

UNIVERSITE DE MONTREAL

L'APPROCHE DES FONCTIONS DE COUT DANS LA
MESURE DE LA PRODUCTIVITE ET DE LA SUBSTITUTION: UNE
APPLICATION A L'INDUSTRIE DES SERVICES PRIVES D'ELECTRICITE AU CANADA

par
Marc-André Gatién
Département de Sciences Economiques
Faculté des Arts et des Sciences

Mémoire présenté à la Faculté des Etudes Supérieures
en vue de l'obtention du grade
Maître ès Science (M.Sc.)

Mars 1966

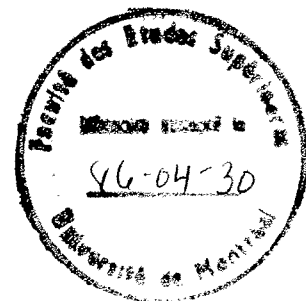


TABLE DES MATIERES

REMERCIEMENTS		iv
SOMMAIRE		v
INTRODUCTION		1
 SECTION I. DEVELOPPEMENