substitution vers ce facteur, ce qui aurait contribué à un ralentissement de la productivité. Par ailleurs, d'autres chercheurs ont émis l'hypothèse que le ralentissement des dépenses gouvernementales dans les infrastructures publiques (transport, aéroports, égout, distribution de l'eau) pourrait constituer un facteur additionnel contribuant au fléchissement de la croissance de l'économie occidentale (Aschauer 1989a, 1989b).

Selon Aschauer, le capital public investi dans les infrastructures publiques est celui qui modifie le plus la productivité de l'économie, à savoir qu'une hausse de 1,0 % de cette catégorie contribue à accroître la productivité de 0,24 %. Selon ses dires, si les dépenses américaines en infrastructures depuis 1970 avaient été comparables à celles en vigueur durant la période 1950-1970, la croissance de la productivité américaine aurait été de 50 % plus élevée. Khanam (1996) obtient des résultats similaires pour le contexte canadien. En effet, elle démontre que les dépenses en infrastructures de transport ont un effet significatif sur l'économie canadienne. D'après son

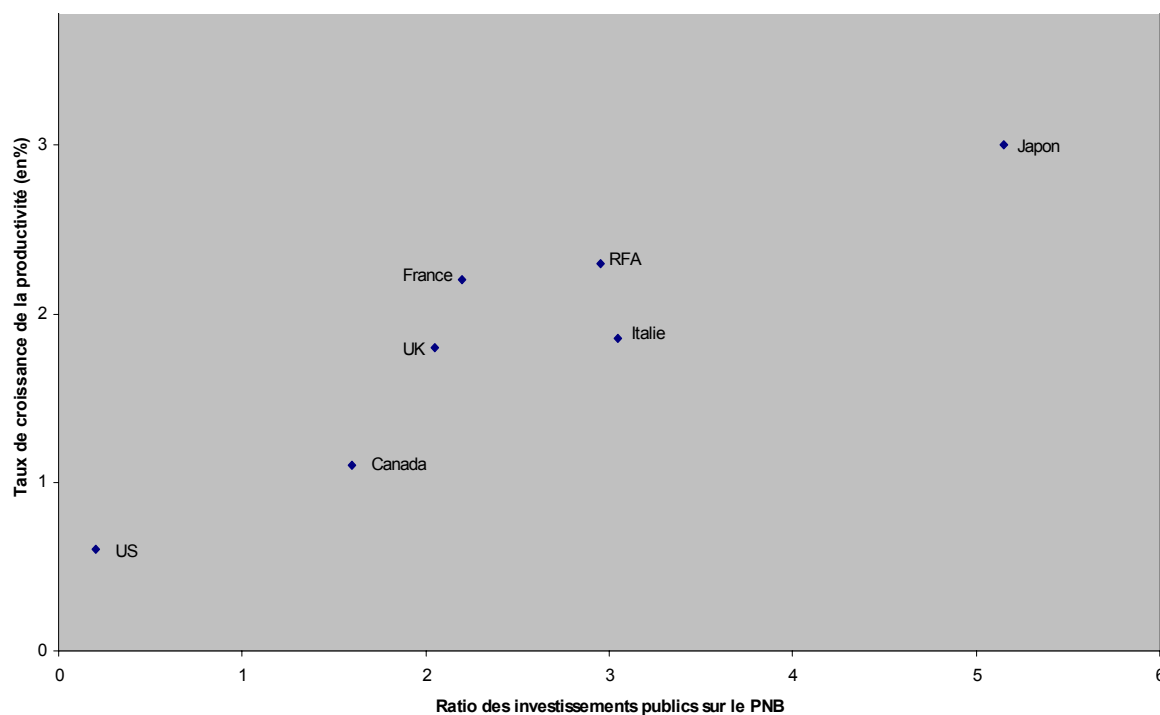
étude, une hausse de 1 % des réserves de capital destinées aux infrastructures de transport augmenterait la production de l'économie canadienne entre 0,085 % et 0,36 %, selon la période considérée. La production québécoise pourrait augmenter, en moyenne, de 0,1 %.

Les deux sections suivantes résument les points essentiels touchant les diverses études économétriques qui visent à estimer les retombées des dépenses publiques en infrastructures sur l'économie. Les travaux basés sur l'estimation des fonctions de production sont traités dans la section 2.2 alors que la section 2.3 porte sur les résultats des études qui reposent sur une estimation de fonctions de coût.

## 2.2 Les approches à fonctions de production

Malgré les réserves déjà émises en regard des approches basées sur les fonctions de production, il est tout de même utile de résumer techniquement la littérature à cet effet. Ceci tient surtout au fait que certains des concepts présentés ici reviennent dans les sections subséquentes.

Graphique 1 : Investissements publics et productivité



Source: Aschauer (1989a)

Le graphique 1 met en lumière une observation effectuée par Aschauer (1989a) qui illustre bien le thème de cette revue de la littérature. Il exprime l'investissement public du G7, le groupe des sept pays les plus industrialisés, mesuré en pourcentage du produit national brut (PNB) en fonction du niveau national de productivité au cours des années 80. La relation apparaît très directe : les pays ayant un taux de croissance élevé de productivité ont aussi un ratio plus élevé des investissements publics sur le PNB. Ce constat ne constitue certes pas une preuve, mais suggère cependant à approfondir la relation entre les investissements publics et la productivité.

En vue de décrire plus formellement le lien entre la productivité et les investissements publics, il est utile de présenter quelques éléments de base de la théorie économique de la production. Cette théorie est fondée sur l'hypothèse que les firmes maximisent leurs profits. La production ( $Y$ ) de la firme est supposée être directement liée aux principaux intrants, soit le travail ( $L$ ) et le capital ( $K$ ), par l'intermédiaire d'une relation algébrique nommée fonction de production. Les formes algébriques retenues pour les fonctions de production varient selon le type de bien produit et selon la technologie qui caractérise les interrelations des deux intrants.

Pour capter les effets des investissements publics sur la production, Aschauer (1989b) ajoute aux intrants habituels d'une fonction de production une variable ( $S$ ) qui permet de mesurer les réserves de capital destinées aux infrastructures publiques (ou stock de capital public). À l'aide de séries chronologiques, il a pu estimer la fonction de production globale suivante :

$$Y = A K^\alpha L^\beta S^\gamma, \quad (2.1)$$

où  $Y$  représente le niveau de production américain du secteur privé,  $K$  est le stock de capital privé,  $L$  le travail et  $S$  le stock de capital public non militaire. Cette dernière variable comprend toutes les dépenses en infrastructures routières ainsi que les autres dépenses en infrastructures, comme celles qui sont liées à la construction d'écoles, la construction d'hôpitaux, la mise en place de l'aqueduc et l'égout, des équipements de transport public. Certains auteurs utilisent une définition plus restreinte de la variable  $S$  qui est axée, par exemple, uniquement sur les infrastructures routières. Dans ce cas précis, nous utiliserons comme notation la lettre  $R$ . La variable  $S$  que nous utilisons ici renvoie à des dépenses publiques en infrastructures, au sens large.

Les paramètres  $A$ ,  $\alpha$ ,  $\beta$  et  $\gamma$  sont estimés à l'aide d'une technique de régression multiple conventionnelle. La forme fonctionnelle retenue à l'équation (2.1) correspond à une production de type Cobb-Douglas, laquelle permet aux intrants d'être des substituts de production. Les paramètres de la relation en (2.1) ont une signification bien particulière en économie : ils représentent l'élasticité de l'output par rapport aux facteurs de production. Par exemple, le paramètre  $\alpha$  représente l'élasticité de la production par rapport au stock de capital ( $K$ ). Il s'interprète comme suit : une augmentation de 1 % du stock de capital  $K$  entraîne un accroissement de l'output de  $\alpha$  %. Le paramètre  $\beta$  mesure l'élasticité de la production par rapport au travail ( $L$ ), alors que  $\gamma$  représente l'élasticité de la production par rapport au stock d'infrastructures ( $S$ ).



Aux fins d'interprétation, il est utile d'examiner la définition du paramètre  $\gamma$ . Ce dernier est constitué de deux éléments : la productivité marginale du stock de capital public ( $P_{mS}$ ) et le ratio ( $S/Y$ ). La productivité marginale de stock de capital public ( $P_{mS}$ ) mesure l'importance de l'accroissement de la production  $Y$  à la suite d'un accroissement infime du stock  $S$ .

$$\gamma = (\partial Y / \partial S) (S/Y) \quad (2.2)$$

$$\gamma = P_{mS} (S/Y) \quad (2.3)$$

Les différentes études citées au tableau 1 produisent des valeurs de  $\gamma$  qui varient principalement pour les raisons suivantes :

- la définition géographique des données utilisées pour l'estimation;
- la technique économétrique retenue pour tenir compte de l'aspect chronologique des données;
- la définition du stock d'infrastructures publiques.

Tableau 1 : Estimations des élasticités de l'output par rapport au stock d'infrastructures

Étude	Pays	Niveau d'analyse	Infrastructures considérées	Élasticité de l'output par rapport à l'infrastructure ( $\gamma$ )
Aschauer (1989b)	É.-U.	National	Capital public <sup>1</sup>	0,39 à 0,56
Hulten et Schwabb (1991)	É.-U.	National	Capital public	0,02 à 0,42
Khanam (1996)	Canada	National	Capital routier	0,24 à 0,46
Munnell (1990)	É.-U.	National	Capital public	0,33 à 0,41
Munnell (1990)	É.-U.	États	Capital public	0,15
Garcia-Mila et McGuire (1992)	É.-U.	États	Capital routier	0,13
Khanam (1996)	Canada	Province	Capital routier	0,08 à 0,12
Tatom (1991)	É.-U.	États	Capital public	0,15*

\* coefficient statistiquement non significatif

Khanam (1996) a estimé une fonction de production similaire à (2.1) pour le Canada durant la période de 1961 à 1994. Dans cette étude, la variable  $S$  représente le stock de capital routier au Canada. Selon les hypothèses postulées concernant la fonction de production, le paramètre  $\gamma$  estimé dans les relations définies au niveau national varie de 0,24 à 0,46. Ce résultat implique qu'une augmentation de 1 % du stock de capital routier entraîne une augmentation de la production réelle canadienne entre 0,24 % et 0,46 %. Ces ordres de grandeur sont considérables.

Pour apprécier différemment ce résultat, il est indiqué d'examiner la productivité marginale du stock routier ( $P_{mS}$ ) sous-jacente. Selon les calculs produits dans cette étude, un accroissement de 1 \$ du stock de capital routier entraîne une augmentation de la production entre 0,96 \$ et 1,88 \$. C'est donc dire que les dépenses gouvernementales se paient d'elles-mêmes à l'intérieur d'un an en ce qui a trait à l'accroissement de la production. À la suite de l'étude d'Aschauer (1989b), plusieurs articles scientifiques ont porté sur différentes formulations économétriques en vue d'estimer adéquatement le paramètre  $\gamma$ . La grande variabilité observée dans les valeurs produites

<sup>1</sup> Le capital public représente toutes les infrastructures financées par du capital public.

pour  $\gamma$  au tableau 1 démontre clairement un problème. Les raisons mentionnées dans l'étude de Nadiri et Mamuneas (1996) sont tout à fait défendables. Selon eux, une cause majeure de cette grande variabilité tient au fait que l'approche à fonction de production manque de flexibilité. Elle considère les valeurs des intrants de production comme étant fixées et ne tient pas compte ainsi de toute information relative aux décisions d'optimisation des firmes qui cherchent à exploiter la combinaison optimale des intrants de façon à maximiser leurs profits.

Leur seconde critique sérieuse est d'ordre économétrique. La corrélation positive observée entre le capital public et la production peut être attribuable à des effets autres que ceux impliquant une causalité directe précise. Le terme technique pour décrire ce phénomène est « corrélation fallacieuse » (spurious correlation). Deux variables non reliées peuvent sembler être corrélées seulement parce qu'elles dépendent d'une variable commune. Une fois cet effet enlevé, la relation structurelle disparaît. La solution consiste généralement à estimer un modèle à séries temporelles exprimé en différence première par rapport au temps. Les estimations de Tatom (1991) confirment la disparition d'effets de causalité lorsque les modèles sont exprimés en différence.

L'analyse basée sur l'équation (2.1) révèle l'existence d'une relation technologique entre la production et les facteurs productifs. En réalité, les décisions des firmes ne sont pas uniquement basées sur une fonction de production. En effet, les coûts des facteurs de production ainsi que les prix des produits jouent un rôle déterminant pour expliquer l'utilisation des facteurs de production ainsi que le niveau de production. Le cadre conceptuel d'analyse doit donc être élargi en vue de reconnaître cette réalité.

À la lumière de ces études, les conclusions suivantes émergent :

- 1) certaines catégories de capital public ont davantage de retombées que d'autres;
- 2) les estimations obtenues avec des données nationales tendent à surévaluer la portée du capital public par rapport à des études basées sur des données régionales;
- 3) les estimations du paramètre  $\gamma$  ne sont pas invariantes par rapport au processus dynamique utilisé.

### 2.3 Les approches à fonctions de coût

Dans cette section, nous présentons un cadre méthodologique qui vise à prendre en compte les décisions d'optimisation des firmes. Cette approche se base sur l'estimation de fonctions de coût initialement présentée par Nadiri et Mamuneas (1996). Elle permet de mieux représenter le processus d'optimisation des firmes, de corriger plus facilement les problèmes économétriques et surtout de produire une décomposition intuitivement utile du rôle de l'investissement public dans toutes dimensions qui jouent sur la production. Tout comme dans le cas à fonction de production, il est possible de produire un paramètre de sensibilité aux investissements routiers comparable d'un point de vue conceptuel au paramètre  $\gamma$ . Les travaux effectués ultérieurement à cette étude incluent généralement leur modèle ou des versions modifiées de leur modèle.

L'approche par les fonctions de coût est plus globale que l'approche à fonction de production car elle reconnaît explicitement que les décisions portant sur les quantités de facteurs à utiliser pour la production de biens sont sous le contrôle des firmes. Afin d'établir immédiatement la notation du modèle complet que nous proposons d'estimer, considérons une entreprise qui produit un bien à partir de quatre intrants qui sont : le capital ( $K$ ), le travail ( $L$ ), l'énergie ( $E$ ) et les matières premières ( $M$ ). Nous parlons alors d'un processus de production de type  $KLEM$ .<sup>2</sup> Dans le présent contexte, le coût total de production ( $CT$ ) est égal à la somme des dépenses affectées aux quatre intrants :

$$CT = P_K K + P_L L + P_E E + P_M M,$$

où les coûts (prix) des intrants capital ( $K$ ), travail ( $L$ ), énergie ( $E$ ) et matières premières ( $M$ ) sont respectivement représentés par  $P_K$ ,  $P_L$ ,  $P_E$  et  $P_M$ . Par hypothèse, nous nous plaçons dans un contexte où les producteurs prennent ces prix comme donnés. Par ailleurs, nous appelons « fonction de coût » la valeur minimale du coût permettant de produire une quantité donnée de la production  $Y$ . Nous définissons cette fonction comme suit :

$$CT = C(Y, P_K, P_L, P_E, P_M). \quad (2.4)$$

La fonction économique de coût de production s'obtient à partir de la simple définition de coût total de production en remplaçant les variables  $K$ ,  $L$ ,  $E$  et  $M$  par des fonctions exprimées en termes des prix des intrants et de  $Y$ . La fonction économique de coût de production découle de la question suivante : Quel serait le coût minimal pour obtenir un niveau donné de production, par exemple  $Y_0$ ? Pour répondre à cette question, il est nécessaire d'évaluer les quantités optimales des intrants requises pour produire le niveau donné  $Y_0$ . Les quantités optimales d'intrants sont celles qui minimisent le coût de production. Les relations fournissant ces quantités optimales correspondent techniquement aux demandes d'intrants. Sans entrer dans les détails de la théorie économique de la production et de la dérivation des fonctions de demande d'intrants, il est relativement naturel de concevoir que la quantité de chacun des intrants qui minimise le coût de production dépendra évidemment :

<sup>2</sup> Fuss (1977), constitue l'une des premières applications d'une approche  $KLEM$ .

- du prix du facteur de production;
- du prix des autres facteurs de production;
- de la quantité d'output à produire.

La fonction de coût de production d'un niveau donné d'output est donc obtenue en substituant les fonctions de demande des intrants dans la définition du coût total. Le résultat de cette opération engendre une fonction qui dépend du niveau de production ( $Y$ ) et des prix des facteurs de production, ce qui produit les relations suivantes<sup>3</sup> :

$$CT(Y) = P_K K(Y, P_K, P_L, P_E, P_M) + P_L L(Y, P_K, P_L, P_E, P_M) + P_E E(Y, P_K, P_L, P_E, P_M) + P_M M(Y, P_K, P_L, P_E, P_M), \quad (2.5)$$

$$CT(Y) = C(Y, P_K, P_L, P_E, P_M). \quad (2.6)$$

Cette dernière équation correspond bien à la relation de coût économique introduite à la page précédente. Les équations (2.4) à (2.6) résument la théorie classique de la production.

Techniquement, la forme fonctionnelle  $C(\bullet)$  de l'équation (2.6) dépend directement de la forme fonctionnelle retenue pour décrire la production en (2.1).

Nous avançons que la fonction de coût économique en (2.6) est continue (différentiable) par rapport à ses arguments  $Y, P_K, P_L, P_E$  et  $P_M$ . Tout comme nous l'avons constaté dans la section décrivant l'approche à fonctions de production, des facteurs autres que les intrants directement sous le contrôle de l'entreprise peuvent aussi modifier le niveau de production. Par exemple, dans les études présentées à la section 2.2, les auteurs évaluent l'effet du capital public sur la production en insérant ce facteur à l'intérieur de la fonction de production [voir équation (2.1)]. Aux fins de généralité, nous ajoutons à la fonction de production privée,  $Y = Y(K, L, E, M)$ , les variables  $R, S$  et  $T$ . Les variables  $R$  et  $S$  représentent respectivement le stock d'infrastructures routières et le stock d'infrastructures non routières alors que  $T$  est une variable permettant de mesurer le progrès technique. La conséquence directe d'inclure ces intrants non privés dans la fonction de production est que nous les retrouvons automatiquement à l'intérieur de la fonction de coût. Ce résultat découle de la substitution effectuée en (2.5). Nous obtenons donc :

$$CT(Y) = C(Y, P_K, P_L, P_E, P_M, R, S, T), \quad (2.7)$$

où

$$Y = Y(K, L, E, M, R, S, T), \quad (2.8)$$

décrit la technologie de production. Dès lors, la fonction de coût améliorée permet de mesurer de manière explicite l'effet des investissements des infrastructures ( $R$  et  $S$ ) sur les coûts de production. De même, les retombées du progrès technologique ( $T$ ) sur les coûts de production peuvent être mesurées. Les effets de ces facteurs sur la production découlent pour leur part de la relation (2.8).

---

<sup>3</sup> Une présentation formelle de la théorie économique de la production se retrouve dans Hirshleifer et Glazer (1992).

### 2.3.1 Analyse des retombées du stock de capital routier sur la fonction de coût

Le paramètre critique de l'analyse consiste à connaître dans quelle mesure la variable  $R$  influe sur les coûts de production ( $CT$ ) des entreprises. En vue de mesurer ces conséquences, les auteurs présentent l'élasticité de la fonction de coût ( $\eta_{CR}$ ) par rapport à la variable  $R$ . L'interprétation du paramètre  $\eta_{CR}$ , généralement trouvé négatif, se fait comme suit : une augmentation de 1 % du stock de capital public entraîne une diminution du coût de production de  $\eta_{CR}$  %.

En utilisant les équations (2.7) et (2.8) et en prenant une dérivée partielle par rapport à  $R$ , nous obtenons une décomposition très utile pour l'interprétation :

$$\frac{\partial C}{\partial R} = \frac{\partial C}{\partial R} \Big|_Y + \frac{\partial C}{\partial Y} \frac{\partial Y}{\partial R}. \quad (2.9)$$

La première composante représente l'effet sur les coûts  $C = CT$  d'accroître les dépenses en capital public en maintenant l'output à son niveau actuel. La seconde composante capte la réaction sur les coûts en tenant compte de l'influence de l'accroissement de  $R$  sur la production  $Y$ . Lorsqu'elle est traduite en terme d'élasticité, cette relation devient :

$$\eta_{CR} = \eta_{CR\_Y} + \eta_{CY} \cdot \eta_{YR}. \quad (2.10)$$

Donc, le changement en pourcentage du coût attribuable à un accroissement du volume total d'infrastructures routières se décompose en une somme d'élasticité de  $C$  par rapport à  $R$  pour un niveau fixe d'output  $Y$ , plus un effet qui résulte directement de la modification de la production  $Y$  suivant l'amélioration de l'infrastructure routière. L'élasticité  $\eta_{YR}$  mesure la hausse de la production qui survient à la suite de l'augmentation de  $R$ , alors que  $\eta_{CY}$  quantifie l'accroissement du coût qui découle de cette augmentation de la production. La première composante correspond donc à l'effet de court terme sur les coûts, à niveau de  $Y$  donné. Généralement, ce terme devrait être négatif. Pour sa part, la seconde composante décrit l'ajustement à long terme. Le signe de cet effet étant généralement positif, l'élasticité  $\eta_{CR}$  de long terme devrait être beaucoup plus faible en valeur absolue que l'effet de court terme.

Cette section traite des résultats empiriques des trois études les plus représentatives de la littérature concernant l'évaluation des effets économiques des infrastructures publiques au moyen d'une approche à fonctions de coût. Nadiri et Mamuneas (1996, 1998) considèrent des données américaines alors que l'étude de Khanam (1999) concerne des données canadiennes. Les études de Nadiri et Mamuneas sont intéressantes dans la mesure où l'effort de modélisation est très élevé. En premier lieu, l'analyse s'effectue au niveau des secteurs de production par opposition à plusieurs autres études définies à un niveau agrégé de l'économie. L'approche désagrégée, c'est-à-dire spécifiée à un niveau microscopique de l'économie permet d'éviter le problème de biais d'agrégation qui caractérise habituellement une approche agrégée. De plus, l'analyse économétrique permet d'isoler plus clairement les effets sur la productivité engendrés par les infrastructures publiques. Dans leurs études, Nadiri et Mamuneas ont considéré seulement une

version qui inclut les intrants  $KLM$ , et qui exclut l'intrant énergie  $E$ . L'étude de Nadiri et Mamuneas de 1998 diffère de celle de 1996 selon les dimensions suivantes :

- la spécification théorique de la fonction de coût;
- la distinction entre stock de capital routier et autres dépenses publiques d'infrastructure comme facteurs influant sur les coûts de production;
- l'étude de 1996 porte sur la période 1950-1989, et celle de 1998 porte sur la période 1950-1991;
- le calcul d'un effet conditionnel à une valeur donnée de l'output  $\eta_{CR\_Y}$  et le calcul d'un effet en permettant à l'output de s'ajuster ( $\eta_{CR}$  tel qu'il est décomposé à l'équation 2.10).
- la révision des définitions des 35 secteurs d'activités économiques comprises dans l'analyse.

Jusqu'à maintenant, la seule caractéristique énoncée touchant la fonction de coût de l'équation (2.7) est la continuité par rapport à ses arguments. La forme fonctionnelle  $C(\bullet)$  est, à ce point-ci de notre présentation, non spécifiée. De façon à pouvoir traiter analytiquement toute fonction continue raisonnable pour représenter la technologie de coût, la pratique consiste à approcher la fonction  $C(\bullet)$  par une approximation mathématique. Il existe deux formes populaires souvent utilisées qui sont la Leontief généralisée et la translog. Nadiri et Mamuneas (1996) ont exploité la première forme, alors que dans leur étude de 1998 ils ont retenu la translog. Techniquement, cette dernière constitue un développement de Taylor limité au deuxième ordre, dont les arguments sont exprimés sous la forme d'un logarithme naturel. Comme les auteurs le soulignent eux-mêmes, l'utilisation dans leur seconde étude d'une fonction de coût translog plutôt qu'une Leontief généralisée (plus spécifiquement une forme fonctionnelle de type McFadden normalisée symétrique) est attribuable au fait que la translog est plus malléable et plus facile d'utilisation. Ils soutiennent de plus qu'après avoir effectué divers tests, ils en sont venu à la conclusion que la translog et la McFadden donnaient des résultats semblables sur de mêmes ensembles de données.

Si nous comparons les résultats de ces deux études, nous constatons des différences importantes. L'une se situe sur le plan des retombées mesurées des dépenses publiques d'infrastructures. Dans l'étude de 1998, le niveau absolu des valeurs est plus faible. À notre avis, la raison majeure des changements observés dans les valeurs estimées des coefficients vient de l'utilisation simultanée de deux variables de capital public (le stock de capital routier et les autres dépenses publiques d'infrastructures) plutôt que d'une seule, comme c'était le cas dans l'étude de 1996. La translog peut facilement permettre l'inclusion de deux variables de capital public, alors que la McFadden le fait plus difficilement. C'est d'ailleurs la raison principale qui a poussé ces auteurs à utiliser une forme alternative. Nous attribuons donc les changements dans les valeurs estimées des paramètres à l'omission de variables. Il est bien connu en économétrie que d'omettre une variable importante modifie les propriétés d'estimation de tous les paramètres du modèle.

Les révisions concernant les définitions des 35 secteurs d'activité incluses dans l'analyse peuvent aussi compter un peu pour ces changements. L'ajout de deux années d'observation à l'ensemble ne peut causer beaucoup de modifications des résultats de l'analyse à moins qu'il y ait multicolinéarité. L'utilisation de données macroéconomiques agrégées qui comportent des tendances similaires est souvent la cause pratique de ce problème. Ce dernier est aussi lié au problème de corrélation fallacieuse traité plus haut. Multicolinéarité et corrélation fallacieuse

sont toutefois deux problématiques très distinctes. C'est pourquoi il faut faire preuve de prudence devant la corrélation fallacieuse, car les estimateurs des moindres carrés ordinaires (MCO) perdent alors toutes leurs bonnes propriétés. La solution réside dans l'estimation des relations exprimées en différence première ou encore l'inclusion de variables de tendances dans un modèle exprimé en niveau.

L'analyse de Khanam (1999) a le mérite d'apporter un pendant canadien aux études de Nadiri et Mamuneas. Le modèle de Khanam est plus restrictif que celui de Nadiri et Mamuneas, car il porte sur la production agrégée de l'économie sans distinction par secteur d'activité. En particulier, la forme fonctionnelle de la fonction de coût retenue est une translog contrainte pour respecter l'hypothèse de rendements constants par rapport à l'échelle. Les rendements sont constants à l'échelle lorsqu'une augmentation de 1 % de *tous* les intrants augmente l'output de 1 %. Techniquement, le coefficient de l'output dans la fonction de coût est fixé à 1 dans une version forcée de respecter l'hypothèse de l'homothétie. Il aurait été préférable de laisser le coefficient libre pour ainsi permettre aux rendements de prendre la valeur qui se reflète dans l'échantillon. Une autre façon de faire aurait été d'effectuer un test formel permettant de vérifier l'unicité du rendement à l'échelle. Imposer des restrictions fausses biaise l'estimation des autres paramètres du modèle. Mis à part une évidence empirique canadienne, cet article ne fournit pas d'outils analytiques majeurs qui vont au-delà des recherches de Nadiri et Mamuneas.

Le tableau 2 fournit les comparaisons des résultats obtenus par ces trois études, portant sur les retombées globales sur l'économie. Les résultats des études de Nadiri et Mamuneas correspondent à une sommation pondérée des effets répartis selon 35 secteurs d'activité, le poids d'une industrie représentant le ratio du coût de l'industrie sur le coût total. La révision en 1998 de la première étude de Nadiri et Mamuneas a permis de doubler les effets globaux du capital public sur les coûts de production privée.

Tableau 2 : Les élasticités globales du coût de production

Étude	Élasticité du coût par rapport à $R$ ( $\eta_{CR}$ )
Nadiri et Mamuneas (1996)	-0,044
Nadiri et Mamuneas (1998)	-0,080
Khanam (1999)	-0,19 à -0,22

Comme l'indique le tableau 3, les résultats globaux du tableau 2 cachent des réalités bien différentes lorsqu'ils sont examinés par secteur d'activité.

La colonne 3 du tableau 3 contient les élasticités ( $\eta_{CR}$ ) de la fonction de coût par rapport à la variable  $R$  obtenues dans l'étude de 1996. Il faut mentionner que, dans l'étude de 1996, seul l'effet à valeur fixe de l'output, ( la composante 1 de l'équation 2.10) était calculé. Le signe attendu pour le paramètre  $\eta_{CR}$  est négatif, ce qui indique qu'une augmentation du stock de capital public devrait contribuer à réduire les coûts privés de production. Pour la majorité des secteurs, les résultats sont conformes aux attentes. En effet, pour les 21 industries de transformation, une hausse de 1 % des dépenses d'infrastructures routières signifie une réduction des frais d'exploitation de l'ordre de 0,14 % à 0,22 %. Les industries de transformation (7 à 27) bénéficient donc des investissements routiers. Celle qui en tire le plus grand avantage est

l'industrie 8, produits du tabac (-0,22 %). La plus modeste réduction des coûts de production dans les industries de transformation se retrouve avec les industries 10 (appareils et autres produits du textile, -0,146 %) et 27 (appareils manufacturiers divers, -0,147%).

Tableau 3 : Les élasticités par industrie de la fonction de coût de Nadiri et Mamuneas (1996 et 1998)

1) Numéro	2) Secteur d'activité	Élasticité ( $\eta_{CR}$ )		
		3) 96	4) 98	5) Var. en %
1	Agriculture, forêt et pêche	+0,053	-0,081	-252,8%
2	Minerai métallique	+0,046	+0,024	-47,8%
3	Mine de charbon	+0,049	-0,002	-104,1%
4	Pétrole brut et gaz naturel	+0,065	-0,053	-181,5%
5	Minerai non métallique	+0,059	+0,009	-84,7%
6	Construction	+0,068	-0,104	-252,9%
7	Aliments et boissons	-0,168	-0,089	47,0%
8	Produits du tabac	-0,225	-0,024	89,3%
9	Produits du textile	-0,150	-0,039	74,0%
10	Appareils et autres produits du textile	-0,146	-0,037	74,7%
11	Produits du bois	-0,164	-0,051	68,9%
12	Meubles et accessoires d'ameublement	-0,159	-0,017	89,3%
13	Papier et produits connexes	-0,168	-0,047	72,0%
14	Imprimerie, édition et produits connexes	-0,202	-0,056	72,3%
15	Industrie chimique et produits connexes	-0,156	-0,062	60,3%
16	Produits dérivés du pétrole	-0,174	-0,050	71,3%
17	Produits du caoutchouc et plastique	-0,163	-0,041	74,8%
18	Produits du cuir	-0,168	+0,004	102,4%
19	Produits minéraux non métalliques	-0,177	-0,033	81,4%
20	Produits métalliques primaires	-0,216	-0,060	72,2%
21	Produits métalliques usinés	-0,173	-0,054	68,8%
22	Machinerie (sauf le matériel électrique)	-0,155	-0,052	66,5%
23	Appareils et matériel électriques	-0,152	-0,048	68,4%
24	Véhicules motorisés	-0,190	-0,067	64,7%
25	Autre matériel de transport	-0,166	-0,060	63,9%
26	Instruments	-0,187	-0,015	92,0%
27	Appareils manufacturiers divers	-0,147	-0,018	87,8%
28	Transport et entreposage	+0,029	-0,081	-379,3%
29	Communications	+0,026	-0,049	-288,5%
30	Industrie de l'électricité	+0,035	-0,058	-265,7%
31	Industrie du gaz	+0,021	-0,047	-323,8%
32	Commerce	+0,021	-0,110	-623,8%
33	Finance, assurance et immobilier	+0,024	-0,104	-533,3%
34	Autres services	+0,032	-0,113	-453,1%
35	Gouvernement	+0,024	-0,043	-279,2%
	Global	-0,044	-0,080	-81,8%

Cependant, pour les autres secteurs également analysés (les industries 1 à 6 et 28 à 35), l'hypothèse de réduction des coûts de production n'est pas vérifiée. En effet, pour ces derniers, une hausse des dépenses d'infrastructures routières de 1 % entraîne une hausse des frais



d'exploitation de l'ordre de 0,02 % à 0,06 %. On note la plus faible augmentation des coûts de production pour les industries 31 (industrie du gaz, 0,02 %) et 32 (commerce, 0,02 %), alors que la plus forte se retrouve à l'industrie 6 (construction, 0,06%).

Ces résultats doivent être interprétés en considérant la logique économique qui les sous-tendent. En effet, la firme économique recherche la combinaison des intrants qui minimise les coûts de production. Si elle doit utiliser une quantité non optimale d'un intrant, il s'ensuit alors une hausse du coût de production par rapport à la situation optimale. Nadiri et Mamuneas émettent l'opinion que le réseau routier n'est pas rentable pour les industries autres que celles de transformation. Selon eux, l'offre de réseau routier est excédentaire pour les industries autres que les industries de transformation. En d'autres mots, ces industries subiraient des hausses de coûts de production si elles devaient utiliser le réseau routier dans son ensemble.

*A priori*, il n'est pas du tout évident que le niveau optimal d'offre d'infrastructure routière devrait être le même pour toutes les industries de l'économie. Le travail de Nadiri et Mamuneas met clairement en lumière ce résultat. Cependant, il n'est pas facile de justifier d'une façon intuitive pourquoi des industries potentiellement *intensives* en transport auraient une sur capacité du réseau routier. Une explication possible tient au fait que certaines industries qui ne font pas de transformation ont des activités géographiquement très localisées et que le réseau routier pourrait s'avérer ne pas être suffisant pour leurs activités économiques régionales. Par contre, sur le plan national, cette déficience pourrait disparaître.

La colonne 4 du tableau 3 contient les élasticités ( $\eta_{CR}$ ) de la fonction de coût par rapport à la variable  $R$  à valeur d'output fixe qui ont été obtenues dans l'étude de 1998. À part les industries 2 (minerai métallique), 5 (minerai non métallique) et 18 (produits du cuir), toutes les autres possèdent un paramètre  $\eta_{CR}$  négatif, ce qui signifie qu'une augmentation du stock de capital public réduit les coûts privés de production. En effet, une hausse de 1 % des dépenses d'infrastructures routières se traduit en une réduction des frais d'exploitation de l'ordre de 0,002 % à 0,11 %. L'étude de 1998 indique donc que la quasi-totalité des industries tirent profit des investissements routiers et que l'industrie de transformation qui en bénéficie le plus est l'industrie 32 (commerce) (-0,11%). Fait surprenant, dans l'étude de 1996, on estimait cette industrie comme faisant partie de celles qui subissaient un surplus de capital public. Par ailleurs, c'est l'industrie 3 (mine de charbon) qui profite de la plus modeste réduction des coûts de production.

Dans l'ensemble, les résultats de l'étude 1998 semblent être plus réalistes que ceux de la première étude. Non seulement les  $\eta_{CR}$  de la colonne 4 sont négatifs, mais ils ont également des valeurs moins fortes que ceux de la colonne 3. Mentionnons finalement que l'effet total, c'est-à-dire celui qui est calculé en appliquant l'équation (2.10) n'est pas produit dans le texte de Nadiri et Mamuneas, compte tenu que l'effet est presque nul. En fait, la composante 1 attribue généralement une diminution des coûts à l'accroissement de  $R$ . Cependant, cette diminution de coût engendre une augmentation de la production, ce qui fait augmenter à nouveau les coûts. La composante 2 de l'équation (2.10) vient donc éliminer presque totalement l'effet de la composante 1 sur le coût de production. La distinction entre effet direct (à  $Y$  donné) et effet total

( $Y$  variable) prend effet de façon notoire au plan des demandes d'intrants de production. Cet aspect sera spécifiquement traité dans la prochaine sous section.

Nadiri et Mamuneas ne sont pas en mesure de déterminer de façon certaine la modification méthodologique qui est la cause la plus probable des changements de résultats observés entre leurs deux études. À notre avis, il s'agit surtout de l'ajout d'une deuxième variable de capital public qui contribue à cette modification dans les résultats.

Un autre paramètre important qui provient de l'analyse des fonctions de coût concerne les bénéfices marginaux ( $BM_R$ ) associés à une augmentation du stock de capital public. Ce paramètre est lié en fait à l'élasticité de la fonction de coût par rapport à la variable  $R$  au moyen de la relation suivante :

$$BM_R = -\eta_{CR} \left( \frac{C}{R} \right) \cdot$$

Si  $BM_R$  est conforme aux attentes, c'est-à-dire s'il est positif, l'interprétation économique de ce paramètre est la suivante : une augmentation de 1 \$ du stock de capital public hausse les bénéfices totaux (ou réduit les coûts) de  $BM_R$  \$.

Le tableau 4 contient les valeurs estimées de ce paramètre qui semblent être assez élevées. En effet, elles attribuent une proportion importante des coûts liés au transport dans les coûts totaux des entreprises. À noter la grande variation dans les valeurs produites dans les trois études.

Tableau 4 : Les bénéfices marginaux du stock de capital public

Étude	Bénéfices sociaux associés à $R$ ( $BM_R$ )
Nadiri et Mamuneas (1996)	0,18
Nadiri et Mamuneas (1998)	0,29
Khanam (1999)	0,37

Mentionnons d'abord que, que dans les études de Nadiri et Mamuneas, on présente aussi les effets sur les demandes d'intrants qu'ont les dépenses en capital public. Dans la section suivante, on traite de cette importante dimension.

### 2.3.2 Analyse des effets du stock de capital public sur les demandes d'intrants

Comme il a été mentionné précédemment, les fonctions de demande d'intrants dépendent explicitement et uniquement des paramètres et des variables qui apparaissent dans la fonction de coût. Par le lemme de Sheppard, la fonction de demande d'un intrant  $X$  donné s'obtient en dérivant la fonction de coût par rapport au prix  $P_X$  de cet intrant. Lorsque la fonction de coût est celle qui est incluse dans l'équation (2.7), les demandes des intrants  $KLEM$  deviennent :

$$K = K(Y, P_K, P_L, P_E, P_M, R, S, T) \quad (2.11)$$

$$L = L(Y, P_K, P_L, P_E, P_M, R, S, T) \quad (2.12)$$

$$E = E( Y, P_K, P_L, P_E, P_M, R, S, T) \quad (2.13)$$

$$M = M( Y, P_K, P_L, P_E, P_M, R, S, T). \quad (2.14)$$

Une fois complétée l'estimation de tous les paramètres du modèle, il devient ensuite possible de mesurer les retombées des dépenses en infrastructure publique non seulement sur les coûts de production privés, mais aussi sur les demandes des facteurs de production. Tout comme pour le coût total, il est possible de décomposer l'effet total en un effet conditionnel à  $Y$ , plus un effet qui permet à  $Y$  de varier. Si elle est exprimée pour les intrants  $KLEM$ , l'équation (2.10) devient :

$$\begin{aligned} \eta_{KR} &= \eta_{KR\_Y} + \eta_{KY} \cdot \eta_{YR}, \\ \eta_{LR} &= \eta_{LR\_Y} + \eta_{LY} \cdot \eta_{YR}, \\ \eta_{ER} &= \eta_{ER\_Y} + \eta_{EY} \cdot \eta_{YR}, \\ \eta_{MR} &= \eta_{MR\_Y} + \eta_{MY} \cdot \eta_{YR}. \end{aligned} \quad (2.15)$$

L'interprétation se fait comme dans le cas de la fonction de coût traitée plus haut. Le premier facteur sert à mesurer l'effet à valeur de production  $Y$  donnée, alors que le second est employé pour mesurer les effets attribuables à la variation de l'output qui découle d'un accroissement de l'infrastructure publique.

### 2.3.3 Analyse des retombées du stock de capital public sur la productivité des facteurs

Plusieurs éléments entrent en ligne de compte dans l'étude de l'évolution de la productivité des facteurs de production. Cependant, l'élément clé de cette analyse consiste à établir correctement les demandes de facteurs de production. Or, l'approche de fonction de coût consiste précisément à traiter « simultanément » non seulement la fonction de coût de l'équation (2.7), mais également les fonctions de demande des facteurs de production présentées par les équations (2.11) à (2.14). Cette section contient une analyse des facteurs explicatifs de l'évolution de la productivité des facteurs de production. Elle reprend les développements tirés de l'étude Nadiri et Mamuneas (1996).

En économie, le taux de croissance de la productivité des facteurs ( $\dot{PF}$ ) correspond par définition à la différence entre le taux de croissance de la production ( $\dot{Y}$ ) et la moyenne pondérée des taux de croissance des facteurs de productions ( $\dot{X}_i$ ). Ces poids  $\Pi_i = P_i X_i / P_Y Y$ , représentent l'importance relative du facteur  $i$  en valeur dans les recettes de production. Cette équation s'écrit comme suit :

$$\dot{PF} = \dot{Y} - \sum_{i=1}^n \Pi_i \dot{X}_i. \quad (2.16)$$

Nadiri et Mamuneas supposent de plus que le taux de croissance de la demande du produit de chaque secteur industriel peut être représenté par l'équation suivante :

$$\dot{Y} = \lambda + \alpha (P_Y - P_g) + \beta \dot{Z} + (1 - \beta) \dot{N}, \quad (2.17)$$

où

- $\alpha$  = l'élasticité de la demande par rapport au prix  $P_Y$ ;
- $\beta$  = l'élasticité de la demande par rapport au revenu ( $Z$ );
- $(1-\beta)$  = l'élasticité de la demande par rapport à la population ( $N$ );
- $\gamma$  = la constante de régression.

Toutes les variables ayant un point sur le dessus représentent le taux de croissance de la variable. Par exemple,  $\dot{P}_Y = (P_{Yt} - P_{Yt-1})/P_{Yt-1}$  est le taux de croissance du prix de l'output. La variable  $P_g$  représente l'indice implicite du PNB, variable lui servant de déflateur. En combinant le modèle formé des équations (2.7) et (2.11 à 2.14) ainsi que l'expression en (2.17), il nous est possible de décomposer la croissance de la productivité de l'équation (2.16) en une somme de divers facteurs. L'équation technique de cette décomposition résulte de plusieurs substitutions algébriques relativement simples mais qui sont fastidieuses à présenter.

Cette opération est tout à fait intéressante, car elle permet de décomposer l'effet total en sous-effets qui ont tous un sens économique bien précis. Les divers termes sont :

- 1) un effet des prix de l'output ( $EP_0$ );
- 2) un effet des prix des facteurs de production ( $EP_x$ );
- 3) un effet exogène de la demande (ED);
- 4) un effet du stock d'infrastructures routières ( $EC_R$ );
- 5) un effet du stock d'infrastructures non-routières ( $EC_S$ );
- 6) un effet technologique (ET).

Le tableau 5 donne l'expression analytique de la décomposition obtenue en utilisant les relations traitées dans l'étude de Nadiri et Mamuneas. La décomposition que nous obtenons diffère de la leur car deux des morceaux sont de signes différents. Nous pouvons fournir des détails de notre développement sur demande.

Tableau 5 : Décomposition économique de la variation de la productivité des facteurs

$\dot{TPF}$	=	$A[\alpha \dot{\eta} + \alpha (1 + \theta)]$	( $EP_0$ ) : Output
		$+ A \alpha [\sum_i \Pi_i \dot{P}_i - \dot{P}_g]$	( $EP_x$ ) : Input
		$+ A[\lambda + \beta \dot{Z} + (1 - \beta) \dot{N}]$	(ED) : Dem. exogène
		$+ A \alpha [\eta_{CR} \dot{R}] - \frac{1}{\kappa B} [\eta_{CR} \dot{R}]$	( $EC_R$ ) : Routier
		$+ A \alpha [\eta_{CS} \dot{S}] - \frac{1}{\kappa B} [\eta_{CS} \dot{S}]$	( $EC_S$ ) : Non routier
		$+ A \alpha \dot{T} + \frac{1}{\kappa B} \dot{T}$	(ET) : Technologie

Les paramètres économiques sont les suivants :

- $\eta$  = l'élasticité de la fonction de coût par rapport à l'output  $\eta = \eta_{CY}$ ;
- $\kappa$  = le ratio du prix de l'output au coût moyen de production ( $P_Y/CM$ );

$\theta$  = l'écart entre le coût marginal et le prix de l'output :  $(1+\theta) = P_Y/C_m$ ; pour calculer cette mesure en expressions déjà produites,  $\theta = \kappa/\eta - 1$  ;

$B$  = 1 moins les termes d'élasticités de la fonction de coût par rapport aux capitaux publics ( $B = 1 - \eta_{CR} - \eta_{CS}$ ); et finalement

$$A = \frac{(\kappa + \eta)/B}{\kappa} / [1 - \alpha(\eta - 1)] .$$

La convention de notation selon laquelle  $\dot{P}_Y = (P_{Yt} - P_{Yt-1})/P_{Yt-1}$  s'applique à tous les termes du tableau, à l'exception de  $\dot{T}$  qui se définit pour sa part comme :  $\dot{T} = \partial \ln C / \partial T$  . L'objectif étant de résumer l'effet du progrès technologique, cette expression dépeint l'évolution de la fonction de coût au fil du temps.

Évidemment, en posant une forme différente pour décrire l'évolution de la production  $Y$  à l'équation (2.17) ou encore pour la fonction de coût en (2.17), ces expressions se modifieraient. Par contre, la décomposition en sept morceaux distincts serait tout de même maintenue.

L'équation (2.16) peut s'appliquer à une industrie en particulier ou bien à l'ensemble des industries de l'économie. L'analyse de Nadiri et Mamuneas traite des retombées du stock de capital public sur chacun des 35 secteurs d'activité du tableau 3, pris séparément. Par la suite, par simple agrégation, ils obtiennent des mesures nationales.

Nous avons maintenant pu introduire la majorité des éléments que comporte le modèle de Nadiri et Mamuneas, dont voici le résumé :

- 1) un processus technologique de production qui se représente par une fonction de production, voir équation (2.1);
- 2) les producteurs choisissent le niveau de production ainsi que la quantité de facteurs de production de façon à maximiser les profits;
- 3) par hypothèse, les producteurs décident de leurs choix de production sans égard à l'influence qu'ils ont sur les prix; ils considèrent que les prix sont déterminés par le marché économique;
- 4) Les producteurs considèrent également que le capital public est prédéterminé et indépendant de leurs décisions de production;
- 5) Nadiri et Mamuneas supposent que la demande pour les produits d'un secteur donné peut être représentée par une fonction log-linéaire contenant comme arguments le prix de l'output, la population et le produit national brut.

Dans leur étude de 1996, les auteurs évaluent que durant la période 1952-1989, la productivité de l'économie américaine a crû au rythme de 0,68 % par année. L'effet de la demande (ED) aurait provoqué une croissance moyenne de 0,60 % par année. Ce facteur représente à lui seul 88 % de la croissance de la productivité. Durant la même période, le second facteur en importance était les dépenses du réseau routier ( $EC_R$ ). En effet, il aurait haussé la productivité de 0,17 % par année, ce qui représente 25 % des causes de la croissance totale de la productivité. Les autres facteurs de la décomposition présente au tableau 5 ont une importance beaucoup moindre.

Dans l'étude de 1998, les auteurs en arrivent à la conclusion que la productivité de l'économie américaine a cru de 0,47 % par année durant la période 1951-1991. L'effet de la demande (ED) aurait provoqué une croissance moyenne de 0,28 % par année. Ce facteur représente à lui seul

60 % de la croissance de la productivité. Une évaluation de la même période indique que le second facteur en importance était les dépenses du réseau routier ( $EC_R$ ). En effet, il aurait haussé la productivité de 0,16 % par année ce qui équivaut à 34 % de la croissance. L'importance relative de ce facteur est supérieure à ce qu'elle était dans l'étude de 1996.

À la question « Est-ce que les dépenses en infrastructures sur le réseau routier influent sur la productivité de l'économie? », force est de constater que la réponse est positive et ce, sans équivoque.

### 2.3.4 Investissement optimal dans les infrastructures routières

L'analyse de Nadiri et Mamuneas permet de mettre en évidence une question importante du point de vue économique : Quels sont les montants économiquement optimaux de stock de capital public ?

Il a été question dans la section 2.3.1 de déterminer l'effet des dépenses d'infrastructures routières sur les coûts de production des industries. Les réductions de coûts étaient alors associées à des bénéfices pour les entreprises. Nadiri et Mamuneas comparent ces bénéfices économiques aux coûts économiques liés à la hausse du stock de capital routier. Les coûts économiques sont définis à partir des coûts de construction actualisés nets de la dépréciation économique. En comparant les bénéfices pour les entreprises, tels qu'ils sont indiqués à la section 2.3.1, et les coûts économiques, il est possible de calculer le taux de rendement social net (t.r.s.n.) du stock de capital routier. Il est calculé à partir des  $BM_{R,i}$  de tous les secteurs d'activité comme suit:

$$t.r.s.n._{public} = \frac{\sum_i BM_{R,i}}{P_R} - \delta, \quad (2.18)$$

où  $P_R$  est le coût de construction de l'infrastructure et  $\delta$  est le taux de dépréciation de l'infrastructure.

Il est aussi possible de déduire, à même l'estimation du modèle économétrique, une estimation du taux de rendement social net (t.r.s.n.) du stock de capital privé. Il peut se trouver par définition en appliquant la relation suivante :

$$t.r.s.n._{privé} = B_{Ki} / p_{Ki} - 1$$

$$\text{où } B_{Ki} = \frac{\partial C_i}{\partial K_i} = \frac{\partial C_i}{\partial p_{Ki}} \cdot \frac{\partial p_{Ki}}{\partial p_{Ki} K_i} \cdot \frac{\partial p_{Ki} K_i}{\partial K_i}, \quad (2.19)$$

$$= \frac{\partial C_i}{\partial p_{Ki}} \cdot \frac{p_{Ki}}{K_i} = \eta_{CK,i} \cdot \frac{C_i}{K_i}.$$

Autrement dit, le taux de rendement privé s'obtient en comparant le bénéfice  $B_{Ki}$  du capital privé de l'industrie  $i$  au prix du capital  $p_{Ki}$  auquel elle fait face.

Selon la théorie économique de l'optimum, le dernier dollar dépensé sur le capital privé devrait avoir le même rendement que s'il était dépensé sur le capital public. Le tableau 6 contient une comparaison des t.r.s.n. des capitaux privés et routiers pour différentes périodes. Les deux études de Nadiri et Mamuneas démontrent clairement que durant les décennies des années 60 et 70, les t.r.s.n. des capitaux publics excédaient largement ceux des capitaux privés. Ces écarts témoignent d'un niveau trop faible des capitaux publics. Toutefois, durant les années 80, un niveau optimal de l'offre de capital public semble avoir été atteint : les t.r.s.n. des capitaux privés et publics sont presque égaux.

Tableau 6 : Taux de rendement social net (t.r.s.n.) et taux d'intérêt

	Nadiri et Mamuneas, 1996			
	1960-1969	1970-1979	1980-1989	1960-1989
1) t.r.s.n. capital public	0,34	0,16	0,10	0,28
2) t.r.s.n. capital privé	0,14	0,12	0,11	0,13
3) taux d'intérêt	0,05	0,08	0,11	0,07
	Nadiri et Mamuneas, 1998			
	1960-1969	1970-1979	1980-1991	1960-1991
1) t.r.s.n. capital public	0,54	0,27	0,16	0,32
2) t.r.s.n. capital privé	0,16	0,18	0,17	0,17
3) taux d'intérêt	0,05	0,08	0,10	0,08

L'équilibre atteint durant la période 1980-1991 témoigne de la situation aux États-Unis dans son ensemble. Il est fort probable cependant qu'il y ait eu des déséquilibres régionaux. Par exemple, certaines régions pouvaient avoir une situation d'offre excédentaire de capital public, tandis que d'autres connaissaient une situation inverse. La suite du projet permettra d'établir la situation du Québec à cet égard.



### 3. Application du modèle au Québec

Dans cette section, nous décrivons la méthodologie retenue pour mesurer l'influence des dépenses d'infrastructures routières sur la croissance de la productivité du Québec. Notre survol de la littérature sur le sujet nous amène clairement à considérer comme modèle de départ celui de Nadiri et Mamuneas. Au point de vue économétrique, leur démarche représente ce qui a de plus détaillé, jusqu'à maintenant. Ils ont pris soin de bien décrire tous les tests qu'ils ont effectués pour s'assurer que leur modèle produisait des résultats satisfaisants. La version 1998 de leur modèle est évidemment celle qui retient le plus notre attention. Elle comporte des améliorations significatives que nous comptons conserver. Nous sommes malgré tout d'avis qu'elle peut être bonifiée de façon notable. Comme nous le verrons, certaines des améliorations touchent la formulation elle-même, alors que d'autres visent à améliorer des aspects économétriques. À l'instar des auteurs Nadiri et Mamuneas, il est important de formuler un modèle permettant de distinguer des effets par industrie.

Puisque la méthode que nous proposons est une amélioration du modèle de base de Nadiri et Mamuneas, il est clair qu'elle a la capacité de répondre aux questions suivantes :

- Quel est le taux de rendement social net des investissements routiers ? Quelle a été son évolution de 1960 à 1996 ? Comment ce taux se compare-t-il à celui des investissements privés ?
- Quelles sont les industries qui bénéficient le plus des investissements routiers ?
- Quel est le niveau optimal d'investissements routiers, c'est-à-dire le niveau compatible avec le taux de croissance économique ?

#### 3.1 Le contexte

Contrairement à l'étude de Nadiri et Mamuneas, qui touche tous les secteurs de l'économie américaine, la présente étude se concentre uniquement sur les industries de transformation. Lors de nos travaux préliminaires, nous avons envisagé couvrir aussi les autres secteurs, mais nos premiers résultats d'estimation nous ont forcés à conclure qu'il était nécessaire d'affecter beaucoup plus de ressources que prévu dans la collecte de données fiables pour ces secteurs. Pour des raisons liées à la qualité des données disponibles, nous avons donc décidé de laisser tomber cette dimension.

Les résultats relatifs aux industries étudiées doivent servir à la production d'estimations applicables pour la période 1962-1996. Le tableau 7 contient la liste des industries qui sont analysées dont certaines auraient pu être regroupées, par exemple « bonneterie et vêtements » avec « produits du textile ». À la suite de travaux préliminaires, nous avons jugé bon de laisser intactes les définitions d'unités d'analyse.

Tableau 7 : Industries de transformation du Québec

---

4.	Aliments et boissons
5.	Produits du tabac
6.	Produits du caoutchouc
7.	Produits du cuir
8.	Produits du textile
9.	Bonneterie et vêtements
10.	Produits du bois
11.	Meubles et accessoires d'ameublement
12.	Papier et produits connexes
13.	Imprimerie, édition et produits connexes
14.	Métaux (formes primaires)
15.	Produits métalliques
16.	Machinerie (sauf le matériel électrique)
17.	Matériel de transport
18.	Appareils et matériel électriques
19.	Produits minéraux non métalliques
20.	Pétrole, charbon et leurs dérivés
21.	Industrie chimique et des produits connexes
22.	Manufactures diverses

---

### 3.2 *Modèle économétrique*

En vue de répondre aux questions posées au début de cette section, nous proposons d'estimer une fonction coût dont la forme générale est donnée par l'équation (2.7), que nous répétons ici :

$$CT(Y) = C(Y, P_K, P_L, P_E, P_M, R, S, T). \quad (3.1)$$

Cette fonction peut potentiellement être estimée pour chacune des industries apparaissant au tableau 7. Selon la notation,  $R$  désigne le stock de capital public en infrastructures routières alors que  $S$  représente les dépenses publiques d'infrastructures autres que routières. Connaissant l'influence de la variable capital d'infrastructures routières ( $R$ ) sur les coûts de production de chaque industrie, il devient dès lors possible d'établir les industries qui bénéficient le plus des investissements routiers. Les données étant des séries chronologiques de faible taille et par souci de conserver des degrés de liberté, il est clairement préférable d'estimer les relations par groupes d'industries. C'est à l'étape de l'estimation formelle des relations que seront prises les décisions relatives aux groupements d'industries.

*A priori*, ajouter l'énergie comme intrant de production au modèle initial de Nadiri et Mamuneas doit aider à mieux quantifier les effets des dépenses en infrastructures routières sur la productivité de l'économie québécoise car, pour certains secteurs, l'énergie représente une composante non négligeable de leurs coûts de production.

Une autre modification qui constitue une amélioration par rapport au modèle initial de Nadiri et Mamuneas consiste à inclure dans le modèle des variables de tendance permettant de capter l'évolution générale de l'économie. Un des objectifs économétriques poursuivis est d'assurer au modèle une certaine stabilité temporelle. L'autre aspect est de pouvoir nettoyer les variables d'effets pouvant causer une corrélation fallacieuse (spurious correlation).

L'estimation économétrique de l'équation (3.1) s'effectue en complétant la relation par les équations de demande d'intrants exprimées sous forme de parts ( $\mathbf{W}_K$ ,  $\mathbf{W}_L$ ,  $\mathbf{W}_E$ ,  $\mathbf{W}_M$ ), où :

$$\mathbf{W}_K = (P_K \times K) / CT(Y) = \mathbf{K}(Y, P_K, P_L, P_E, P_M, R, S, T) \quad (3.2)$$

$$\mathbf{W}_L = (P_L \times L) / CT(Y) = \mathbf{L}(Y, P_K, P_L, P_E, P_M, R, S, T) \quad (3.3)$$

$$\mathbf{W}_E = (P_E \times E) / CT(Y) = \mathbf{E}(Y, P_K, P_L, P_E, P_M, R, S, T) \quad (3.4)$$

$$\mathbf{W}_M = (P_M \times M) / CT(Y) = \mathbf{M}(Y, P_K, P_L, P_E, P_M, R, S, T). \quad (3.5)$$

Les équations (3.1) à (3.5) sont estimées simultanément pour l'ensemble des industries apparaissant au tableau 7.

À ce sujet, nous attirons l'attention du lecteur sur l'existence de l'étude de Louis Fournier (1985) effectuée dans le cadre de son mémoire de maîtrise au Département d'économie de l'Université Laval. Dans le but d'estimer la demande énergétique de l'industrie de transformation québécoise pendant la période 1963 à 1980, M. Fournier estime, pour chaque secteur de cette industrie, une fonction de coût translog composée de quatre intrants de production, soit le capital, le travail, l'énergie et les matières premières ( $K$ ,  $L$ ,  $E$ ,  $M$ ), ainsi que d'une composante de progrès technique.

Cette étude possède pour nous plusieurs attraits. Premièrement, elle démontre qu'il est possible d'estimer un modèle du même type que Nadiri et Mamuneas même lorsque l'estimation de la relation de coût est effectuée industrie par industrie. Il faut réaliser que, dans leurs études de 1996 et 1998, ces auteurs estiment les modèles en groupant les observations entre industries (ils font du pooling). En réalité, ils font l'hypothèse qu'à part les coefficients associés aux constantes industrielles, la majorité des autres coefficients sont stables. Il nous paraît évident qu'il serait préférable de procéder à des estimations en permettant aux coefficients de varier plus librement en fonction du type d'industrie. Ce n'est qu'après avoir testé formellement la stabilité de coefficients qu'il devient raisonnable de retenir une forme comportant des contraintes d'égalité entre paramètres. Deuxièmement, cette source nous donne accès à certaines données sur le coût de capital et sur le prix de quatre intrants de production dans un cadre *KLEM*. Nous expliquons ci-dessous notre méthode pour compléter ces séries.

Nous pensons qu'il est effectivement important de rappeler que Nadiri et Mamuneas ainsi que Khanam n'ont pas inclus la composante énergie comme intrant de production. Si l'effet néfaste d'omettre de la régression un facteur important est bien compris, il y a lieu de croire que les estimations de ces auteurs peuvent encore être sujettes à un biais d'estimation.

Ainsi que nous le verrons, la composante énergie va s'avérer significative dans notre formulation économétrique, ce qui constitue en soi une amélioration qu'il sera intéressant de commenter.

Tout comme Nadiri et Mamuneas, nous introduisons deux types de mesures concernant l'infrastructure publique. Une première quantifie l'apport de l'infrastructure routière alors que l'autre vise la contribution de l'infrastructure autre que routière.

Une fois établis les bénéfices de l'infrastructure routière, il est possible de calculer le taux de rendement social associé. Il s'agit en effet de comparer les bénéfices et les coûts sociaux des investissements routiers. Ces derniers sont obtenus en ajustant les coûts de l'infrastructure aux facteurs suivants: un indice de déflation des prix, le coût public du capital, le taux de dépréciation de l'infrastructure et un facteur pour tenir compte du fait que le financement de l'investissement est obtenu au moyen de taxes qui engendrent des distorsions économiques.

### 3.3 Description des banques de données

Dans cette section est décrite la banque de données permettant de rendre opérationnel le modèle économétrique que nous proposons d'estimer pour le Québec. Comme il a été mentionné précédemment, ce modèle constitue une version bonifiée de l'approche exploitée dans l'étude de Nadiri et Mamuneas (1998). Dans le texte qui suit, nous passons en revue la définition et la construction des variables qui entrent dans le modèle formé par les équations (3.1) à (3.5).

#### 3.3.1 Les données sur la main-d'œuvre

Comme l'indiquent les équations (3.1) à (3.5), la spécification du modèle exige une connaissance de la quantité de main-d'œuvre et de son prix. Nous verrons ci-après comment cette information a été constituée pour chaque secteur d'activité de transformation. Les tableaux A.1 à A.3 de l'annexe A contiennent les séries CANSIM (Canadian Socio-Economic Information Management System) qui portent sur la main-d'œuvre dans les industries de transformation du Québec. Un coup d'œil rapide révèle que ces sources ne sont pas des plus homogènes. Diverses opérations sont en effet rendues nécessaires afin de pouvoir produire des séries uniformes valables sur la période entière touchée par l'estimation. La masse salariale sert à quantifier la variable ( $P_L \times L$ ) retrouvée à l'équation (3.3). Pour sa part, le salaire horaire moyen ( $P_L$ ) est obtenu en divisant la masse salariale par  $L$ , le nombre d'heures payées.

Les tableaux A.1 et A.2 sont basés sur des enquêtes auprès des industries de transformation à compter de 1970. Comme l'indique le tableau A.3, la compilation de l'information se rattachant à la période de 1960 à 1970 est légèrement différente. Par ailleurs, nous avons effectué des opérations à partir des éléments contenus dans le tableau A.3 dans le but d'obtenir les séries recherchées. À l'aide des variables « Indice de l'emploi » et « Heures hebdomadaires moyennes » du tableau A.3, il est possible de construire une variable  $L$  exprimée sous forme d'indice. En effet, les valeurs tirées du tableau A.2 sont ajustées avec ces indices. De même, la variable  $P_L$  est obtenue en ajustant la série du tableau A.2 à l'indice de la rémunération moyenne que l'on retrouve au tableau A.3.

Une requête spéciale a été formulée auprès de Statistique Canada pour corriger les séries des secteurs « produits du tabac » et « manufactures diverses », pour lesquels il n'existe pas de données depuis 1987.

### 3.3.2 Les données sur le capital

Les équations (3.1) et (3.2) indiquent que la formulation de la fonction de coût exige une connaissance de la quantité de capital et de son prix. Nous traitons ci-dessous de la façon dont cette information a été constituée pour chaque secteur.

À la suite d'une démarche entreprise auprès de Statistique Canada, nous avons pu obtenir le stock de capital des 19 secteurs d'activité québécois indiqués au tableau 7. Le capital est composé des bâtiments, des travaux de génie, et des machines et de l'outillage. Cette requête quant au stock de capital permet donc de mesurer la variable ( $P_K \times K$ ) utilisée pour le calcul des parts du capital dans le coût total se retrouvant à l'équation (3.2).

Le calcul du prix de cet intrant nécessite certaines hypothèses utilisées en théorie économique de la firme. À l'instar de Khanam (1999), une première spécification du coût du capital provient des travaux de Harper *et al.* (1989). Pour chaque industrie, le prix ( $P_K$ ) du capital, est alors calculé comme suit :

$$P_{Kt} = PI_t \times (r_t \times \delta_t) / TX_t, \quad (3.6)$$

où  $PI_t$  est un indice de prix des actifs du secteur. Cette variable est mesurée en divisant le stock de capital au prix courant par le stock de capital au prix constant. Pour sa part,  $r_t$  représente le coût d'opportunité du capital. Cette variable est mesurée par le rendement à long terme des obligations que l'on trouve dans la série D89876 de CANSIM. De son côté,  $\delta_t$  est le taux de dépréciation du capital. Tout comme dans l'étude de Khanam (1999), cette variable est définie comme étant le ratio dépréciation sur stock de capital net. La dépréciation et le stock sont mesurés en dollars constants en supposant que la dépréciation suit une moyenne géométrique. Finalement,  $TX_t$  constitue le taux de taxation de l'entreprise. Les sources des données relatives à la taxation sont fournies au tableau A.4 de l'annexe A. Cette variable correspond au ratio de l'impôt total payé sur le revenu imposable des sociétés.

L'équation (3.6) constitue une définition simple du prix du capital. Il est également possible d'en élaborer une beaucoup plus détaillée. À l'instar de Fournier, nous pourrions également prôner l'utilisation d'un prix du capital tel qu'il est proposé dans les travaux de Lemelin *et al.* (1983). Son calcul est toutefois très laborieux et nous doutons de l'utilité de cette opération.

### 3.3.3 Les données sur les matières premières

En observant les équations (3.1) et (3.5), il ressort que la formulation de la fonction de coût exige une connaissance de la quantité et du prix des matières premières. Statistique Canada nous a fourni les données sur les matières premières des 19 industries de transformation québécoises. Nous avons pu ainsi mesurer les variables ( $P_M \times M$ ) et  $P_M$ , à partir desquelles il nous a été possible de calculer la part de l'intrant matières premières dans l'équation (3.5).

### 3.3.4 Les données sur l'énergie

Comme l'indiquent les équations (3.1) à (3.5), la spécification du modèle nécessite une connaissance des données sur la quantité d'énergie et son prix unitaire. Cette information a été constituée pour chaque secteur considéré dans l'étude et nous en expliquons le processus dans le texte qui suit.

Nous introduisons ce facteur de production dans la fonction de coût d'une façon incrémentielle. Il est en effet pratique courante de séparer les effets de chacun des facteurs de production. Les premières spécifications du modèle ne comportent pas de facteurs énergétiques. Nous incluons l'énergie par la suite, de façon à pouvoir faire ressortir l'intérêt de faire entrer ce facteur dans le calcul du coût total.

La masse consommation d'énergie (pétrole, charbon, gaz naturel, électricité) sert à quantifier la variable ( $P_E \times E$ ) que l'on retrouve à l'équation (3.4). Pour sa part, un indice du prix de l'énergie est constitué comme une prédiction de l'estimation des paramètres du modèle suivant :

$$\ln P_E = \ln \beta_0 + \sum_i \beta_i \ln P_{E_i} + \frac{1}{2} \sum_i \sum_j \beta_{ij} \ln P_{E_i} \ln P_{E_j}, \quad (3.7)$$

où les indices  $i$  et  $j$  concernent un ensemble de  $I$  sources d'énergie. De façon pratique, à l'exception de  $\beta_0$ , qui joue le rôle d'un facteur de proportionnalité qui disparaît lorsque l'indice est normalisé, les autres paramètres sont estimés en estimant les équations de parts suivantes :

$$S_{E_i} = \beta_i + \sum_j \beta_{ij} \ln P_{E_j}, \quad i = 1, \dots, I. \quad (3.8)$$

La part à gauche du signe d'égalité représente la part de la source  $i$  dans le coût total énergétique. Cette approche est très bien connue et est décrite en détail dans Fournier (1985) et Fuss (1977). Une fois de plus, Statistique Canada nous a fourni des données sur la consommation des quatre principales sources énergétiques par les industries québécoises. Les résultats de l'estimation des paramètres du modèle, dont la estimation économétrique exploite uniquement les équations présentes dans (3.8), peuvent être obtenues auprès des auteurs.

### 3.3.5 Les variables de capital public

Les données nécessaires à l'évaluation du stock de capital routier du Québec proviennent de l'étude de Gaudry et Marullo (1998). Cette étude contient les sources statistiques, procédures et valeurs calculées pour obtenir une mesure du stock de capital routier pour le réseau provincial et le réseau fédéral au Québec. Elle corrige et prolonge les séries de l'étude BRQ-1 (Gaudry *et al.*, 1996) et de même qu'elle fournit les notes explicatives pertinentes à chaque source ou calcul, affectant à l'année la plus récente les données de tout exercice financier portant sur deux années civiles.

Gaudry et Marullo (1998) regroupe les données des comptes publics disponibles, de 1955 à 1973, pour le ministère des Transports et Communications, le ministère des Travaux publics et le ministère de la Voirie et de 1974 à 1996 pour le ministère des Transports. Les dépenses sont réparties entre cinq catégories définies dans BRQ-1, comme étant :

#### 1. Les dépenses de capital

- capital immobilisation (construction et réfection)
- capital entretien et exploitation
- capital administration (traitements seulement)

#### 2. Les dépenses de fonctionnement (exploitation et entretien)

- entretien et exploitation
- administration.

La seconde variable de capital public utilisée dans le modèle de régression concerne les dépenses d'immobilisations et de construction. Comme l'avaient indiqué de Nadiri et Mamuneas (1996), cette variable sert à prendre en compte les dépenses publiques autres que routières. L'information sur cette variable provient des séries D880095 et D837761 de CANSIM.

### 3.4 Analyse descriptive des données

Dans cette partie, nous présentons sommairement l'évolution des données utilisées pour l'estimation de la fonction de coût. Nous produisons aussi quelques résultats d'analyse descriptive de base des variables.

Le tableau 8 contient les valeurs moyennes et le tableau 9 décrit les taux de variations annuelles en pourcentage des variables.

Les noms débutant par un « D\_ » signifient dépenses pour les intrants travail (L), Capital (K), matières premières (M) et énergie (E), alors que les noms débutant par un « P\_ » représentent les indices de prix des mêmes intrants.

Les industries de transformation « pétrole, charbon » et « matériel de transport » ont connu la plus rapide progression de leurs productions, soit des accroissements moyens annuels de 12,0 % et 11,4 % respectivement. (Colonne 7 du tableau 9)

Tableau 8 : Description des données (valeurs exprimées en \$ constants de 1965)

INDU	ANNÉE	D_L	P_L	D_K	P_K	D_M	P_M	D_E	P_E	CT(Y)	W_K	W_L	W_E	W_M
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Aliments et boissons														
4	61...67	157,977	1,001	264,350	1,013	1108,002	1,004	19,148	1,127	1549,477	0,170	0,102	0,012	0,715
4	68...74	225,094	1,671	394,529	1,298	1828,753	1,262	32,521	2,634	2480,896	0,162	0,092	0,013	0,733
4	75...83	531,287	4,053	781,611	1,878	4568,476	2,660	106,391	16,492	5987,765	0,131	0,089	0,017	0,763
4	84...96	923,444	7,087	1388,054	2,291	6704,491	4,520	166,498	35,700	9182,486	0,151	0,101	0,018	0,730
Moyenne de l'industrie														
4		551,711	4,180	840,771	1,767	4220,684	2,788	98,986	18,221	5712,152	0,151	0,096	0,016	0,737
Produits du tabac														
5	61...67	22,097	0,991	20,950	1,003	108,138	1,027	0,689	0,787	151,873	0,137	0,145	0,005	0,713
5	68...74	34,177	1,693	34,700	1,316	123,670	1,275	1,042	1,049	193,589	0,178	0,176	0,005	0,640
5	75...83	61,849	3,996	69,589	1,859	222,126	2,117	3,124	5,473	356,688	0,195	0,174	0,008	0,623
5	84...96	82,382	6,440	126,300	2,341	311,669	3,270	4,937	13,439	525,288	0,240	0,157	0,009	0,594
Moyenne de l'industrie														
5		47,024	2,923	54,952	1,559	177,946	1,758	2,174	4,066	282,097	0,182	0,166	0,007	0,646
Produits du caoutchouc														
6	61...67	41,040	1,064	56,400	0,896	52,971	1,029	1,517	0,992	151,928	0,367	0,273	0,010	0,350
6	68...74	57,910	1,640	90,857	0,934	133,514	1,141	4,336	1,892	286,617	0,325	0,211	0,015	0,450
6	75...83	115,726	3,287	177,275	1,304	338,678	1,850	12,791	7,727	644,470	0,289	0,179	0,019	0,513
6	84...96	225,843	6,329	309,650	1,683	858,170	3,090	32,315	28,201	1425,978	0,234	0,157	0,022	0,587
Moyenne de l'industrie														
6		105,265	2,952	152,939	1,176	326,717	1,713	11,963	8,885	596,883	0,304	0,202	0,016	0,478
Produits du cuir														
7	61...67	39,647	0,985	11,250	1,059	76,881	1,009	0,803	0,971	128,581	0,087	0,308	0,006	0,599
7	68...74	52,499	1,522	16,043	1,178	100,124	1,309	1,058	1,203	169,724	0,094	0,310	0,006	0,590
7	75...83	93,214	3,678	25,389	1,620	179,169	2,634	2,393	3,828	300,165	0,086	0,312	0,008	0,594
7	84...96	97,516	6,346	33,173	1,900	231,257	4,386	3,860	6,775	365,805	0,092	0,267	0,011	0,630
Moyenne de l'industrie														
7		76,272	3,621	23,430	1,517	161,167	2,642	2,310	3,734	263,179	0,090	0,296	0,008	0,606
Produits du textile														
8	61...67	87,680	0,987	111,383	0,983	387,371	1,008	10,983	1,046	597,417	0,185	0,146	0,018	0,650
8	68...74	164,291	1,569	164,629	1,109	550,028	1,088	16,798	1,802	895,745	0,182	0,183	0,019	0,616
8	75...83	302,376	3,652	297,889	1,775	1007,824	1,830	53,140	12,129	1661,229	0,184	0,182	0,031	0,603
8	84...96	451,879	6,847	321,438	2,101	895,335	2,608	71,887	30,509	1740,540	0,185	0,260	0,042	0,513
Moyenne de l'industrie														
8		293,484	3,965	248,011	1,627	768,120	1,830	45,608	14,991	1355,223	0,184	0,205	0,030	0,580
Bonneterie et vêtements														
9	61...67	181,676	0,999	43,133	0,991	459,072	0,992	1,837	1,037	685,719	0,063	0,265	0,003	0,669
9	68...74	296,843	1,624	71,457	0,940	749,933	1,113	3,121	1,503	1121,355	0,063	0,264	0,003	0,670
9	75...83	601,380	3,880	97,533	1,351	1459,227	1,999	8,583	5,208	2166,723	0,046	0,280	0,004	0,670
9	84...96	769,006	6,399	168,725	1,453	2863,749	3,109	23,016	10,257	3824,496	0,044	0,202	0,006	0,748
Moyenne de l'industrie														
9		523,778	3,796	107,691	1,239	1632,412	2,031	11,362	5,491	2275,243	0,052	0,246	0,004	0,697
Produits du bois														
10	61...67	51,506	1,003	31,483	1,027	134,830	0,995	3,864	0,996	221,683	0,141	0,233	0,017	0,609
10	68...74	95,680	1,753	83,629	1,221	265,128	1,501	9,707	1,057	454,144	0,174	0,215	0,022	0,589
10	75...83	277,979	4,702	276,100	1,832	740,130	2,896	40,509	2,183	1334,718	0,211	0,208	0,029	0,551
10	84...96	593,792	9,031	496,877	2,293	2087,112	4,530	91,295	3,660	3269,076	0,152	0,184	0,028	0,636
Moyenne de l'industrie														
10		319,997	5,086	277,674	1,743	1041,671	2,898	46,930	2,303	1686,273	0,170	0,205	0,025	0,600
Meubles et accessoires d'ameublement														
11	61...67	39,001	0,994	22,883	0,957	90,150	1,002	1,557	1,009	153,591	0,148	0,254	0,010	0,588
11	68...74	71,741	1,555	45,643	0,872	162,787	1,271	3,121	1,412	283,292	0,163	0,254	0,011	0,572
11	75...83	150,871	3,592	73,011	1,300	306,909	2,589	8,059	5,031	538,850	0,138	0,279	0,015	0,568
11	84...96	279,668	6,419	96,892	1,447	570,405	4,462	17,199	8,842	964,164	0,100	0,290	0,018	0,591
Moyenne de l'industrie														
11		163,706	3,789	67,814	1,210	338,796	2,749	9,352	5,033	579,668	0,131	0,274	0,014	0,581



INDU	ANNÉE	D_L	P_L	D_K	P_K	D_M	P_M	D_E	P_E	CT(Y)	W_K	W_L	W_E	W_M
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Papier et produits connexes														
12	61...67	160,299	1,016	389,850	0,996	476,207	1,000	58,877	1,021	1085,232	0,356	0,149	0,055	0,441
12	68...74	260,157	1,594	645,186	1,329	758,939	1,208	89,924	1,236	1754,206	0,369	0,149	0,051	0,432
12	75...83	605,144	3,765	1504,711	2,155	1812,945	2,765	329,692	3,660	4252,491	0,355	0,143	0,074	0,427
12	84...96	1065,173	7,760	4141,880	2,539	3507,739	4,642	736,725	9,131	9451,516	0,433	0,115	0,079	0,373
Moyenne de l'industrie														
12		590,029	4,023	1931,769	1,877	1861,366	2,680	353,663	4,345	4736,826	0,383	0,137	0,067	0,413
Imprimerie, édition et produits connexes														
13	61...67	61,825	0,989	73,383	0,943	101,704	1,000	1,608	0,876	238,520	0,309	0,259	0,007	0,425
13	68...74	100,420	1,472	96,800	1,085	190,708	1,208	2,838	1,799	390,766	0,252	0,257	0,007	0,484
13	75...83	256,234	3,532	149,478	1,668	583,920	2,851	8,023	8,475	997,655	0,156	0,257	0,008	0,579
13	84...96	539,970	6,609	323,850	2,103	1256,374	5,799	25,164	23,383	2145,358	0,150	0,254	0,012	0,584
Moyenne de l'industrie														
13		274,365	3,566	178,178	1,541	617,631	3,066	11,043	10,249	1081,217	0,204	0,256	0,009	0,531
Métaux														
14	61...67	84,523	1,006	283,117	1,029	383,223	0,985	30,511	1,112	781,374	0,362	0,109	0,039	0,490
14	68...74	149,799	1,550	434,786	1,311	630,779	1,295	58,914	1,019	1274,278	0,341	0,117	0,046	0,495
14	75...83	377,943	3,973	1239,089	2,073	1480,557	2,973	216,480	8,747	3314,069	0,379	0,113	0,064	0,444
14	84...96	786,634	8,155	4207,410	1,949	3220,752	4,332	570,569	19,196	8785,365	0,472	0,092	0,064	0,372
Moyenne de l'industrie														
14		400,736	4,194	1811,503	1,672	1632,729	2,658	257,796	8,890	4102,764	0,397	0,107	0,055	0,441
Produits métalliques														
15	61...67	124,205	1,000	77,550	1,031	283,026	0,996	5,223	1,045	490,004	0,158	0,253	0,011	0,578
15	68...74	193,041	1,525	125,586	1,342	432,202	1,262	9,325	2,051	760,153	0,167	0,256	0,012	0,565
15	75...83	415,933	3,437	245,944	1,979	1304,094	2,609	29,747	14,244	1995,719	0,130	0,217	0,015	0,638
15	84...96	661,133	6,226	339,460	2,300	1866,948	4,268	60,315	35,500	2927,856	0,117	0,227	0,021	0,636
Moyenne de l'industrie														
15		389,101	3,433	217,266	1,762	1097,809	2,530	30,234	15,745	1734,410	0,139	0,235	0,015	0,610
Machinerie (sauf le matériel électrique)														
16	61...67	29,566	0,992	23,767	0,993	89,963	1,006	1,440	1,169	144,736	0,165	0,205	0,010	0,619
16	68...74	54,354	1,590	34,986	1,166	140,851	1,236	2,859	1,329	233,050	0,154	0,231	0,012	0,603
16	75...83	158,759	3,512	98,656	1,625	450,950	2,379	11,001	5,299	719,365	0,140	0,226	0,015	0,620
16	84...96	302,549	6,463	147,450	2,143	855,945	4,117	21,378	10,742	1327,322	0,114	0,234	0,017	0,635
Moyenne de l'industrie														
16		156,631	3,541	85,934	1,568	441,992	2,415	10,670	5,357	695,227	0,140	0,226	0,014	0,621
Matériel de transport														
17	61...67	99,092	0,990	110,917	1,098	235,772	0,999	3,786	1,197	449,567	0,253	0,226	0,009	0,512
17	68...74	166,180	1,467	158,557	1,385	611,819	1,074	7,788	2,836	944,344	0,169	0,177	0,008	0,645
17	75...83	432,107	3,525	300,744	2,041	1635,946	1,851	24,931	26,349	2393,728	0,127	0,180	0,010	0,683
17	84...96	794,057	6,638	1019,890	2,654	3914,518	3,140	54,939	87,478	5783,403	0,181	0,143	0,010	0,666
Moyenne de l'industrie														
17		424,604	3,572	458,781	1,912	1861,439	1,924	26,594	35,592	2771,418	0,177	0,176	0,009	0,638
Appareils et matériel électriques														
18	61...67	88,593	1,004	67,383	0,954	235,138	1,007	3,389	0,942	394,503	0,171	0,226	0,009	0,594
18	68...74	146,471	1,531	130,886	1,061	382,329	1,137	5,941	1,798	665,628	0,196	0,221	0,009	0,575
18	75...83	281,288	3,196	250,583	1,507	729,398	1,809	16,186	9,437	1277,455	0,195	0,222	0,012	0,571
18	84...96	686,809	7,400	756,480	2,150	3396,678	2,933	45,082	25,264	4885,049	0,168	0,151	0,010	0,671
Moyenne de l'industrie														
18		348,713	3,790	358,234	1,507	1463,114	1,868	21,030	11,293	2191,091	0,181	0,198	0,010	0,611
Produits minéraux non métalliques														
19	61...67	49,459	1,004	97,433	0,992	99,753	0,995	17,254	1,032	263,900	0,366	0,188	0,066	0,380
19	68...74	73,912	1,571	132,029	1,239	140,015	1,235	26,032	1,146	371,987	0,359	0,199	0,068	0,374
19	75...83	156,231	3,799	250,550	1,857	332,346	2,665	83,405	6,930	822,532	0,305	0,191	0,099	0,405
19	84...96	259,018	7,397	421,100	1,628	590,373	4,821	108,816	28,956	1379,307	0,304	0,188	0,079	0,429
Moyenne de l'industrie														
19		138,468	3,543	230,746	1,460	298,929	2,489	61,239	9,727	729,383	0,331	0,192	0,079	0,398

INDU	ANNÉE	D_L	P_L	D_K	P_K	D_M	P_M	D_E	P_E	CT(Y)	W_K	W_L	W_E	W_M
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Pétrole, charbon et leurs dérivés														
20	61...67	12,977	1,015	123,833	0,999	329,387	1,014	2,715	0,608	468,913	0,264	0,028	0,006	0,703
20	68...74	20,719	1,555	293,171	1,205	646,110	1,267	4,775	1,100	964,775	0,321	0,023	0,005	0,651
20	75...83	49,120	3,674	583,656	1,829	3195,221	4,632	34,104	6,622	3862,101	0,162	0,014	0,008	0,817
20	84...96	56,657	7,800	715,560	1,956	3226,004	7,092	80,612	10,068	4078,833	0,179	0,015	0,020	0,786
Moyenne de l'industrie														
20		38,486	4,001	475,116	1,576	2109,879	3,986	36,336	5,363	2659,817	0,221	0,019	0,011	0,749
Industrie chimique et produits connexes														
21	61...67	58,655	0,995	195,617	0,994	215,534	1,006	14,944	1,149	484,749	0,404	0,121	0,031	0,444
21	68...74	90,408	1,501	330,629	1,197	372,571	1,103	23,137	2,308	816,744	0,406	0,112	0,029	0,454
21	75...83	203,718	3,324	861,513	1,685	1113,014	2,311	83,235	18,127	2261,479	0,390	0,091	0,035	0,484
21	84...96	389,037	6,821	1489,520	2,111	2371,302	4,007	206,722	46,557	4456,581	0,335	0,088	0,046	0,531
Moyenne de l'industrie														
21		209,835	3,590	815,335	1,579	1178,011	2,333	96,281	20,440	2299,463	0,379	0,101	0,036	0,484
Manufactures diverses														
22	61...67	36,188	1,072	19,000	1,040	114,638	1,004	2,303	1,106	172,129	0,110	0,211	0,013	0,666
22	68...74	65,314	1,562	27,286	1,186	159,971	1,102	3,351	1,797	255,922	0,106	0,253	0,013	0,627
22	75...83	141,393	3,300	64,657	1,703	322,202	2,242	7,656	6,340	535,908	0,120	0,265	0,014	0,601
22	84...96	358,765	7,651	392,200	2,482	1065,116	5,011	26,304	24,266	1842,385	0,213	0,195	0,014	0,578
Moyenne de l'industrie														
22		106,349	2,495	60,711	1,435	265,791	1,746	6,125	4,697	438,977	0,118	0,248	0,014	0,621

Les trois industries de transformation dont le coût de production est le plus élevé sont « aliments et boissons », « papier et produits connexes » et « métaux ». Elles dominent également au titre de l'importance de la masse salariale.

Toutes proportions gardées, le secteur dont le capital est le plus élevé est « métaux », puisque près de 40 % des coûts de production sont alloués à cet intrant. L'industrie « produits du cuir » possède la plus grande proportion de la masse salariale, près de 30 %, investie dans les coûts de production. Par ailleurs, l'industrie de transformation la plus énergivore est « papier et produits connexes ». Enfin pour l'industrie « pétrole, charbon et leurs dérivés » les matières premières représente l'intrant que l'on retrouve dans la plus forte proportion.

Le tableau 9 révèle qu'en moyenne l'intrant capital a connu la plus forte croissance durant la période 1961-1967 avec une progression moyenne de 13,9 %. La seconde période 1968-1974 indique une forte progression des dépenses liées au travail. L'intrant qui a crû le plus rapidement durant la période 1975-1983 est l'énergie. La dernière période de notre échantillon, 1984-1996, est surtout marquée par une forte poussée des dépenses en capital.

Tableau 9 : Taux de variations des variables

INDU	ANNÉE	$\frac{K}{I}$	$\frac{L}{I}$	$\frac{E}{I}$	$\frac{M}{I}$	$\frac{Y}{I}$	$\frac{K}{K}$	$\frac{L}{L}$	$\frac{E}{E}$	$\frac{M}{M}$	$\frac{Y}{Y}$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Aliments et boissons											
4	61...67	0,059	0,032	0,080	0,061	0,020	0,020	0,044	-0,031	0,015	0,018
4	68...74	0,071	0,069	0,112	0,118	0,044	0,055	0,103	0,364	0,075	0,085
4	75...83	0,083	0,107	0,155	0,091	0,103	0,037	0,104	0,210	0,087	0,078
4	84...96	0,032	0,032	0,006	0,025	0,029	0,010	0,029	0,024	0,030	0,029
Moyenne de l'industrie											
4		0,057	0,059	0,078	0,067	0,049	0,028	0,066	0,131	0,051	0,051
Produits du tabac											
5	61...67	0,070	0,053	0,051	0,015	0,087	0,011	0,053	0,065	0,034	0,034
5	68...74	0,097	0,076	0,090	0,034	0,096	0,068	0,098	0,280	0,030	0,030
5	75...83	0,082	0,079	0,157	0,079	0,108	0,039	0,109	0,174	0,082	0,082
5	84...96	0,109	0,005	-0,019	0,034	0,079	-0,016	0,075	0,123	0,060	0,061
Moyenne de l'industrie											
5		0,086	0,063	0,092	0,046	0,096	0,034	0,088	0,172	0,053	0,053
Produits du caoutchouc											
6	61...67	0,208	0,036	0,130	0,093	0,068	-0,072	0,046	-0,006	0,016	0,016
6	68...74	0,132	0,088	0,252	0,244	0,086	0,046	0,093	0,305	0,050	0,050
6	75...83	0,050	0,125	0,181	0,124	0,137	0,051	0,134	0,142	0,071	0,071
6	84...96	0,089	0,083	0,047	0,095	0,128	-0,049	0,046	0,099	0,028	0,028
Moyenne de l'industrie											
6		0,117	0,086	0,170	0,159	0,104	0,006	0,084	0,171	0,044	0,044
Produits du cuir											
7	61...67	0,052	0,055	0,038	0,022	-0,026	0,061	0,044	-0,010	0,021	0,021
7	68...74	0,085	0,055	0,066	0,062	0,012	-0,001	0,089	0,120	0,063	0,063
7	75...83	0,023	0,060	0,107	0,062	0,065	0,047	0,103	0,143	0,084	0,084
7	84...96	0,048	-0,013	0,005	0,029	-0,004	-0,001	0,034	-0,003	0,039	0,039
Moyenne de l'industrie											
7		0,050	0,034	0,052	0,044	0,014	0,024	0,066	0,061	0,053	0,053
Produits du textile											
8	61...67	0,086	0,075	0,050	0,060	-0,044	-0,007	0,048	-0,005	0,006	0,006
8	68...74	0,104	0,103	0,112	0,074	0,133	0,042	0,085	0,234	0,039	0,039
8	75...83	0,034	0,073	0,137	0,037	0,081	0,082	0,107	0,217	0,064	0,064
8	84...96	0,004	0,019	0,016	0,012	0,019	-0,020	0,037	0,052	0,018	0,018
Moyenne de l'industrie											
8		0,046	0,059	0,072	0,039	0,047	0,021	0,067	0,121	0,032	0,032
Bonneterie et vêtements											
9	61...67	0,021	0,054	0,131	0,053	0,022	0,006	0,044	0,070	0,010	0,015
9	68...74	0,122	0,098	0,106	0,099	0,062	0,020	0,095	0,159	0,043	0,051
9	75...83	0,006	0,067	0,152	0,097	0,080	0,042	0,099	0,141	0,077	0,077
9	84...96	0,056	-0,004	0,053	0,022	0,022	0,001	0,030	0,039	0,020	0,020
Moyenne de l'industrie											
9		0,050	0,046	0,104	0,063	0,046	0,017	0,064	0,096	0,038	0,041
Produits du bois											
10	61...67	0,097	0,053	0,151	0,067	0,056	0,017	0,049	0,008	0,027	0,027
10	68...74	0,245	0,139	0,154	0,148	0,163	0,037	0,113	0,029	0,093	0,094
10	75...83	0,087	0,119	0,184	0,125	0,109	0,059	0,116	0,149	0,071	0,071
10	84...96	0,071	0,063	0,057	0,088	0,103	-0,011	0,041	0,013	0,047	0,047
Moyenne de l'industrie											
10		0,114	0,091	0,125	0,106	0,109	0,021	0,076	0,050	0,059	0,059
Meubles et accessoires d'ameublement											
11	61...67	0,119	0,082	0,106	0,086	0,023	0,007	0,046	0,013	0,016	0,016
11	68...74	0,124	0,111	0,119	0,118	0,057	0,009	0,083	0,101	0,069	0,069
11	75...83	0,005	0,071	0,113	0,048	0,070	0,065	0,105	0,187	0,086	0,086
11	84...96	0,042	0,042	0,054	0,057	0,058	-0,010	0,032	0,009	0,031	0,031
Moyenne de l'industrie											
11		0,062	0,070	0,091	0,072	0,055	0,016	0,063	0,074	0,050	0,050

INDU	ANNÉE	$R&$	$R&$	$R&$	$M&$	$R&$	$R&$	$R&$	$R&$	$R&$	$R&$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Papier et produits connexes											
12	61...67	0,108	0,061	0,057	0,071	0,048	0,014	0,043	0,012	0,013	0,013
12	68...74	0,087	0,094	0,124	0,109	0,137	0,066	0,086	0,057	0,077	0,077
12	75...83	0,099	0,104	0,166	0,090	0,071	0,070	0,120	0,166	0,085	0,085
12	84...96	0,055	0,026	0,028	0,053	0,121	-0,008	0,039	0,055	0,045	0,045
Moyenne de l'industrie											
12		0,084	0,070	0,094	0,079	0,097	0,034	0,072	0,079	0,057	0,057
Imprimerie, édition et produits connexes											
13	61...67	0,043	0,061	0,080	0,079	0,010	-0,019	0,036	0,000	0,013	0,013
13	68...74	0,054	0,093	0,110	0,127	0,078	0,064	0,080	0,282	0,077	0,057
13	75...83	0,045	0,117	0,149	0,126	0,115	0,051	0,114	0,175	0,101	0,093
13	84...96	0,061	0,033	0,072	0,055	0,039	-0,003	0,028	0,070	0,050	0,050
Moyenne de l'industrie											
13		0,052	0,075	0,103	0,095	0,064	0,024	0,065	0,133	0,063	0,057
Métaux											
14	61...67	0,090	0,076	0,078	0,082	0,050	0,027	0,034	0,058	0,027	0,027
14	68...74	0,107	0,122	0,147	0,133	0,101	0,054	0,091	0,381	0,077	0,077
14	75...83	0,112	0,109	0,153	0,098	0,129	0,054	0,134	0,269	0,093	0,093
14	84...96	0,059	0,042	0,088	0,059	0,074	0,020	0,032	0,146	0,020	0,020
Moyenne de l'industrie											
14		0,090	0,085	0,117	0,090	0,091	0,038	0,074	0,216	0,054	0,054
Produits métalliques											
15	61...67	0,067	0,064	0,094	0,053	0,073	0,033	0,038	-0,030	0,011	0,011
15	68...74	0,092	0,087	0,122	0,118	0,093	0,041	0,084	0,379	0,069	0,069
15	75...83	0,051	0,070	0,134	0,123	0,052	0,057	0,105	0,231	0,086	0,086
15	84...96	0,030	0,031	0,044	0,041	0,042	-0,013	0,021	0,047	0,031	0,031
Moyenne de l'industrie											
15		0,056	0,060	0,096	0,083	0,062	0,027	0,062	0,157	0,051	0,051
Machinerie (sauf le matériel électrique)											
16	61...67	0,091	0,089	0,027	0,094	0,031	0,004	0,042	-0,078	0,013	0,013
16	68...74	0,084	0,139	0,171	0,133	0,104	0,040	0,089	0,144	0,053	0,052
16	75...83	0,108	0,088	0,128	0,080	0,066	0,055	0,098	0,164	0,089	0,089
16	84...96	0,016	0,069	0,056	0,100	0,094	0,005	0,031	0,026	0,031	0,031
Moyenne de l'industrie											
16		0,071	0,093	0,096	0,100	0,077	0,026	0,064	0,071	0,049	0,049
Matériel de transport											
17	61...67	0,091	0,087	0,096	0,195	0,103	0,010	0,034	-0,059	0,001	0,001
17	68...74	0,044	0,057	0,130	0,118	0,098	0,055	0,081	0,543	0,024	0,024
17	75...83	0,098	0,120	0,151	0,129	0,129	0,070	0,115	0,258	0,088	0,088
17	84...96	0,053	0,047	0,023	0,135	0,117	-0,006	0,028	0,100	0,041	0,041
Moyenne de l'industrie											
17		0,071	0,077	0,096	0,141	0,114	0,032	0,065	0,212	0,043	0,043
Appareils et matériel électriques											
18	61...67	0,087	0,069	0,079	0,098	0,094	-0,007	0,035	0,017	0,010	0,011
18	68...74	0,112	0,098	0,104	0,097	0,069	0,047	0,084	0,332	0,038	0,038
18	75...83	0,080	0,095	0,167	0,098	0,110	0,050	0,119	0,167	0,073	0,073
18	84...96	0,029	0,028	0,028	0,154	0,049	0,040	0,034	0,029	0,017	0,017
Moyenne de l'industrie											
18		0,071	0,067	0,086	0,117	0,076	0,034	0,064	0,128	0,032	0,032
Produits minéraux non métalliques											
19	61...67	0,095	0,056	0,022	0,043	0,053	0,003	0,035	0,013	0,022	0,022
19	68...74	0,070	0,099	0,169	0,122	0,111	0,054	0,089	0,424	0,049	0,049
19	75...83	0,046	0,072	0,106	0,072	0,059	0,051	0,116	0,182	0,108	0,108
19	84...96	-0,040	0,000	0,008	0,018	0,035	-0,033	0,020	0,043	0,019	0,019
Moyenne de l'industrie											
19		0,041	0,057	0,079	0,065	0,065	0,020	0,068	0,172	0,053	0,052

INDU	ANNÉE	$\mathcal{K}$	$\mathcal{L}$	$\mathcal{M}$	$\mathcal{N}$	$\mathcal{O}$	$\mathcal{P}$	$\mathcal{Q}$	$\mathcal{R}$	$\mathcal{S}$	$\mathcal{T}$	$\mathcal{U}$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
Pétrole, charbon et leurs dérivés												
20	61...67	0,015	0,038	0,027	0,019	0,067	0,015	0,034	-0,022	-0,004	-0,005	
20	68...74	0,175	0,108	0,155	0,231	0,128	0,047	0,078	0,604	0,099	0,099	
20	75...83	0,087	0,086	0,345	0,152	0,213	0,080	0,125	0,222	0,177	0,176	
20	84...96	-0,058	-0,001	-0,027	-0,025	0,062	-0,017	0,022	0,093	-0,005	-0,005	
Moyenne de l'industrie												
20		0,047	0,055	0,128	0,089	0,120	0,030	0,065	0,219	0,069	0,069	
Industrie chimique et des produits connexes												
21	61...67	0,065	0,064	0,084	0,077	0,067	0,010	0,037	-0,080	0,001	0,001	
21	68...74	0,114	0,078	0,082	0,128	0,098	0,042	0,083	0,657	0,054	0,054	
21	75...83	0,094	0,109	0,188	0,126	0,108	0,047	0,109	0,216	0,098	0,098	
21	84...96	0,012	0,027	0,030	0,047	0,051	0,002	0,031	0,179	0,026	0,026	
Moyenne de l'industrie												
21		0,067	0,067	0,093	0,092	0,080	0,024	0,064	0,247	0,046	0,046	
Manufactures diverses												
22	61...67	0,139	0,074	0,104	0,081	0,072	0,045	0,048	0,050	0,005	0,018	
22	68...74	0,100	0,140	0,085	0,099	0,103	0,030	0,090	0,255	0,046	0,055	
22	75...83	0,118	0,097	0,151	0,098	0,104	0,057	0,116	0,160	0,138	0,138	
22	84...96	0,222	0,061	0,085	0,098	0,114	0,015	0,046	0,085	0,037	0,038	
Moyenne de l'industrie												
22		0,121	0,108	0,114	0,096	0,099	0,042	0,091	0,174	0,075	0,080	

## 4 Présentation du modèle économétrique

En vue de répondre aux questions soulevées dans les parties initiales du rapport, nous proposons d'exploiter une fonction de coût de type translog. La fonction de coût qui résulte d'une production ayant comme intrant le capital, le travail, l'énergie et les matières premières et qui en plus est formulée pour tenir compte des dépenses en infrastructures routières et non routières ainsi que du progrès technique s'écrit généralement de la façon suivante :

$$C(Y) = C(Y, P_K, P_L, P_E, P_M, R, S, T). \quad (4.1)$$

Techniquement, la translog constitue un développement de Taylor limité à l'ordre 2 de la fonction de coût en (4.1) dont les arguments sont exprimés sous la forme d'un logarithme naturel. Il est important de mentionner que, pour être cohérent avec la théorie de la production, il faut que certaines hypothèses précises soient imposées. La première, que nous imposons dès le départ, est celle de l'homogénéité d'ordre 1 dans les prix de la fonction de coût. Cela suppose que, en doublant le prix de tous les intrants, le coût doit aussi doubler. L'homogénéité d'ordre 1 est forcée en normalisant le coût et les prix des intrants par le prix d'un intrant de référence. Ici, les variables de coût et de prix sont normalisées par rapport au prix du capital, ce qui correspond à la notation de l'équation (3) dans le texte de Nadiri et Mamuneas (1998). Nous obtenons ainsi :

$$\begin{aligned} \ln \tilde{C} = & \alpha_0 + \alpha_{Li} \ln \tilde{p}_L + \alpha_{Ei} \ln \tilde{p}_E + \alpha_{Mi} \ln \tilde{p}_M + \alpha_Y \ln Y + \alpha_R \ln R + \alpha_S \ln S + \alpha_T \ln T \\ & + 1/2 (\beta_{LL} \ln \tilde{p}_L^2 + \beta_{EE} \ln \tilde{p}_E^2 + \beta_{MM} \ln \tilde{p}_M^2 + \beta_{YY} \ln Y^2 + \beta_{RR} \ln R^2 + \beta_{SS} \ln S^2 + \beta_{TT} \ln T^2) \\ & + (\beta_{LE} \ln \tilde{p}_E + \beta_{LM} \ln \tilde{p}_M + \beta_{LY} \ln Y + \beta_{LR} \ln R + \beta_{LS} \ln S + \beta_{LT} \ln T) \ln \tilde{p}_L \\ & + (\beta_{EM} \ln \tilde{p}_M + \beta_{EY} \ln Y + \beta_{ER} \ln R + \beta_{ES} \ln S + \beta_{ET} \ln T) \ln \tilde{p}_E \\ & + (\beta_{MY} \ln Y + \beta_{MR} \ln R + \beta_{MS} \ln S + \beta_{MT} \ln T) \ln \tilde{p}_M \\ & + (\beta_{YR} \ln R + \beta_{YS} \ln S + \beta_{YT} \ln T) \ln Y \\ & + \beta_{RS} \ln R \ln S + \beta_{RT} \ln R \ln T + \beta_{ST} \ln S \ln T + \varepsilon_C . \end{aligned} \quad (4.2)$$

À noter que par convention, la notation  $\ln W^2$  représente le carré de la variable  $\ln W$ , par exemple. Aussi les paramètres indicés de  $i$  signifient qu'ils sont propres à une industrie  $i$  donnée. Nadiri et Mamuneas (1998) effectuent la même démarche, c'est-à-dire qu'ils admettent des coefficients  $\alpha_L, \alpha_E$  et  $\alpha_M$  qui varient d'une industrie à l'autre. En conséquence de cette hypothèse, les constantes que l'on retrouve dans les équations de parts ci-dessous sont propres aux industries. Lors de nos estimations empiriques du modèle, nous avons tenté de permettre à d'autres coefficients de varier selon l'industrie. Nos efforts ont toutefois été vains, la cause étant de toute évidence, la surparamétrisation. Nous avons aussi essayé d'estimer les relations par groupes d'industries. Statistiquement, il s'est avéré préférable de considérer un seul et unique groupe.

L'estimation économétrique de l'équation (4.2) s'effectue généralement en complétant la relation par les équations de demande d'intrants exprimées sous forme de parts. Selon le lemme de

Sheppard, elles s'obtiennent en prenant la dérivée première de (4.2) par rapport au logarithme naturel du prix de l'intrant concerné. Nous obtenons alors :

$$W_L = \alpha_{Li} + \beta_{LL} \ln \tilde{p}_L + \beta_{LE} \ln \tilde{p}_E + \beta_{LM} \ln \tilde{p}_M + \beta_{LY} \ln Y + \beta_{LR} \ln R + \beta_{LS} \ln S + \beta_{LT} \ln T + \varepsilon_L \quad (4.3)$$

$$W_E = \alpha_{Ei} + \beta_{LE} \ln \tilde{p}_L + \beta_{EE} \ln \tilde{p}_E + \beta_{EM} \ln \tilde{p}_M + \beta_{EY} \ln Y + \beta_{ER} \ln R + \beta_{ES} \ln S + \beta_{ET} \ln T + \varepsilon_E \quad (4.4)$$

$$W_M = \alpha_{Mi} + \beta_{LM} \ln \tilde{p}_L + \beta_{EM} \ln \tilde{p}_E + \beta_{MM} \ln \tilde{p}_M + \beta_{MY} \ln Y + \beta_{MR} \ln R + \beta_{MS} \ln S + \beta_{MT} \ln T + \varepsilon_M, \quad (4.5)$$

où

$\tilde{C} = C / P_K$  est le coût de production normalisé d'une industrie particulière;

$\tilde{p}_L = P_L / P_K$  est le prix du facteur de production travail normalisé;

$\tilde{p}_E = P_E / P_K$  est le prix du facteur de production énergie normalisé;

$\tilde{p}_M = P_M / P_K$  est le prix du facteur de production matières premières normalisé;

$P_K$  = le prix du facteur de production capital;

$Y$  = le niveau de production en M\$ réels de 1965<sup>4</sup>;

$T$  = une variable de tendance pour estimer les retombées du progrès technologique;

$R$  = le stock de capital routier exprimé en M\$ réels de 1965;

$S$  = la dépense en infrastructures non routières exprimée en M\$ réels de 1965;

$W_K$  = la part des dépenses de capital;

$W_L$  = la part des dépenses liées à la main-d'œuvre;

$W_E$  = la part des dépenses en énergie;

$W_M$  = la part des dépenses en matières premières;

$\varepsilon_C, \varepsilon_L, \varepsilon_E, \varepsilon_M$  sont des erreurs résiduelles.

En ce qui a trait à la définition des variables, dans les équations précédentes, les variables de prix sont précisément des indices de prix réels dont la valeur est 1 pour une période de référence. Analytiquement, c'est le résultat que l'on obtient conséquemment à la définition même du coût total nominal  $C$  qui, pour deux intrants représentant le travail et le capital, se calcule comme suit :

$$C = p_L^* L^* + p_K^* K^* .$$

Les valeurs  $p^*$  représentent des prix nominaux, alors que  $L^*$  et  $K^*$  sont des quantités de travail et de capital. Soit  $p_{Lr}^*$ , par exemple, le prix de l'intrant  $L$  à la période de référence, alors :

$$C = p_L^* L^* + p_K^* K^* = p_L^* \frac{p_{Lr}^*}{p_{Lr}^*} L^* + p_K^* \frac{p_{Kr}^*}{p_{Kr}^*} K^* = p_L L + p_K K ,$$

<sup>4</sup> Nos estimations sont toutes produites en utilisant des unités exprimées en dollars de 1965, la raison étant de pouvoir conserver le plus d'observations possible. Utiliser d'autres dates de référence peut mener à exclure certaines industries de l'estimation. Ceci est lié au manque d'observations pour certaines années. L'année 1965 apparaissait à ce titre comme optimale.

et donc le coût total nominal s'exprime également en indices de prix réels  $p_L = p_L^* / p_{Lr}^*$  et  $p_K = p_K^* / p_{Kr}^*$  ainsi qu'en quantités  $L = p_{Lr}^* L^*$  et  $K = p_{Kr}^* K^*$  exprimées en valeurs de la période de référence.

Le système complet implique les relations formées des équations (4.2) à (4.5) qui incorporent explicitement l'hypothèse de symétrie, selon laquelle  $\beta_{IJ} = \beta_{JI}$ . Les paramètres sont estimés par la technique à régression empilée (seemingly unrelated regression (SUR)) qui modélise simultanément toutes ces équations.

Dans l'estimation empirique du modèle, nous incorporons parfois des variables de tendance permettant de capter des sous-périodes bien distinctes caractérisant la période totale couverte par l'étude :

- T\_1 est une tendance sur la période 1960-1973, 1973 étant l'année du choc pétrolier;
- T\_2 est une variable de tendance pour la période 1974-1982, 1982 correspondant à l'année de mise en place de la libéralisation dans les marchés des matières premières;
- T\_3 est une tendance pour la période 1983-1989, 1989 étant la date d'entrée en vigueur du libre-échange;
- T\_4 couvre le reste de la période de l'échantillon qui se termine en 1996.

D'autres variables binaires s'appliquant à une sous-période donnée sont introduites dans le modèle. Le paramètre clé d'intérêt dans cette étude est l'élasticité du coût d'une industrie par rapport au stock de capital routier. Il peut se calculer par l'équation suivante :

$$\begin{aligned} \eta_{CR} &= \partial \ln C / \partial \ln R \\ &= \alpha_R + \beta_{RR} \ln R + \beta_{LR} \ln \tilde{p}_L + \beta_{ER} \ln \tilde{p}_E + \beta_{MR} \ln \tilde{p}_M + \beta_{YR} \ln Y + \beta_{RS} \ln S + \beta_{RT} \ln T \quad (4.6) \end{aligned}$$

Cette dernière équation fait clairement ressortir le fait que la fonction de distribution de l'estimateur du paramètre  $\eta_{CR}$  dépend directement des fonctions de distribution des estimateurs des paramètres  $\alpha_R, \beta_{RR}, \beta_{LR}, \beta_{ER}, \beta_{MR}, \beta_{YR}, \beta_{RS}$  et  $\beta_{RT}$ . Ceci doit être pris en compte dans le calcul du degré de précision de l'estimation de cette élasticité. Par souci de flexibilité et de simplicité, les paramètres définis comme une dérivée, que l'on retrouve en (4.6), sont calculés numériquement par le programme d'estimation.

Les bénéfices marginaux ( $BM$ ) d'accroître le stock d'infrastructures routières sont directement liés au paramètre  $\eta_{CR}$ , comme le montre l'équation suivante où  $BM = -\eta_{CR} (C/R)$ . Ce paramètre ainsi que l'écart-type qui lui est associé sont aussi produits numériquement.



## 4.1 Estimation économétrique

Dans cette section, nous présentons les résultats de l'estimation de différentes variantes de modèle formulées pour le contexte de notre étude. La première variante ne considère comme intrants de production que le travail, le capital et les matières premières. La seconde introduit l'énergie comme intrant supplémentaire de production, ce qui correspond à une formulation *KLEM*. Pour faciliter la lecture des tableaux de résultats, le modèle complet de type *KLEM* est algébriquement écrit comme suit :

$$\begin{aligned} \ln COUT = & A_0 * CST + A\_L * X\_L + A\_E * X\_E + A\_M * X\_M + A\_Y * Y + A\_R * R + A\_S * S + A\_T * T + \\ & A\_REC * RECES + A\_3 * T\_3 \\ + & B\_LL * X\_L2 + B\_EE * X\_E2 + B\_MM * X\_M2 + B\_YY * Y2 + B\_RR * R2 + B\_SS * S2 + B\_TT * T2 \\ + & B\_LE * X\_LE + B\_LM * X\_LM + B\_LY * X\_LY + B\_LR * X\_LR + B\_LS * X\_LS + B\_LT * X\_LT \\ + & B\_LT4 * X\_LT\_4 \\ + & B\_EM * X\_EM + B\_EY * X\_EY + B\_ER * X\_ER + B\_ES * X\_ES + B\_ET * X\_ET \\ + & B\_ET2 * X\_ET\_2 + B\_ET3 * X\_ET\_3 + B\_ET4 * X\_ET\_4 \\ + & B\_MY * X\_MY + B\_MR * X\_MR + B\_MS * X\_MS + B\_MT * X\_MT \\ + & B\_MT3 * X\_MT\_3 + B\_MT4 * X\_MT\_4 \\ + & B\_YR * YR + B\_YS * YS + B\_YT * YT + B\_RS * RS + B\_RT * RT + B\_ST * ST \\ + & A\_L05 * X\_LD05 + A\_L06 * X\_LD06 + A\_L07 * X\_LD07 + A\_L08 * X\_LD08 + A\_L09 * X\_LD09 \\ + & A\_L10 * X\_LD10 + A\_L11 * X\_LD11 + A\_L12 * X\_LD12 + A\_L13 * X\_LD13 + A\_L14 * X\_LD14 \\ + & A\_L15 * X\_LD15 + A\_L16 * X\_LD16 + A\_L17 * X\_LD17 + A\_L18 * X\_LD18 + A\_L19 * X\_LD19 \\ + & A\_L21 * X\_LD21 + A\_L22 * X\_LD22 + A\_E05 * X\_ED05 + A\_E06 * X\_ED06 + A\_E07 * X\_ED07 \\ + & A\_E08 * X\_ED08 + A\_E09 * X\_ED09 + A\_E10 * X\_ED10 + A\_E11 * X\_ED11 + A\_E12 * X\_ED12 \\ + & A\_E13 * X\_ED13 + A\_E14 * X\_ED14 + A\_E15 * X\_ED15 + A\_E16 * X\_ED16 + A\_E17 * X\_ED17 \\ + & A\_E18 * X\_ED18 + A\_E19 * X\_ED19 + A\_E21 * X\_ED21 + A\_E22 * X\_ED22 + A\_M05 * X\_MD05 \\ + & A\_M06 * X\_MD06 + A\_M07 * X\_MD07 + A\_M08 * X\_MD08 + A\_M09 * X\_MD09 + A\_M10 * X\_MD10 \\ + & A\_M11 * X\_MD11 + A\_M12 * X\_MD12 + A\_M13 * X\_MD13 + A\_M14 * X\_MD14 + A\_M15 * X\_MD15 \\ + & A\_M16 * X\_MD16 + A\_M17 * X\_MD17 + A\_M18 * X\_MD18 + A\_M19 * X\_MD19 + A\_M21 * X\_MD21 \\ + & A\_M22 * X\_MD22, \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} W\_L = & A\_L * CST + B\_LL * X\_L + B\_LE * X\_E + B\_LM * X\_M + B\_LY * Y + B\_LR * R + B\_LS * S + B\_LT * T \\ & + B\_LT4 * T\_4 \\ & + A\_L05 * CSTD05 + A\_L06 * CSTD06 + A\_L07 * CSTD07 + A\_L08 * CSTD08 \\ & + A\_L09 * CSTD09 + A\_L10 * CSTD10 + A\_L11 * CSTD11 + A\_L12 * CSTD12 \\ & + A\_L13 * CSTD13 + A\_L14 * CSTD14 + A\_L15 * CSTD15 + A\_L16 * CSTD16 \\ & + A\_L17 * CSTD17 + A\_L18 * CSTD18 + A\_L19 * CSTD19 + A\_L21 * CSTD21 \\ & + A\_L22 * CSTD22, \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} W\_E = & A\_E * CST + B\_LE * X\_L + B\_EE * X\_E + B\_EM * X\_M + B\_EY * Y + B\_ER * R + B\_ES * S + B\_ET * T \\ & + B\_ET2 * T\_2 + B\_ET3 * T\_3 + B\_ET4 * T\_4 \\ & + A\_E05 * CSTD05 + A\_E06 * CSTD06 + A\_E07 * CSTD07 + A\_E08 * CSTD08 \\ & + A\_E09 * CSTD09 + A\_E10 * CSTD10 + A\_E11 * CSTD11 + A\_E12 * CSTD12 \\ & + A\_E13 * CSTD13 + A\_E14 * CSTD14 + A\_E15 * CSTD15 + A\_E16 * CSTD16 \\ & + A\_E17 * CSTD17 + A\_E18 * CSTD18 + A\_E19 * CSTD19 + A\_E21 * CSTD21 \\ & + A\_E22 * CSTD22, \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} W\_M = & A\_M * CST + B\_LM * X\_L + B\_EM * X\_E + B\_MM * X\_M + B\_MY * Y + B\_MR * R + B\_MS * S + B\_MT * T \\ & + B\_MT3 * T\_3 + B\_MT4 * T\_4 \\ & + A\_M05 * CSTD05 + A\_M06 * CSTD06 + A\_M07 * CSTD07 + A\_M08 * CSTD08 \\ & + A\_M09 * CSTD09 + A\_M10 * CSTD10 + A\_M11 * CSTD11 + A\_M12 * CSTD12 \\ & + A\_M13 * CSTD13 + A\_M14 * CSTD14 + A\_M15 * CSTD15 + A\_M16 * CSTD16 \\ & + A\_M17 * CSTD17 + A\_M18 * CSTD18 + A\_M19 * CSTD19 + A\_M21 * CSTD21 \\ & + A\_M22 * CSTD22. \end{aligned}$$

La notation explicite utilisée pour l'estimation de la fonction de coût est détaillée au tableau 10.

Les constantes représentent des effets relatifs par rapport à une base qui correspond dans toutes les estimations à la première industrie de la liste concernée. Les autres équations (les équations de parts) résultent directement de la spécification de la fonction de coût utilisée. Comme différences, on retrouve, par exemple, des variables comme CSTD07 en remplacement de la variable  $X_{D07}$ , qui permet de rendre l'effet propre à l'industrie 7 pour un intrant & donné.

Pour les mêmes raisons avancées dans l'étude de Nadiri et Mamuneas (1998), l'estimation des modèles est effectuée en admettant un processus d'autocorrélation d'ordre 1 particulier à chaque terme d'erreur des équations. Il s'agit en effet d'une façon simple d'inclure des effets de dépendance temporelle dans le modèle. Les coefficients d'autocorrélation d'ordre 1 des erreurs sont forts et significativement différents de zéro.

Afin d'introduire d'une autre façon de la dépendance temporelle, nous avons ajouté des variables de retard touchant la variable stock d'infrastructures routières, mais sans vraiment de succès. Ceci avait comme conséquence de générer de la colinéarité, ce qui réduisait la qualité des estimations. Nous avons donc décidé de nous limiter à la prise en compte de la corrélation temporelle des erreurs pour capter les effets de dynamique.

Tableau 10 : Nomenclature

Variable	Définition de la variable dans la colonne « Variable », telle qu'elle apparaît
CST	constante
X_L	$\ln(\text{prix du travail} / \text{prix du capital})$
X_E	$\ln(\text{prix de l'énergie} / \text{prix du capital})$
X_M	$\ln(\text{prix des matières premières} / \text{prix du capital})$
Y	$\ln(\text{produit intérieur brut en M\$ courants} / \text{déflateur du PIB})$
R	$\ln(\text{stock de capital routier en M\$ constants})$
S	$\ln(\text{dépenses en infrastructures non routière en M\$ constants})$
T	$\ln(\text{indicateur du temps } t=1,2 \dots)$
X_L2	.5*le carré de X_L (variable associée au coefficient B_LL de l'équa. 4.2)
X_E2	...
X_M2	...
Y <sup>2</sup>	...
R2	...
S2	...
T2	...
X_LE	interaction X_L*X_E associée au coefficient B_LE
X_LM	interaction X_L*X_M associée au coefficient B_LM
X_LY	...
X_LR	...
X_LS	...
X_LT	...
X_EM	...
X_EY	...
X_ER	...
X_ES	...
X_ET	...
X_MY	...
X_MR	...
X_MS	...
X_MT	jusqu'ici, diverses interactions qui parlent par elles-mêmes (voir équa. 4.2)
YR	interaction de Y et R
YS	...
YT	...
RS	interaction de stock routier et dépenses en infrastructures non routières
RT	interaction de stock de capital routier et du temps,
ST	interaction des dépenses non routières et du temps, dernier coefficient de l'équa. 4.2.
T_2	est une variable de tendance pour la période 1974-1982, année qui correspond à la libéralisation dans les marchés des matières premières
T_3	une tendance pour la période 1983-1989, date d'entrée en vigueur du libre-échange
T_4	couvre le reste de la période de l'échantillon
RECES	variable binaire captant la période de récession 1978 à 1981.

**Pour le reste, si l'on prend le secteur 7, par exemple :**

X_LD07	différence d'effets propre au secteur 7 concernant le travail (L)
X_ED07	différence d'effets propre au secteur 7 concernant l'énergie (E)
X_MD07	différence d'effets propre au secteur 7 concernant les mat. premières (M)

## 5 Résultats de l'estimation du modèle économétrique

Dans cette section, les résultats d'estimation du modèle économétrique développé dans la section précédente sont présentés et analysés, en commençant avec les paramètres  $\alpha$  et  $\beta$  qui définissent la fonction translog explicitée à l'équation (4.2). Nous considérons la version *KLEM* du modèle et nous traitons en plus des conséquences d'inclure l'énergie comme intrant appartenant à la fonction de coût. Nous analysons par ailleurs la pertinence d'introduire dans le modèle des variables de tendance permettant de lui assurer une stabilité temporelle.

Pour faire suite à la présentation de l'estimation des paramètres, nous avons analysé les retombées du stock d'infrastructures routières sur les coûts de production et sur les demandes d'intrants. L'analyse porte d'abord sur l'élasticité du coût de production d'une industrie par rapport au stock de capital routier ( $\eta_{CR}$ ), pour ensuite passer à la mesure des bénéfices marginaux (*BM*), laquelle est directement liée au paramètre  $\eta_{CR}$  par la relation  $BM = -\eta_{CR} (C / R)$ .

### 5.1 Résultats de l'estimation

#### 5.1.1 Estimation des paramètres de la fonction translog

Le tableau 11 indique les estimations des paramètres de la fonction de coût retenue pour la version *KLEM*. La forme définitive du modèle découle de l'application de plusieurs tests statistiques touchant la spécification du modèle, la stabilité temporelle des paramètres et la forme de dynamique prise en compte. Tel qu'il est indiqué dans la section précédente, l'estimation économétrique de la fonction de coût s'effectue en complétant la relation par les équations de demandes d'intrants exprimées sous forme de parts. Tous les paramètres sont estimés conjointement par une méthode SUR itérative de type maximum de vraisemblance. Le tableau 12 réunit les résultats de l'estimation des fonctions de parts.

La fonction de coût translog retenue comprend les facteurs de production capital, travail, énergie et matières premières. Le lecteur trouvera à l'annexe B les résultats de l'estimation du modèle sélectionné, ceux de la sous-formulation *KLM*, c'est-à-dire sans l'intrant énergie (*E*), ainsi que l'estimation de la version *KLEM*, sans tendances temporelles. L'annexe B fait entre autres ressortir l'utilité d'inclure le facteur de production énergie dans le modèle. Nous pouvons aussi noter la plus grande significativité des mesures d'intérêt lorsque le facteur énergie est présent dans le modèle.

Tableau 11 : Estimation *KLEM* de la fonction de coût

Nb d'observations :	548	In déterminant de Sigma :	-33,193
Nb de paramètres estimés:	176	In vraisemblance :	5984,606
Nb de paramètres libres:	95		

**Fonction de coût** **R2 :** **0,997**

Variable	Paramètre	Estimation	Écart-type	T-Student	Prob >  t
CST	A0	35,358	151,807	0,233	0,816
X_L	A_L	0,480	0,170	2,830	0,005
X_E	A_E	-0,126	0,046	-2,734	0,006
X_M	A_M	-0,458	0,313	-1,464	0,143
Y	A_Y	-0,412	1,745	-0,236	0,813
R	A_R	-5,077	21,719	-0,234	0,815
S	A_S	0,495	3,365	0,147	0,883
T	A_T	3,439	8,960	0,384	0,701
RECES	A_REC	0,015	0,020	0,750	0,453
T_3	A_3	-0,052	0,033	-1,589	0,112
X_L2	B_LL	0,050	0,009	5,833	0,000
X_E2	B_EE	0,001	0,000	2,765	0,006
X_M2	B_MM	0,047	0,013	3,528	0,000
Y2	B_YY	0,062	0,054	1,141	0,254
R2	B_RR	0,364	1,583	0,230	0,818
S2	B_SS	-0,015	0,052	-0,287	0,774
T2	B_TT	0,259	0,259	0,999	0,318
X_LE	B_LE	-0,003	0,001	-2,278	0,023
X_LM	B_LM	-0,046	0,008	-5,472	0,000
X_LY	B_LY	-0,039	0,004	-8,825	0,000
X_LR	B_LR	0,000	0,012	0,031	0,975
X_LS	B_LS	0,001	0,002	0,690	0,490
X_LT	B_LT	-0,008	0,007	-1,151	0,250
X_LT_4	B_LT4	-0,010	0,002	-4,313	0,000
X_EM	B_EM	0,000	0,002	0,179	0,858
X_EY	B_EY	-0,008	0,001	-6,126	0,000
X_ER	B_ER	0,013	0,003	4,114	0,000
X_ES	B_ES	0,000	0,000	-0,248	0,804
X_ET	B_ET	0,005	0,002	2,388	0,017
X_ET_2	B_ET2	0,000	0,000	1,953	0,051
X_ET_3	B_ET3	-0,003	0,001	-3,849	0,000
X_ET_4	B_ET4	0,004	0,001	5,962	0,000
X_MY	B_MY	0,081	0,009	9,138	0,000
X_MR	B_MR	0,038	0,022	1,739	0,082
X_MS	B_MS	0,001	0,003	0,374	0,708
X_MT	B_MT	0,006	0,013	0,460	0,646
X_MT_3	B_MT3	-0,010	0,004	-2,287	0,022
X_MT_4	B_MT4	0,018	0,005	3,889	0,000
YR	B_YR	0,088	0,124	0,709	0,478
YS	B_YS	-0,013	0,023	-0,573	0,567
YT	B_YT	-0,013	0,062	-0,217	0,828
RS	B_RS	-0,018	0,248	-0,074	0,941
RT	B_RT	-0,267	0,627	-0,425	0,671
ST	B_ST	0,007	0,120	0,058	0,954
X_LD05	A_L05	-0,169	0,034	-4,925	0,000
X_LD06	A_L06	-0,132	0,034	-3,884	0,000
X_LD07	A_L07	-0,231	0,096	-2,408	0,016
X_LD08	A_L08	-0,145	0,049	-2,944	0,003
X_LD09	A_L09	-0,070	0,061	-1,151	0,250
X_LD10	A_L10	-0,082	0,034	-2,388	0,017
X_LD11	A_L11	-0,057	0,038	-1,475	0,140

X_LD12	A_L12	-0,091	0,034	-2,678	0,007
X_LD13	A_L13	-0,038	0,034	-1,118	0,264
X_LD14	A_L14	-0,119	0,034	-3,482	0,001
X_LD15	A_L15	-0,038	0,034	-1,135	0,257
X_LD16	A_L16	-0,076	0,034	-2,234	0,026
X_LD17	A_L17	-0,090	0,034	-2,666	0,008
X_LD18	A_L18	-0,168	0,056	-3,011	0,003
X_LD19	A_L19	-0,097	0,034	-2,838	0,005
X_LD21	A_L21	-0,126	0,036	-3,544	0,000
X_LD22	A_L22	-0,074	0,034	-2,166	0,030
X_ED05	A_E05	-0,041	0,010	-4,267	0,000
X_ED06	A_E06	-0,022	0,009	-2,473	0,013
X_ED07	A_E07	-0,051	0,012	-4,179	0,000
X_ED08	A_E08	-0,006	0,009	-0,638	0,524
X_ED09	A_E09	-0,032	0,012	-2,609	0,009
X_ED10	A_E10	-0,009	0,009	-0,957	0,339
X_ED11	A_E11	-0,030	0,009	-3,244	0,001
X_ED12	A_E12	0,054	0,010	5,546	0,000
X_ED13	A_E13	-0,042	0,010	-4,446	0,000
X_ED14	A_E14	0,115	0,015	7,697	0,000
X_ED15	A_E15	-0,023	0,009	-2,607	0,009
X_ED16	A_E16	-0,028	0,009	-3,073	0,002
X_ED17	A_E17	-0,028	0,011	-2,575	0,010
X_ED18	A_E18	-0,038	0,038	-1,003	0,316
X_ED19	A_E19	0,039	0,009	4,353	0,000
X_ED21	A_E21	0,011	0,009	1,172	0,241
X_ED22	A_E22	-0,036	0,009	-3,886	0,000
X_MD05	A_M05	0,109	0,069	1,586	0,113
X_MD06	A_M06	0,029	0,061	0,483	0,629
X_MD07	A_M07	0,149	0,076	1,949	0,051
X_MD08	A_M08	-0,019	0,065	-0,283	0,777
X_MD09	A_M09	0,101	0,093	1,083	0,279
X_MD10	A_M10	0,002	0,074	0,023	0,982
X_MD11	A_M11	0,064	0,060	1,076	0,282
X_MD12	A_M12	-0,300	0,081	-3,681	0,000
X_MD13	A_M13	0,002	0,064	0,039	0,969
X_MD14	A_M14	-0,280	0,070	-3,983	0,000
X_MD15	A_M15	0,015	0,059	0,255	0,799
X_MD16	A_M16	0,086	0,059	1,455	0,146
X_MD17	A_M17	0,024	0,059	0,399	0,690
X_MD18	A_M18	0,000	0,103	0,004	0,997
X_MD19	A_M19	-0,135	0,060	-2,270	0,023
X_MD21	A_M21	-0,124	0,059	-2,100	0,036
X_MD22	A_M22	0,041	0,061	0,675	0,500

Tableau 12 : Estimation *KLEM* des fonctions de part

Fonction de parts du travail						R2 :	0,931
Variable	Paramètre	Estimation	Écart-type	T-Student	Prob >  t		
CST	A_L	0,480	0,170	2,830	0,005		
X_L	B_LL	0,050	0,009	5,833	0,000		
X_E	B_LE	-0,003	0,001	-2,278	0,023		
X_M	B_LM	-0,046	0,008	-5,472	0,000		
Y	B_LY	-0,039	0,004	-8,825	0,000		
<b>R</b>	<b>B_LR</b>	<b>0,000</b>	<b>0,012</b>	<b>0,031</b>	<b>0,975</b>		
S	B_LS	0,001	0,002	0,690	0,490		
T	B_LT	-0,008	0,007	-1,151	0,250		
T_4	B_LT4	-0,010	0,002	-4,313	0,000		
CSTD05	A_L05	-0,169	0,034	-4,925	0,000		
CSTD06	A_L06	-0,132	0,034	-3,884	0,000		
CSTD07	A_L07	-0,231	0,096	-2,408	0,016		
CSTD08	A_L08	-0,145	0,049	-2,944	0,003		
CSTD09	A_L09	-0,070	0,061	-1,151	0,250		
CSTD10	A_L10	-0,082	0,034	-2,388	0,017		
CSTD11	A_L11	-0,057	0,038	-1,475	0,140		
CSTD12	A_L12	-0,091	0,034	-2,678	0,007		
CSTD13	A_L13	-0,038	0,034	-1,118	0,264		
CSTD14	A_L14	-0,119	0,034	-3,482	0,001		
CSTD15	A_L15	-0,038	0,034	-1,135	0,257		
CSTD16	A_L16	-0,076	0,034	-2,234	0,026		
CSTD17	A_L17	-0,090	0,034	-2,666	0,008		
CSTD18	A_L18	-0,168	0,056	-3,011	0,003		
CSTD19	A_L19	-0,097	0,034	-2,838	0,005		
CSTD21	A_L21	-0,126	0,036	-3,544	0,000		
CSTD22	A_L22	-0,074	0,034	-2,166	0,030		

Fonction de parts de l'énergie						R2 :	0,871
Variable	Paramètre	Estimation	Écart-type	T-Student	Prob >  t		
CST	A_E	-0,126	0,046	-2,734	0,006		
X_L	B_LE	-0,003	0,001	-2,278	0,023		
X_E	B_EE	0,001	0,000	2,765	0,006		
X_M	B_EM	0,000	0,002	0,179	0,858		
Y	B_EY	-0,008	0,001	-6,126	0,000		
<b>R</b>	<b>B_ER</b>	<b>0,013</b>	<b>0,003</b>	<b>4,114</b>	<b>0,000</b>		
S	B_ES	0,000	0,000	-0,248	0,804		
T	B_ET	0,005	0,002	2,388	0,017		
T_2	B_ET2	0,000	0,000	1,953	0,051		
T_3	B_ET3	-0,003	0,001	-3,849	0,000		
T_4	B_ET4	0,004	0,001	5,962	0,000		
CSTD05	A_E05	-0,041	0,010	-4,267	0,000		
CSTD06	A_E06	-0,022	0,009	-2,473	0,013		
CSTD07	A_E07	-0,051	0,012	-4,179	0,000		
CSTD08	A_E08	-0,006	0,009	-0,638	0,524		
CSTD09	A_E09	-0,032	0,012	-2,609	0,009		
CSTD10	A_E10	-0,009	0,009	-0,957	0,339		
CSTD11	A_E11	-0,030	0,009	-3,244	0,001		
CSTD12	A_E12	0,054	0,010	5,546	0,000		
CSTD13	A_E13	-0,042	0,010	-4,446	0,000		
CSTD14	A_E14	0,115	0,015	7,697	0,000		
CSTD15	A_E15	-0,023	0,009	-2,607	0,009		
CSTD16	A_E16	-0,028	0,009	-3,073	0,002		
CSTD17	A_E17	-0,028	0,011	-2,575	0,010		

CSTD18	A_E18	-0,038	0,038	-1,003	0,316
CSTD19	A_E19	0,039	0,009	4,353	0,000
CSTD21	A_E21	0,011	0,009	1,172	0,241
CSTD22	A_E22	-0,036	0,009	-3,886	0,000

Fonction de parts des matières premières				R2 :	0,982
Variable	Paramètre	Estimation	Écart-type	T-Student	Prob >  t
CST	A_M	-0,458	0,313	-1,464	0,143
X_L	B_LM	-0,046	0,008	-5,472	0,000
X_E	B_EM	0,000	0,002	0,179	0,858
X_M	B_MM	0,047	0,013	3,528	0,000
Y	B_MY	0,081	0,009	9,138	0,000
<b>R</b>	<b>B_MR</b>	<b>0,038</b>	<b>0,022</b>	<b>1,739</b>	<b>0,082</b>
S	B_MS	0,001	0,003	0,374	0,708
T	B_MT	0,006	0,013	0,460	0,646
T_3	B_MT3	-0,010	0,004	-2,287	0,022
T_4	B_MT4	0,018	0,005	3,889	0,000
CSTD05	A_M05	0,109	0,069	1,586	0,113
CSTD06	A_M06	0,029	0,061	0,483	0,629
CSTD07	A_M07	0,149	0,076	1,949	0,051
CSTD08	A_M08	-0,019	0,065	-0,283	0,777
CSTD09	A_M09	0,101	0,093	1,083	0,279
CSTD10	A_M10	0,002	0,074	0,023	0,982
CSTD11	A_M11	0,064	0,060	1,076	0,282
CSTD12	A_M12	-0,300	0,081	-3,681	0,000
CSTD13	A_M13	0,002	0,064	0,039	0,969
CSTD14	A_M14	-0,280	0,070	-3,983	0,000
CSTD15	A_M15	0,015	0,059	0,255	0,799
CSTD16	A_M16	0,086	0,059	1,455	0,146
CSTD17	A_M17	0,024	0,059	0,399	0,690
CSTD18	A_M18	0,000	0,103	0,004	0,997
CSTD19	A_M19	-0,135	0,060	-2,270	0,023
CSTD21	A_M21	-0,124	0,059	-2,100	0,036
CSTD22	A_M22	0,041	0,061	0,675	0,500

La spécification de la fonction de coût translog *KLM* sans tendances temporelles est la version qui s'apparente le plus à celle qui était exploitée par Nadiri et Mamuneas (1998). Comme nous le verrons, les améliorations introduites dans notre étude accroissent statistiquement la qualité du modèle. Il y a donc lieu de croire que le modèle bonifié produit des résultats plus crédibles. Les lignes en caractère gras du tableau 12 font ressortir que l'énergie est l'intrant qui dépend le plus significativement du stock d'infrastructures routières.

En examinant un à un les coefficients du tableau 11, il est difficile de conclure quant à l'effet du stock d'infrastructures routières sur les coûts de production. Par exemple, il est vrai que les paramètres *A\_R* et *B\_RR* (les paramètres d'ordre 1 et d'ordre 2 de la variable d'intérêt) ne sont pas significativement différents de zéro. Toutefois, il est nécessaire d'observer attentivement l'ensemble des paramètres où la variable stock d'infrastructures routières (*R*) apparaît dans la fonction de coût, c'est-à-dire l'ensemble des interactions avec les autres facteurs de production.

Afin de pouvoir produire un avis sur la signification globale de l'influence du stock d'infrastructures routières, par exemple, nous exploitons des tests de ratio de vraisemblance, dont la distribution est de loi chi carré, avec, comme degrés de liberté, le nombre de contraintes



testées. Pour effectuer ces tests, nous comparons la valeur de la vraisemblance de deux modèles, l'un d'entre eux, (le non-contraint) englobant le modèle alternatif qui peut s'obtenir en imposant diverses contraintes.

Un test important concerne la stabilité globale du modèle. Partant du modèle non contraint présenté aux tableaux 11 et 12, la version contrainte correspond au modèle où les coefficients  $B_{LT3}$ ,  $B_{ET_2}$ ,  $B_{ET_3}$ ,  $B_{ET_4}$ ,  $B_{MT_3}$  et  $B_{MT_4}$  sont nuls. Le nombre de degrés de liberté pour effectuer ce test se traduit donc par  $dl = 6$ . La statistique de test est calculée comme suit :  $z = -2 * (\ln V_0 - \ln V)$ , où  $\ln V$  dénote la log vraisemblance du modèle non contraint, alors que  $\ln V_0$  représente la log vraisemblance du modèle contraint.

Le test de la signification globale des répercussions des dépenses en infrastructures routières se fait selon le même principe, sauf que, par rapport au modèle non contraint de référence, il faut mettre à zéro tout coefficient rattaché à une variable comportant la variable  $R$  dans sa formulation. Pour trouver le nombre de degrés de liberté du test en cause, il suffit de prendre la différence entre les nombres de paramètres libres des deux modèles emboîtés qui sont comparés.

Le tableau 13 produit les valeurs de log vraisemblance, le nombre de paramètres libres, les statistiques de test et leurs degrés de liberté respectifs concernant différentes versions de modèles.

Tableau 13 : Ajustements et tests concernant la version *KLEM*

<b>Modèle</b>		<u>Logarithme de la vraisemblance</u>	<u>Nombre de paramètres libres</u>
1	Sans tendances	5948,894	89
2	sans $R$	5935,675	81
3	Avec tendances	5984,606	95
4	sans $R$	5976,653	87
<b>Tests du chi carré</b>		<u>Statistique</u>	<u>dl.</u>
Pertinence d'inclure $R$			
	1 contre 2	26,438	8
	3 contre 4	15,906	8
Stabilité temporelle			
	1 contre 3	71,424	6
	2 contre 4	81,956	6

Avec une valeur critique de 15,906, nous voyons que globalement, à un niveau de signification de 95 %, le stock en infrastructures routières diminue de façon significative le coût pour les entreprises. En utilisant le même niveau de signification, le modèle sans tendances temporelles est clairement rejeté, le modèle 3, avec tendance, lui étant de loin supérieur. Ce que nous pouvons toutefois remarquer, c'est qu'en exploitant les variables de tendance l'effet de la

variable  $R$ , d'un point de vue de signification statistique, en est réduit. Ce résultat est tout à fait conforme à ce qui se produit dans tout modèle qui contient une tendance. L'absence de la tendance produit des corrélations fallacieuses. L'effet proprement dit des variables doit être nettoyé de l'effet tendance pour que l'on puisse conclure à l'existence d'une relation véritable. Le test de vraisemblance passe alors de 26,44 à 15,91.

Il en va de même de la stabilité temporelle. Il est possible de la tester en l'absence de la variable  $R$ ; le test de vraisemblance est alors 81,96. Cependant, si le test s'effectue en présence de la variable  $R$ , la valeur du test diminue alors à 71,42. Il est instructif de remarquer que dans les deux cas la valeur du test de vraisemblance est plus faible lorsque le modèle comporte plus de variables. Ceci est un résultat normal. Au fur et à mesure que le modèle est enrichi de variables explicatives, la signification statistique des variables s'en trouve affaiblie, puisque le nombre de degrés de liberté est réduit.

En nous limitant à la valeur de la vraisemblance, l'utilisation des variables de tendances est clairement justifiée. C'est aussi en examinant les mesures d'intérêt, contenues au tableau 14, que nous pouvons porter un jugement sur la qualité de l'estimation.

### 5.1.2 Élasticités de la fonction de coût par rapport au capital public

Le paramètre clé dans cette étude est certainement l'élasticité du coût d'un secteur d'activité par rapport au stock de capital routier ( $\eta_{CR}$ ). Dans la section précédente (voir équation 4.6), il est précisé que la fonction de distribution de l'estimateur du paramètre  $\eta_{CR}$  dépend directement des fonctions de distribution des estimateurs des paramètres  $\alpha_R, \beta_{RR}, \beta_{LR}, \beta_{ER}, \beta_{MR}, \beta_{YR}$  et  $\beta_{RT}$ . Ceci doit être pris en compte dans le calcul du degré de précision de l'estimation de cette élasticité. Notre étude introduit pour la première fois, à notre connaissance, une mesure de distribution de l'estimateur de cet important paramètre.

Le tableau 14 contient l'ensemble des paramètres économiques d'intérêt liés à l'estimation de la fonction de coût  $KLEM$ . Les élasticités du coût des secteurs d'activité par rapport au stock de capital routier ( $\eta_{CR}$ ) se retrouvent dans la colonne 6 du tableau.

Tableau 14 : Paramètres économiques de la fonction de coût *KLEM*

INDX	E_CY	E_TY	E_EY	E_MY	E_KY	E_CR	E_TR	E_ER	E_MR	E_KR	E_CS	E_TS	E_ES	E_MS	E_KS	R_ECH	R_ECHT	E_YR	E_YS	BM
	e.t.	e.t.	e.t.	e.t.	e.t.	e.t.	e.t.	e.t.	e.t.	e.t.	e.t.	e.t.	e.t.	e.t.	e.t.	e.t.	e.t.	e.t.	e.t.	e.t.
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Aliments et boissons																				
4	1,081	-0,161	-0,303	0,124	-0,461	<b>-0,012</b>	0,001	0,504	0,059	-0,688	<b>-0,037</b>	0,005	-0,004	0,002	-0,031	0,925	0,970	0,010	0,034	0,001
	0,063	0,032	0,141	0,017	0,312	<b>0,191</b>	0,049	0,240	0,034	0,511	<b>0,034</b>	0,008	0,017	0,005	0,041	0,054	0,190	0,177	0,032	0,137
Produits du tabac																				
5	0,946	-0,238	-2,920	0,139	-0,141	<b>-0,175</b>	0,002	4,866	0,066	-0,210	<b>-0,008</b>	0,008	-0,041	0,002	-0,009	1,058	1,251	0,185	0,008	0,010
	0,062	0,028	24,386	0,018	0,036	<b>0,210</b>	0,072	40,636	0,038	0,082	<b>0,037</b>	0,011	0,345	0,006	0,011	0,070	0,231	0,221	0,039	0,013
Produits du caoutchouc																				
6	0,987	-0,225	-0,514	0,146	-0,138	<b>-0,127</b>	0,002	0,856	0,069	-0,206	<b>-0,016</b>	0,007	-0,007	0,002	-0,009	1,014	1,159	0,129	0,016	0,012
	0,033	0,026	0,093	0,018	0,031	<b>0,158</b>	0,068	0,237	0,040	0,077	<b>0,027</b>	0,010	0,029	0,006	0,011	0,035	0,163	0,160	0,027	0,014
Produits du cuir																				
7	0,952	-0,401	-3,515	0,132	-0,125	<b>-0,219</b>	0,004	5,858	0,062	-0,187	<b>-0,005</b>	0,013	-0,049	0,002	-0,008	1,051	1,288	0,231	0,005	0,008
	0,073	0,399	1057,7	0,016	0,043	<b>0,226</b>	0,121	1762,9	0,036	0,083	<b>0,040</b>	0,022	14,750	0,005	0,010	0,082	0,256	0,239	0,042	0,009
Produits du textile																				
8	1,024	-0,296	-0,317	0,141	-0,130	<b>-0,076</b>	0,003	0,528	0,067	-0,193	<b>-0,029</b>	0,009	-0,004	0,002	-0,009	0,977	1,080	0,075	0,028	0,010
	0,035	0,099	0,082	0,017	0,036	<b>0,155</b>	0,089	0,159	0,038	0,078	<b>0,027</b>	0,014	0,018	0,006	0,010	0,033	0,158	0,151	0,026	0,032
Bonneterie et vêtements																				
9	1,057	-0,197	-2,175	0,113	-0,422	<b>-0,050</b>	0,002	3,625	0,054	-0,629	<b>-0,031</b>	0,006	-0,030	0,002	-0,028	0,947	1,022	0,047	0,029	0,011
	0,044	0,061	94,352	0,017	0,286	<b>0,164</b>	0,060	157,3	0,031	0,464	<b>0,029</b>	0,009	1,317	0,005	0,036	0,039	0,164	0,155	0,027	0,049
Produits du bois																				
10	1,014	-0,180	-0,292	0,148	-0,169	<b>-0,140</b>	0,002	0,487	0,070	-0,252	<b>-0,019</b>	0,006	-0,004	0,002	-0,011	0,987	1,143	0,136	0,019	0,025
	0,028	0,021	0,053	0,021	0,051	<b>0,154</b>	0,054	0,125	0,040	0,109	<b>0,027</b>	0,008	0,016	0,006	0,013	0,028	0,154	0,152	0,026	0,027
Meubles et accessoires d'ameublement																				
11	0,997	-0,156	-0,832	0,139	-0,223	<b>-0,156</b>	0,001	1,386	0,066	-0,333	<b>-0,013</b>	0,005	-0,012	0,002	-0,015	1,003	1,171	0,155	0,013	0,011
	0,043	0,021	2,186	0,015	0,056	<b>0,175</b>	0,047	3,642	0,038	0,127	<b>0,031</b>	0,007	0,031	0,006	0,017	0,043	0,181	0,176	0,031	0,013
Papier et produits connexes																				
12	1,069	-0,239	-0,094	0,245	-0,082	<b>-0,047</b>	0,002	0,157	0,116	-0,123	<b>-0,033</b>	0,008	-0,001	0,004	-0,006	0,936	1,009	0,043	0,030	0,027
	0,050	0,030	0,017	0,051	0,022	<b>0,172</b>	0,072	0,039	0,068	0,049	<b>0,030</b>	0,011	0,005	0,010	0,006	0,044	0,171	0,161	0,028	0,097
Imprimerie et produits connexes																				
13	1,045	-0,171	-1,088	0,136	-0,209	<b>-0,077</b>	0,002	1,813	0,064	-0,311	<b>-0,025</b>	0,005	-0,015	0,002	-0,014	0,957	1,054	0,073	0,024	0,010
	0,029	0,020	8,480	0,016	0,050	<b>0,150</b>	0,052	14,192	0,037	0,113	<b>0,026</b>	0,008	0,159	0,005	0,015	0,026	0,147	0,143	0,024	0,019
Métaux																				
14	1,046	-0,263	-0,053	0,253	-0,091	<b>-0,070</b>	0,002	0,088	0,119	-0,136	<b>-0,027</b>	0,008	-0,001	0,004	-0,006	0,956	1,048	0,066	0,026	0,035
	0,034	0,033	0,010	0,043	0,022	<b>0,154</b>	0,079	0,022	0,069	0,053	<b>0,027</b>	0,012	0,003	0,010	0,007	0,031	0,153	0,147	0,025	0,071
Produits métalliques																				
15	1,041	-0,173	-0,955	0,131	-0,241	<b>-0,069</b>	0,002	1,592	0,062	-0,360	<b>-0,028</b>	0,006	-0,013	0,002	-0,016	0,961	1,053	0,066	0,026	0,014
	0,033	0,021	2,180	0,014	0,057	<b>0,153</b>	0,052	3,634	0,035	0,135	<b>0,026</b>	0,008	0,032	0,005	0,019	0,031	0,153	0,147	0,025	0,035
Machinerie																				
16	0,999	-0,176	-0,981	0,130	-0,249	<b>-0,140</b>	0,002	1,635	0,061	-0,372	<b>-0,017</b>	0,006	-0,014	0,002	-0,017	1,002	1,158	0,139	0,017	0,012
	0,032	0,020	8,597	0,014	0,058	<b>0,159</b>	0,053	14,315	0,035	0,138	<b>0,027</b>	0,008	0,120	0,005	0,020	0,033	0,161	0,159	0,027	0,013
Matériel de transport																				
17	1,029	-0,228	-2,089	0,129	-0,191	<b>-0,057</b>	0,002	3,480	0,061	-0,284	<b>-0,031</b>	0,007	-0,029	0,002	-0,013	0,973	1,057	0,054	0,030	0,019
	0,041	0,027	80,151	0,015	0,044	<b>0,161</b>	0,069	133,56	0,035	0,106	<b>0,028</b>	0,011	1,117	0,005	0,015	0,038	0,164	0,155	0,027	0,051

INDX	E_CY	E_TY	E_EY	E_MY	E_KY	E_CR	E_TR	E_ER	E_MR	E_KR	E_CS	E_TS	E_ES	E_MS	E_KS	R_ECH	R_ECHT	E_YR	E_YS	BM
	e.t.	e.t.	e.t.	e.t.	e.t.	e.t.	e.t.	e.t.	e.t.	e.t.	e.t.	e.t.	e.t.	e.t.	e.t.	e.t.	e.t.	e.t.	e.t.	e.t.
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Appareils et matériel électriques																				
18	1,042	-0,403	-0,782	0,133	-0,123	<b>-0,051</b>	0,004	1,303	0,063	-0,184	<b>-0,030</b>	0,013	-0,011	0,002	-0,008	0,960	1,038	0,049	0,029	0,015
	0,043	0,203	35,636	0,024	0,038	<b>0,160</b>	0,121	59,435	0,036	0,080	<b>0,028</b>	0,020	0,507	0,005	0,009	0,039	0,163	0,154	0,027	0,040
Produits minéraux non métalliques																				
19	0,994	-0,193	-0,101	0,204	-0,107	<b>-0,139</b>	0,002	0,168	0,097	-0,160	<b>-0,015</b>	0,006	-0,001	0,003	-0,007	1,007	1,160	0,139	0,015	0,014
	0,035	0,023	0,017	0,023	0,025	<b>0,160</b>	0,058	0,041	0,055	0,059	<b>0,027</b>	0,009	0,006	0,008	0,008	0,036	0,165	0,161	0,027	0,018
Industrie chimique																				
21	1,040	-0,286	-0,181	0,169	-0,103	<b>-0,060</b>	0,003	0,301	0,080	-0,153	<b>-0,028</b>	0,009	-0,003	0,003	-0,007	0,963	1,046	0,057	0,027	0,017
	0,035	0,050	0,033	0,019	0,024	<b>0,154</b>	0,086	0,077	0,046	0,057	<b>0,027</b>	0,013	0,010	0,007	0,008	0,033	0,154	0,148	0,026	0,042
Manufactures diverses																				
22	0,971	-0,164	-1,883	0,146	-0,173	<b>-0,151</b>	0,002	3,139	0,069	-0,259	<b>-0,013</b>	0,005	-0,026	0,002	-0,012	1,030	1,199	0,155	0,014	0,012
	0,042	0,019	131,53	0,017	0,040	<b>0,174</b>	0,050	219,03	0,040	0,097	<b>0,030</b>	0,008	1,866	0,006	0,013	0,045	0,183	0,178	0,030	0,014
Moyennes par période																				
61...67	1,014	-0,220	-0,575	0,181	-0,165	<b>0,029</b>	0,002	0,959	0,086	-0,246	<b>-0,016</b>	0,007	-0,008	0,003	-0,011	0,987	0,975	-0,027	0,015	-0,157
	0,057	0,034	30,366	0,023	0,048	<b>0,231</b>	0,066	50,561	0,049	0,100	<b>0,049</b>	0,010	0,428	0,007	0,013	0,055	0,249	0,228	0,049	1,120
68...74	1,034	-0,222	-0,709	0,170	-0,195	<b>-0,054</b>	0,002	1,182	0,081	-0,291	<b>-0,025</b>	0,007	-0,010	0,003	-0,013	0,968	1,045	0,054	0,024	0,223
	0,037	0,032	2,846	0,021	0,062	<b>0,158</b>	0,067	4,750	0,046	0,126	<b>0,026</b>	0,010	0,041	0,007	0,015	0,034	0,159	0,152	0,025	0,653
75...83	1,053	-0,226	-0,627	0,163	-0,231	<b>-0,052</b>	0,002	1,046	0,077	-0,345	<b>-0,034</b>	0,007	-0,009	0,002	-0,016	0,950	1,033	0,050	0,032	0,188
	0,039	0,032	28,159	0,019	0,090	<b>0,254</b>	0,068	46,932	0,044	0,171	<b>0,041</b>	0,011	0,393	0,006	0,019	0,035	0,248	0,241	0,039	0,911
84...96	1,062	-0,246	-0,711	0,160	-0,218	<b>-0,133</b>	0,002	1,185	0,076	-0,325	<b>-0,034</b>	0,008	-0,010	0,002	-0,015	0,942	1,101	0,126	0,032	0,435
	0,046	0,035	14,622	0,019	0,075	<b>0,215</b>	0,074	24,366	0,043	0,149	<b>0,049</b>	0,011	0,204	0,006	0,017	0,040	0,213	0,202	0,046	0,720
Moyenne globale																				
	1,045	-0,230	-0,665	0,167	-0,207	<b>-0,065</b>	0,002	1,108	0,079	-0,309	<b>-0,029</b>	0,007	-0,009	0,002	-0,014	0,958	1,048	0,062	0,027	0,228
	0,037	0,033	12,873	0,020	0,071	<b>0,156</b>	0,070	21,459	0,045	0,141	<b>0,027</b>	0,011	0,180	0,007	0,016	0,033	0,155	0,149	0,026	0,590

Le haut du tableau contient des valeurs par secteur d'activité alors que le bas reproduit, sauf pour la colonne 20 qui donne une somme des *BM* sur les secteurs, des élasticités moyennes (globales) calculées comme des sommes pondérées des élasticités individuelles. Le poids utilisé est la part du coût du secteur concerné dans le coût total.

En moyenne, et ce pour l'ensemble des industries de transformation, une augmentation de 1 % du capital public d'infrastructures routières est associé à une réduction de 0,065 % des coûts des secteurs. L'écart-type de ce paramètre est 0,156, ceci implique que ce l'effet de cette variable est non significativement différent de zéro<sup>5</sup>. Cette valeur est comparable à celles qui sont présentées au tableau 2 de la section 2. Par exemple, Nadiri et Mamuneas (1998) obtiennent une élasticité de -0,080. Pour sa part, Khanam (1999) obtient une valeur moyenne de -0,21. La valeur que nous obtenons est cohérente avec le résultat selon lequel les mesures calculées au niveau désagrégé sont généralement plus faibles que celle produites à un niveau plus global.

<sup>5</sup> Puisque le T-Student, défini comme le ratio du paramètre divisé par son écart-type, étant égal à -0,417(-0,065/0,156), est inférieur à 2, le paramètre est donc non significativement différent de zéro.

De façon générale, en analysant les colonnes 6 et 11 du tableau 14, les contributions en infrastructures routières sur le coût des entreprises sont supérieures, en valeur absolue, à celles liées aux dépenses en infrastructures non routières.

Le tableau 3 de la section 2 souligne que les élasticités obtenues par Nadiri et Mamuneas en 1998 sont très différentes de celles obtenues en 1996. En observant attentivement les écarts-types du tableau 14, il ressort que les élasticités  $\eta_{CR}$  ne sont pas significativement différentes de zéro pour la totalité des secteurs. Toutefois, cela ne signifie pas que l'effet du stock de capital routier sur les coûts de production des industries est négligeable. Le test de chi carré a déjà démontré l'effet non nul du stock de capital routier à cet égard. Signalons par contre que, dans le contexte de la version sans tendances présenté à l'annexe B, l'élasticité moyenne donne  $-0,231$ . Mentionnons de plus que, avec un écart-type de  $0,151$ , nous pouvons conclure d'une façon presque assurée, à l'aide d'un test unilatéral à 95% que l'élasticité est négative et non nulle.

Les élasticités  $\eta_{CR}$  du modèle *KLEM* avec tendances sont du signe attendu pour la totalité des industries. Une hausse du stock d'infrastructures routières entraîne une réduction des coûts de production de toutes les industries de transformation. Les valeurs des élasticités  $\eta_{CR}$  varient peu, le domaine se restreignant à l'intervalle  $(-0,012$  à  $-0,219)$ .

Un examen de l'évolution temporelle des variables pertinentes, présentée au bas du tableau 14, nous amène à faire les commentaires suivants. L'effet de l'output sur les coûts et sur la demande de l'intrant travail est remarquablement stable. Ces mesures sont statistiquement significatives. Pour l'intrant énergie, l'effet est assez volatile et se reflète tant dans les valeurs temporelles produites que les écarts-types calculés.

Du point de vue de l'élasticité  $\eta_{CR}$ , le secteur « produits du cuir » est le plus favorisé par des investissements de capital public et le secteur « aliments et boissons » est celui où la réduction de la fonction de coût est la moins importante.

L'évolution historique de l'élasticité  $\eta_{CR}$  est assez intéressante. Durant la période 1961-1967, l'élasticité  $\eta_{CR}$  est positive et faible, c'est-à-dire  $+0,029$ . La valeur moyenne durant la période 1968-1974 est négative et légèrement faible  $(-0,054)$ . L'élasticité continue à diminuer en valeur absolue pendant la période 1975-1983 pour atteindre  $-0,052$ . Cette dernière période est marquée par un accroissement du capital, ce qui cause une réduction de la sensibilité des coûts de production au capital public. La dernière période de notre échantillon, soit 1984-1996, est marquée par une réduction du capital public, ce qui provoque une hausse de l'élasticité  $\eta_{CR}$  à  $(-0,133)$ .

### 5.1.3 Bénéfices marginaux du capital routier

Par définition, une réduction des coûts de production des industries est interprétée comme un bénéfice économique. La colonne 20 du tableau 14 contient le bénéfice monétaire associé à une augmentation de 1\$ du capital public. Pour l'ensemble des industries de transformation, une augmentation de 1\$ du capital public entraîne des bénéfices de 0,228\$. Cette estimation est statistiquement non significativement différente de zéro. Pour leur part, Nadiri et Mamuneas (1998) obtiennent des bénéfices marginaux pour l'ensemble des industries (de transformation et autres) égaux à 0,29\$. Par ailleurs, Khanam (1999) obtient des bénéfices marginaux de 0,35\$ pour l'ensemble des industries canadiennes. Il n'est pas surprenant que notre valeur de  $BM$  soit plus petite que celle obtenue par Nadiri et Mamuneas (1998), compte tenu du fait que leur élasticité  $\eta_{CR} = -0,08$  est plus élevée en valeur absolue que la nôtre, qui vaut  $-0,065$ . Le résultat semble être cohérent.

En examinant l'évolution des bénéfices marginaux durant la période d'analyse, nous obtenons la même conclusion qu'avec l'élasticité  $\eta_{CR}$  : les bénéfices marginaux diminuent tout au long de la période 1961-1983 pour ensuite augmenter durant les dernières années considérées dans notre échantillon.

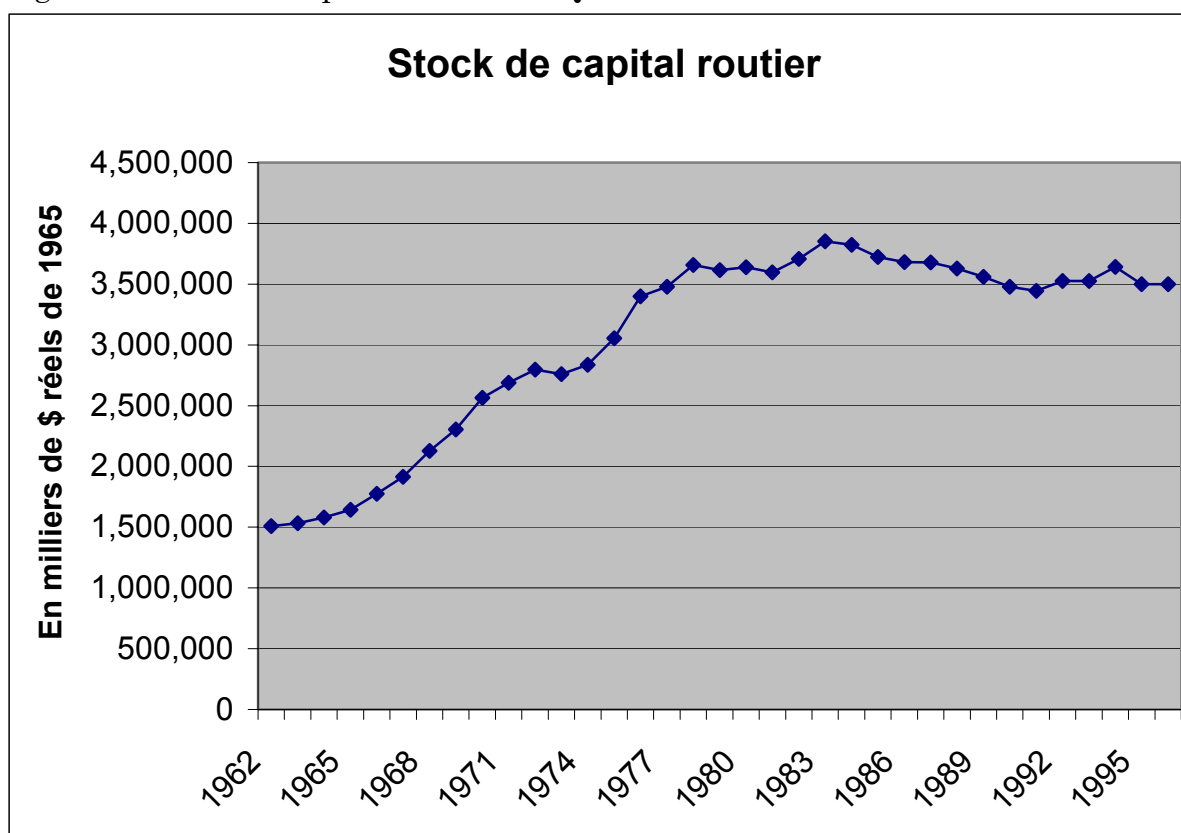
Le lien entre  $\eta_{CR}$  et  $BM$  qui, pour un secteur  $i$ , est :  $BM_i = -\eta_{C_iR}(C_i/R)$  devient :

$$\begin{aligned} BM &= -\sum_{i=1}^N \eta_{C_iR}(C_i/R) \\ &= -\frac{C}{R} \sum_{i=1}^N \eta_{C_iR} \left( \frac{C_i}{C} \right) = -\frac{C}{R} \bar{\eta}_{CR}, \end{aligned}$$

lorsqu'il est agrégé sur les  $N=19$  industries, où  $C$  représente le coût total, c'est-à-dire les coûts de l'ensemble des secteurs. Cette dernière relation sert à faire le lien entre la mesure  $BM$  agrégée et l'élasticité moyenne du coût par rapport au stock d'infrastructures routières.

La figure 1 montre l'évolution historique du stock de capital routier du Québec pour les réseaux provincial et fédéral. Il est possible de voir qu'effectivement depuis 1983 le stock de capital routier a cessé de s'accroître pour débiter une décroissance. De 1992 à 1996, il est toutefois demeuré stable.

Figure 1 : Stock de capital routier du Québec



#### 5.1.4 Taux de rendement social

En comparant les bénéfices totaux au coût du capital public, il est possible de déduire un taux de rendement. Le tableau 5 présentait les résultats des études de Nadiri et Mamuneas à cet effet. Les résultats de l'estimation du modèle donnent, en appliquant les formules définissant les t.r.s.n. publics et privés présentées en (2.18) et 2.19) :

Tableau 15 : Taux de rendement social net (t.r.s.n.) et taux d'intérêt réel

	1962-1974	1975-1983	1984-1996	1962-1996
1) t.r.s.n. capital routier	-0,113	0,297	0,415	0,188
2) taux de rendement du capital privé	0,029	0,024	0,066	0,045
3) taux d'intérêt réel	0,036	0,030	0,067	0,046

L'estimation du « t.r.s.n. capital routier » de la période 1962-1974 est influencée de façon notable par les 3 premières années de l'échantillon. En retirant ces années, le « t.r.s.n. capital routier » de la période 1965-1974 est de 0,20. Nous jugeons que les trois premières périodes de l'échantillon doivent être traitées avec précaution en raison de l'aspect dynamique du modèle.

L'estimation du taux de rendement du capital privé est légèrement plus basse que les taux d'intérêt réel. Cependant, il est fort probable que celui-ci ne serait pas significativement différent du taux d'intérêt réel. Or, en théorie, à la marge, le taux de rendement privé est égal au taux d'intérêt réel.

Le niveau élevé du « t.r.s.n. capital routier », comparativement au taux de rendement du capital privé suggère un sous-investissement du capital routier tout au long de la période d'estimation. Ce sous-investissement est plus accentué pour la dernière partie de l'échantillon, soit 1984-1996.

Tout comme Khanam, nous pouvons comparer les bénéfices totaux et le coût du capital public. Le tableau 16 contient les bénéfices marginaux des investissements routiers ( $BM$ ) et deux mesures du coût du capital routier ( $p_{z1}$  et  $p_{z2}$ ).

À l'instar de Khanam (1999), nous calculons  $p_{z1}$  et  $p_{z2}$  de la manière suivante :

$$p_{z1} = (r + \delta)$$

$$p_{z2} = (r + \delta)(1 - \varpi)$$

où

$r$  est le coût à long terme pour le gouvernement pour obtenir des fonds additionnels tel que cela a été mesuré par les rendements à long terme des obligations;

$\delta$  est le taux de dépréciation;

$\varpi$  correspond au fardeau excédentaire de taxation.

Les deux mesures se différencient selon l'hypothèse retenue concernant la distorsion associée par un investissement public. Les deux références à ce sujet sont Ballard *et al.* (1985) (voir colonne 2) et Jorgenson et Yun (1990) (voir colonne 3).

Si la mesure  $p_{z2}$  est retenue, les bénéfices marginaux sont toujours inférieurs aux coûts additionnels du capital routier. Cependant, en omettant le fardeau excédentaire de taxation, certaines périodes ont des  $BM$  supérieurs à  $p_{z1}$ . C'est le cas des années 1966, 1967, 1969, 1971-1975 et 1995-1996.

Le tableau 15 compare le rendement du dernier dollar dépensé en capital public et celui dépensé en capital privé. Il est à noter que les bénéfices sont ici calculés d'une façon cohérente, c'est-à-dire avec les résultats de notre modèle économétrique de fonction de coût. Cette mesure s'avère utile pour répondre à la question suivante : « De quelle manière le rendement marginal du capital privé se compare-t-il à celui du capital public en infrastructures routières? »



Tableau 16 : Application du modèle manufacturier *KLEM* avec tendances  
Évolution temporelle de *BM*, *pz1* et *pz2*

<b>Année</b>	<b><i>BM</i></b>	<b><i>pz1</i></b>	<b><i>pz2</i></b>
	1	2	3
1962	-0,872	0,099	0,145
1963	-0,426	0,100	0,147
1964	-0,124	0,103	0,150
1965	0,106	0,107	0,156
1966	0,169	0,117	0,171
1967	0,206	0,128	0,187
1968	0,129	0,142	0,207
1969	0,210	0,155	0,227
1970	0,129	0,162	0,237
1971	0,188	0,158	0,231
1972	0,232	0,164	0,239
1973	0,325	0,182	0,266
1974	0,351	0,229	0,334
1975	0,291	0,259	0,377
1976	0,160	0,268	0,392
1977	0,158	0,281	0,410
1978	0,110	0,308	0,450
1979	0,171	0,360	0,525
1980	0,175	0,456	0,665
1981	0,217	0,594	0,867
1982	0,216	0,627	0,915
1983	0,196	0,566	0,826
1984	0,248	0,612	0,894
1985	0,305	0,581	0,848
1986	0,341	0,554	0,808
1987	0,121	0,592	0,864
1988	0,149	0,620	0,905
1989	0,168	0,632	0,922
1990	0,576	0,711	1,038
1991	0,585	0,698	1,019
1992	0,552	0,670	0,978
1993	0,567	0,631	0,921
1994	0,560	0,658	0,960
1995	0,709	0,649	0,947
1996	0,779	0,623	0,909

Au tableau 16, les mêmes bénéfices publics sont comparés aux coûts du capital public. Cette comparaison suggère une réponse à la question suivante : « Est-ce que les bénéfices dérivés d'une infrastructure routière sont supérieurs aux coûts de construction? » Nous croyons que le tableau 15 apporte des indications de réponse à cette question, mais demeure cependant incomplet. En effet, certains bénéfices directs dérivés par l'infrastructure routière ne sont pas pris en compte par l'analyse, notamment ceux découlant du transport de personnes. De même, certains coûts économiques associés à une infrastructure routière qui s'avèrent nécessaires pour répondre à ce genre de question ne sont pas non plus pris en compte. Par exemple, les coûts liés au contrôle et à la pollution n'entrent pas dans notre analyse.

### 5.1.5 Demande des facteurs de production

Nous avons vu qu'une augmentation du capital public, toutes choses étant égales par ailleurs, réduit les coûts de production des secteurs. Si le niveau de production demeure inchangé, les firmes ajusteront en conséquence leurs demandes d'intrants. Les élasticités de la production  $Y$ , du stock d'infrastructures routières  $R$  et des dépenses en infrastructures non routières  $S$  sur les demandes des facteurs de production ( $L$ ,  $E$ ,  $M$ ,  $K$ ) sont respectivement présentées dans les colonnes 2 à 5, 7 à 10 et 12 à 15 du tableau 14.

Il ressort qu'en moyenne une augmentation du capital public contribue à accroître la demande du facteur de production matières premières ( $E_{MR}=0,079$ ) et à réduire la demande de capital ( $E_{KR}=-0,309$ ). Ces valeurs sont toutes significatives à 95 %. L'interprétation de ce résultat doit se faire selon la logique de la théorie économique de la firme. À coût constant, une hausse du stock de capital routier vise à déplacer la fonction de production des firmes de façon à favoriser une plus grande utilisation relative des matières premières au détriment de l'intrant capital. En d'autres mots, toutes autres choses étant égales par ailleurs, un meilleur réseau de transport routier tend à favoriser l'intrant qui est plus dépendant du système de transport. Ce résultat est intuitivement attrayant.

L'effet total de  $R$  sur les intrants de production (c.-à-d. en permettant à  $Y$  de se modifier) est, tout comme dans Nadiri et Mamuneas, plus faible en valeur absolue que l'effet direct. Les valeurs numériques de ces mesures sont présentées dans les quatre dernières colonnes du tableau B.4.3 de l'annexe B. Rappelons l'intuition permettant d'expliquer des valeurs plus faibles : la diminution du coût engendré par la présence du capital public incite les entreprises à accroître leur production, ce qui engendre donc un coût de production plus élevé. Cet effet, dû à l'expansion de la demande, est toutefois moindre que l'effet d'économie attribuable au capital public.

### 5.1.6 Rendements à l'échelle

Tel qu'il a été mentionné dans la section 2.3.1, Khanam (1999) impose l'hypothèse des rendements constants à l'échelle. Cette hypothèse signifie qu'une hausse équi-proportionnelle de tous les intrants entraîne une augmentation de l'output dans la même proportion. En d'autres mots, doubler tous les intrants fait doubler l'output ainsi que les coûts de production. Nadiri et Mamuneas (1998) obtiennent des rendements numériquement constants à l'échelle. Toutefois, il n'y a pas de tests statistiques à cet effet.

Dans la colonne 16 du tableau 14, les rendements d'échelle sont estimés à 0,958. L'écart-type de 0,033 indique que les rendements d'échelle sont statistiquement différents de 1.

Le tableau 17 contient les résultats de l'estimation de la fonction de coût en imposant la contrainte de rendements d'échelle constants. La version à rendements non constants s'avère clairement supérieure à la version contrainte, qui impose les rendements constants.

Tableau 17 : Ajustements et tests concernant la version *KLEM* à rendements constants

Modèle		Logarithme de la vraisemblance	Nombre de paramètres libres
1	Non contraint	5984,606	95
2	Contraint	5947,434	86
Tests du chi deux		Statistique	dl
Rendements constants			
1 contre 2		74,345	9

### 5.1.7 Estimation des fonctions de demande par secteur d'activité

Selon le cadre de décomposition de la productivité proposé dans Nadiri et Mamuneas (1996), nous devons d'abord estimer de façon séparée les fonctions de demande de chaque secteur. Ils supposent que le taux de croissance de la demande du produit de chaque secteur industriel peut être représenté par l'équation suivante :

$$\dot{Y} = \lambda + \alpha (\dot{P}_Y - \dot{P}_g) + \beta \dot{Z} + (1 - \beta) \dot{N} \quad , \quad (5.1)$$

où

$\alpha$  = l'élasticité prix de la fonction de demande;

$\beta$  = l'élasticité de la demande par rapport au revenu ( $Z$ );

$(1 - \beta)$  = l'élasticité de la demande par rapport à la population ( $N$ );

$\lambda$  = la constante de régression.

Comme il a déjà été établi, la notation avec un point désigne un taux de croissance. À l'instar des auteurs, nous avons estimé chaque équation séparément. Les attentes pour les paramètres sont comme suit :  $\alpha$  devrait être négatif et  $\beta$  positif. Ces deux quantités représentent des élasticités. La demande est inélastique par rapport au prix si  $|\alpha| < 1$ , alors qu'elle est élastique si  $|\alpha| > 1$ . L'interprétation pour  $\beta$  est similaire, excepté que l'on parle alors d'élasticité de la demande par rapport au revenu. Si  $\beta > 1$ , la réponse de la demande à un accroissement de 1 % du revenu serait plus que proportionnelle.

En ce qui a trait à l'estimation, nous suivons le même procédé que Nadiri et Mamuneas, à savoir que chaque fois qu'un des coefficients estimés est de signe contraire aux attentes, nous

produisons une estimation contrainte, le coefficient problématique étant fixé à zéro. Les résultats d'estimation obtenus en suivant ce procédé pour chacune des secteurs se retrouvent au tableau 18.

Tableau 18 : Fonctions de demande de produits par secteur d'activité

	$\lambda$	$\alpha$	$\beta$
4 Aliments et boissons	-0,023	-1,255	0,611
	<i>0,010</i>	<i>0,257</i>	<i>0,266</i>
5 Produits du tabac	0,014	-1,118	0,450
	<i>0,018</i>	<i>0,124</i>	<i>0,390</i>
6 Produits du caoutchouc	-0,003	-2,314	1,264
	<i>0,086</i>	<i>0,852</i>	<i>1,722</i>
7 Produits du cuir	-0,058	-0,083	0,262
	<i>0,014</i>	<i>0,301</i>	<i>0,352</i>
8 Produits du textile	-0,019	-0,619	0,658
	<i>0,031</i>	<i>0,664</i>	<i>0,700</i>
9 Bonneterie et vêtements	-0,023	-0,131	0,718
	<i>0,010</i>	<i>0,385</i>	<i>0,219</i>
10 Produits du bois	-0,008	0,000	1,742
	<i>0,021</i>	<i>0,000</i>	<i>0,504</i>
11 Meubles et accessoires d'ameublement	-0,033	-0,179	1,127
	<i>0,017</i>	<i>0,572</i>	<i>0,439</i>
12 Papier et produits connexes	0,012	0,000	0,265
	<i>0,024</i>	<i>0,000</i>	<i>0,584</i>
13 Imprimerie, édition et produits connexes	-0,010	-0,718	0,612
	<i>0,012</i>	<i>0,324</i>	<i>0,285</i>
14 Métaux	0,002	0,000	0,898
	<i>0,030</i>	<i>0,000</i>	<i>0,715</i>
15 Produits métalliques	-0,018	-0,158	1,083
	<i>0,014</i>	<i>0,390</i>	<i>0,361</i>
16 Machinerie (sauf le matériel électrique)	-0,004	-0,490	0,944
	<i>0,026</i>	<i>0,964</i>	<i>0,641</i>
17 Matériel de transport	0,040	0,000	0,986
	<i>0,028</i>	<i>0,000</i>	<i>0,678</i>
18 Appareils et matériel électriques	0,015	0,000	0,896
	<i>0,016</i>	<i>0,000</i>	<i>0,383</i>
19 Produits minéraux non métalliques	-0,044	-1,158	2,141
	<i>0,020</i>	<i>0,542</i>	<i>0,477</i>
20 Pétrole, charbon et leurs dérivés	0,112	-0,185	0,000
	<i>0,101</i>	<i>1,108</i>	<i>0,000</i>
21 Industrie chimique et des produits connexes	-0,002	-0,513	1,097
	<i>0,013</i>	<i>0,204</i>	<i>0,307</i>
22 Manufactures diverses	-0,003	-1,171	1,722
	<i>0,030</i>	<i>0,203</i>	<i>0,525</i>

\* les écarts-types estimés sont en italique

### 5.1.8 Décomposition de la productivité

Dans cette dernière section du rapport, nous considérons la décomposition de la productivité développée par Nadiri et Mamuneas et nous l'appliquons au contexte de notre étude. Le cadre conceptuel que ces auteurs ont développé permet d'expliquer la croissance totale de la productivité des facteurs (TPF) en ce qui a trait aux composantes de croissance des facteurs suivants : le PIB, la population, le coût des facteurs de production, le changement technologique ainsi que le stock de capital public. La décomposition proposée par Nadiri et Mamuneas s'écrit comme suit :

Décomposition économique de la variation de la productivité des facteurs

---


$$\begin{aligned}
 \dot{TPF} &= A[\alpha \dot{\eta} + \alpha (1 + \theta)] && (EP_0) : \text{Output} \\
 &+ A\alpha[\sum_i \Pi_i \dot{P}_i - \dot{P}_g] && (EP_x) : \text{Input} \\
 &+ A[\lambda + \beta \dot{Z} + (1 - \beta) \dot{N}] && (ED) : \text{Dem. exogène} \\
 &+ A\alpha[\eta_{CR} \dot{R}] - \frac{1}{\kappa B}[\eta_{CR} \dot{R}] && (EC_R) : \text{Routier} \\
 &+ A\alpha[\eta_{CS} \dot{S}] - \frac{1}{\kappa B}[\eta_{CS} \dot{S}] && (EC_S) : \text{Non routier} \\
 &+ A\alpha \dot{T} + \frac{1}{\kappa B} \dot{T} && (ET) : \text{Technologie}
 \end{aligned}$$


---

Les paramètres économiques sont les suivants :

$\eta$  = l'élasticité de la fonction de coût par rapport à l'output  $\eta = \eta_{CY}$  ;

$\kappa$  = le ratio du prix de l'output au coût moyen de production ( $P_Y/CM$ );

$\theta$  = l'écart entre le coût marginal et le prix de l'output :  $(1+\theta) = P_Y/CM$ ; pour calculer cette mesure selon une expression déjà produite,  $\theta = \kappa / \eta - 1$  ;

$B$  = égal à 1 moins les termes d'élasticités de la fonction de coût par rapport aux capitaux publics ( $B = 1 - \eta_{CR} - \eta_{CS}$ ); et finalement

$$A = \frac{(\kappa + \eta) / B}{\kappa} / [1 - \alpha(\eta - 1)].$$

La convention de notation selon laquelle  $\dot{P}_Y = (P_{Yt} - P_{Yt-1}) / P_{Yt-1}$  s'applique à tous les termes du tableau, à l'exception de  $\dot{T}$  qui se définit ainsi :  $\dot{T} = \partial \ln C / \partial T$  .

L'effet total ainsi que les contributions des différents facteurs à l'évolution de la productivité sont présentés au tableau 18. Les secteurs 4, 8 et 9 ont connu une faible augmentation de productivité au cours de la période de l'étude comparativement aux autres secteurs. De cette croissance, quelle est la part attribuable à l'évolution du stock d'infrastructures routières ? Le tableau 19 semble indiquer que l'infrastructure routière a contribué de façon marquée à accroître la productivité.

Tableau 19 : Décomposition de l'évolution de la productivité

	<i>TFP</i>	<i>EP_x</i>	<i>ED</i>	<i>EC_pR</i>	<i>EC_pS</i>	<i>ET</i>
4 Aliments et boissons	0,211	-0,030	0,008	-0,014	0,064	-0,019
5 Produits du tabac	1,691	0,041	1,343	0,507	0,092	-0,035
6 Produits du caoutchouc	1,526	0,456	1,168	0,434	0,193	-0,368
7 Produits du cuir	-1,274	-0,019	-2,159	0,143	0,041	0,451
8 Produits du textile	0,278	0,066	0,052	0,015	0,047	0,022
9 Bonneterie et vêtements	0,154	0,006	0,028	0,001	0,030	0,049
10 Produits du bois	1,157	0,000	0,882	0,066	0,034	0,123
11 Meubles et accessoires d'ameublement	0,416	-0,003	-0,008	0,080	0,044	0,185
12 Papier et produits connexes	0,395	0,000	0,285	0,004	0,027	0,052
13 Imprimerie, édition et produits connexes	0,389	-0,087	0,181	0,033	0,051	0,019
14 Métaux	0,594	0,000	0,433	0,018	0,030	0,081
15 Produits métalliques	0,351	-0,004	0,195	0,011	0,033	0,056
16 Machinerie (sauf le matériel électrique)	0,931	0,005	0,594	0,104	0,053	0,072
17 Matériel de transport	0,959	0,000	0,829	0,020	0,028	0,035
19 Appareils et matériel électriques	0,596	0,000	0,492	0,006	0,027	0,036
20 Produits minéraux non métalliques	0,703	-0,178	0,169	0,164	0,070	-0,032
21 Industrie chimique et des produits connexes	0,525	0,009	0,428	0,022	0,048	0,023
22 Manufactures diverses	1,929	-0,582	1,433	0,326	0,110	-0,067

De façon générale, la plus grande partie de l'accroissement de la productivité mesuré par (*TFP*) vient de la demande (*ED*). Par exemple, la demande du secteur des métaux (14) draine 70 % de la source totale de variation de la productivité. On remarque aussi que, pour la plupart des secteurs, les dépenses en infrastructures routières (*EC\_pR*) a, sur la productivité, un impact supérieur à la dépense en infrastructure non routière (*EC\_pS*). Toutes proportions gardées, cinq secteurs ont eu une croissance de productivité qui est influencée d'une façon non négligeable par le stock de capital routier. Ces secteurs sont : produits du tabac (5), produits du caoutchouc (6), machinerie (16), produits minéraux non métalliques (20) et manufactures diverses (22) avec des parts respectives de 30 %, 28 %, 23 %, 19 % et 17 %.

## 6 Conclusion

Le présent rapport se veut une revue critique de la littérature de façon à permettre d'établir des fondements pour l'établissement du modèle économétrique qui est proposé au MTQ, ainsi que les résultats de l'analyse économétrique effectuée en exploitant des données québécoises. La revue de la littérature a mis en relief différentes méthodologies visant à établir les retombées des investissements en infrastructures de transport sur la productivité de l'économie.

À la lumière des études sur le sujet, il existe une forte présomption voulant les dépenses publiques d'infrastructures contribuent à accroître la productivité des différents secteurs de l'économie. Des formulations économiques différentes tendent à montrer qu'une telle relation existe, mais que l'ampleur de la contribution des investissements en infrastructures sur la productivité de l'économie ne fait pas consensus.

Les études présentées dans ce rapport comportent toutes une lacune sur le plan de l'information publiée. La revue de la littérature permet de cerner un certain nombre de paramètres critiques concernant l'effet sur l'économie des infrastructures publiques ou routières : élasticité de la fonction de production ( $\gamma$ ), la productivité marginale du stock routier ( $Pm_R$ ), l'élasticité de la fonction de coût par rapport au stock routier ( $\eta_{CR}$ ), les bénéfices marginaux ( $BM_R$ ) associés à une augmentation du stock routier, son effet ( $EC_R$ ) sur le taux de croissance de la productivité des facteurs de production, le taux de rendement social net (t.r.s.n.) associé à ce stock.

Tous ces estimateurs possèdent une distribution statistique. Il est important de la connaître, car elle révèle de l'information sur le degré d'incertitude associée à l'évaluation du paramètre. Par exemple, une élasticité de la fonction de coût par rapport au stock de capital routier ( $\eta_{CR}$ ) estimée à  $-0,08$  s'avère être assez forte si la distribution statistique de ce paramètre est très centrée autour de cette valeur. Toutefois, une distribution « plus large » pourrait indiquer qu'en fait le paramètre  $\eta_{CR}$  n'est pas vraiment différent de 0 ou de  $-0,20$ . L'estimation du paramètre est sans contredit une source d'information importante; en connaître la distribution l'est tout autant.

Globalement, les articles revus dans cette étude ne comportent aucune information sur les distributions des estimateurs des paramètres clés, ce qui apparaît comme étant une lacune majeure. Il faut reconnaître que le calcul de ces distributions ne se fait pas aisément. Cependant, nous avons développé les outils nécessaires à produire ces quantités qui peuvent jouer un rôle important pour l'interprétation des résultats. Dans leur étude, Nadiri et Mamuneas (1998) ont obtenu des estimations des paramètres clés qui diffèrent d'une façon assez importante de celles obtenues avec l'étude précédente, soit celle de 1996.

Dans la seconde partie du rapport, nous avons fait valoir différentes améliorations de l'approche de Nadiri et Mamuneas. Une première touche l'inclusion du secteur énergétique comme intrant de production. Nos estimations ont clairement démontré l'intérêt d'inclure ce facteur de production dans le modèle. Globalement, nos analyses donnent des résultats très semblables à ceux obtenus par Nadiri et Mamuneas pour l'ensemble des secteurs aux États-Unis.



Sur le plan économétrique, nous croyons qu'à l'avenir, il pourrait s'avérer intéressant d'estimer les modèles propres aux secteurs en tenant en compte des interactions possibles entre eux. Ceci pourrait être fait à l'aide de méthodes comme les triples moindres carrés (3MC), qui ont été développées justement pour permettre la prise en compte de relations de dépendance entre équations. Par rapport à la littérature, ceci représente une amélioration et une contribution technique potentiellement intéressante. Aussi, le gain théorique toucherait principalement la dimension efficacité de l'estimation. Comme les ensembles de données sont relativement limités en taille, appliquer l'approche 3MC ainsi suggérée pourrait produire des changements notoires en regard aux estimations.

## Bibliographie

ASCHAUER, D. (1989a), "Public investment and productivity growth in the group of seven," Federal Reserve Bank.

ASCHAUER, D. (1989b), "Is public expenditure productive?", *Journal of Monetary Economics*, n° 23, p. 177-200.

DIEWERT, W. E., et T. J. WALES (1987), "Flexible Functional Forms and Global Curvature Conditions," *Econometrica*, vol. 55, n° 1, pp. 43-68.

FERNALD, J. (1992) "How Productive is Infrastructure," Distinguishing Reality and Illusion with a Panel of US Industries, Mimeo.

FOURNIER, L. (1985), « La demande énergétique du secteur manufacturier québécois », Mémoire de maîtrise, Département d'économique, Université Laval, 100 p.

FUSS, M. A. (1977), "The Demand for Energy in Canadian Manufacturing : An Example of the Estimation of Production Structures with Many Inputs," *Journal of Econometrics*, n° 5, p. 89-116.

GARCIA-MILA, T., et T.J. McGUIRE (1992), "The Contribution of Publicly Provided Inputs to State Economies," *Regional Science and Urban Economics*, n° 22.

GAUDRY, M., et C. MARULLO (1996), « Le stock de capital routier des réseaux provincial et fédéral au Québec de 1955 à 1996 : compléments à BRQ-1 ».

GAUDRY, M., et C. MARULLO (1999), « Le stock de capital routier des réseaux provincial et fédéral au Québec de 1955 à 1996 : compléments à BRQ-1 », Publication CRT-99-10, Centre de recherche sur les transports, Université de Montréal, 20 p., 1999.

HARPER, M.J., E.R. BERNDT, et D.O. WOOD (1989), "Rates of Return and Capital Aggregation Using Alternative Rental Prices," in Dale W. Jorgenson and Ralph Landau, eds., *Technology and Capital Formation*, Cambridge, MA: MIT press, p. 331-372.

HULTEN, C.R., et R.M. SCHWAB (1994), "Public capital formation and the growth of regional manufacturing industries," *National Tax Journal*, p.121-134.

HIRSHLIFER J., et A. GLAZER (1992), "Price Theory and Applications," *Prentice Hall*.

KHANAM, B. (1996), "Macroeconomic performance and public highway infrastructure," *TP 12792E*, Transports Canada.

KHANAM, B. (1999), "The Effects of Highway Infrastructure Capital on the Cost Structure and Productivity Performance of Canadian Goods-Producing Industry," Actes de la conférence annuelle du Groupe de recherche sur les transports au Canada.

MUNNELL, A.H. (1990), "Why has productivity growth declined," *New England Economic Review*, p. 3-22.

NADIRI, M.I. (1982), "Producers theory", dans *Handbook of Mathematical Economics*, ed. K.J. Arrow et M.D. Intriligator, vol. II, p. 431-490.

NADIRI, M.I., et T.P. MAMUNEAS (1994), "Infrastructure an public R&D investments, and the growth of factor productivity in US manufacturing industries," n° 4845, National Bureau of Economic Research, Inc.

NADIRI, M.I., et T.P. MAMUNEAS (1996), "Contribution of Highway Capital to Industry and National Productivity Growth," FWHA, US Department of Transportation, 126 p.

NADIRI, M.I., et T.P. MAMUNEAS (1998), "Contribution of Highway Capital to Output and Productivity Growth in the US Economy and Industries," FWHA, US Department of Transportation.

OUM, T.H. et W.G. WATERS II (1996), "A Survey of Recent Developments in Transportation Cost Function Research," *Logistics and Transportation Review*, 32:4, p. 423-463.

QUINET, E. (1992), « Infrastructures de transport et croissance », *Economica*.

RAMEY, V.A. (1989), "Inventories as factors of production and economic fluctuations," *The American Economic Review*, vol. 79 n° 3, p. 338-354.

TATOM, J.A. (1991), "Public Capital and Private Sector Performance," *St. Louis Federal Reserve Bank Review*, May/June, p. 3-15.

# Annexe A

## Les sources des séries

Tableau A.1 : Main-d'œuvre, 1981-97

	Matrice CANSIM	Masse salariale	Heures payées
4. Aliments et boissons	5379 5401	D662200 D662585	D662201 D662586
5. Produits du tabac	5406	D662783	D662784
6. Produits du caoutchouc et plastique	5409 5413	D662959 D663146	D662960 D663147
7. Produits du cuir	5419	D663355	D663356
8. Produits du textile, première transf. produits du textile	5424 5429	D663553 D663751	D663554 D663752
9. Bonneterie et vêtements	5439	D664004	D664005
10. Produits du bois	5458	D664356	D664357
11. Meubles et accessoires d'ameublements	5473	D664664	D664665
12. Papier et produits connexes	5482	D664906	D664907
13. Imprimerie, édition et produits connexes	5496	D665203	D665204
14. Métaux (formes primaires)	5504	D665434	D665435
15. Produits métalliques	5515	D665698	D665699
16. Machinerie (sauf le matériel électrique)	5540	D666116	D666117
17. Matériel de transport	5548	D666347	D666348
18. Appareils et matériels électriques	5567	D666699	D666700
19. Produits minéraux non métalliques	6848	D667062	D667063
20. Pétrole, charbon et leurs dérivés	6865	D667392	D667393
21. Industrie chimique et des produits connexes	6869	D667579	D667580
22. Manufactures diverses	6883	D667876	D667877

Tableau A.2 : Main-d'œuvre, 1970-80

	Matrice	Masse salariale	Heures payées
4. Aliments et boissons	7482	D900505	D900506
5. Produits du tabac	7483	D900829	D900830
6. Produits du caoutchouc et plastique	7484	D901099	D901100
7. Produits du cuir	7485	D901450	D901451
8. Produits du textile	7486	D901774	D901775
9. Bonneterie et vêtements	7487 7488	D902071 D902368	D902072 D902369
10. Produits du bois	7489	D902746	D902747
11. Meubles et accessoires d'ameublements	7490	D903124	D903125
12. Papier et produits connexes	7491	D903502	D903503
13. Imprimerie, édition et produits connexes	7492	D903853	D903854
14. Métaux (formes primaires)	7493	D904204	D904205
15. Produits métalliques	7494	D904555	D904556
16. Machinerie (sauf le matériel électrique)	7495	D904933	D904934
17. Matériel de transport	7496	D905284	D905285
18. Appareils et matériels électriques	7497	D905608	D905609
19. Produits minéraux non métalliques	7498	D905959	D905960
20. Pétrole, charbon et leurs dérivés	7499	D906310	D906311
21. Industrie chimique et des produits connexes	7500	D906688	D906689
22. Manufactures diverses	7501	D907066	D907067

Tableau A.3 : Main-d'œuvre, 1960-70

	Indice de l'emploi	Heures hebd. moyennes	Rémun. hebd. moyenne
	Matrice 1462	Matrice 1464	Matrice 1465
4. Aliments et boissons	D700570	D706093	D708768
5. Produits du tabac	D700576	D706098	D708773
6. Produits du caoutchouc	D700577	D706099	D708774
7. Produits du cuir	D700578	D706100	D708775
8. Produits du textile	D700580	D706102	D708777
9. Bonneterie et vêtements	D700584 D700587	D706106 D706109	D708781 D708784
10. Produits du bois	D700591	D706113	D708788
11. Meubles et accessoires d'ameublements	D700593	D706115	D708790
12. Papier et produits connexes	D700595	D706117	D708792
13. Imprimerie, édition et produits connexes	D700599	D706120	D708795
14. Métaux (formes primaires)	D700602	D706123	D708798
15. Produits métalliques	D700604	D706125	D708800
16. Machinerie (sauf le matériel électrique)	D700606	D706127	D708802
17. Matériel de transport	D700608	D706128	D708804
18. Appareils et matériels électriques	D700611	D706131	D708807
19. Produits minéraux non métalliques	D700613	D706200	D708700
20. Pétrole, charbon et leurs dérivés	D700532	D706200	D708700
21. Industrie chimique et des produits connexes	D700614	D706133	D708809
22. Manufactures diverses	D700616	D706135	D708811

Tableau A.4 : Taxation des industries

	1965-80			1980-98		
	Matrice	Revenu imposable	Impôt total	Matrice	Revenu imposable	Impôt total
4. Aliments et boissons	5334 5335	D193121 D193186	D193173 D193238	3920	D86432	D86449
5. Produits du tabac	5336	D193251	D193303	3922	D86521	D86538
6. Produits du caoutchouc	5337	D193316	D193368	3930	D86877	D86894
7. Produits du cuir	5338	D193381	D193433	3930	D86877	D86894
8. Produits du textile, première transformations	5339	D193446	D193498	3930	D86877	D86894
9. Bonneterie et vêtements	5341	D193576	D193628	3930	D86877	D86894
10. Produits du bois	5342	D193641	D193693	3924	D86610	D86627
11. Meubles et accessoires d'ameublements	5343	D193706	D193758	3924	D86610	D86627
12. Papier et produits connexes	5344	D193771	D193823	3924	D86610	D86627
13. Imprimerie, édition et produits connexes	5345	D193836	D193888	3954	D87942	D87959
14. Métaux (formes primaires)	5346	D193901	D193953	3932	D86966	D86983
15. Produits métalliques	5347	D193966	D194018	3936	D87144	D87161
16. Machinerie (sauf le matériel électrique)	5348	D194031	D194083	3938	D87233	D87250
17. Matériel de transport	5349	D194096	D194148	3940	D87322	D87339
18. Appareils et matériels électriques	5350	D194161	D194213	3944	D87500	D87517
19. Produits minéraux non métalliques	5351	D194226	D194278	3934	D87055	D87072
20. Pétrole, charbon et leurs dérivés	5352	D194291	D194343	3926	D86699	D86716
21. Industrie chimique et des produits connexes	5353	D194356	D194408	3930	D86877	D86894
22. Manufactures diverses	5354	D194421	D194473	3942	D87411	D87428

# **Annexe B**

## Présentation des résultats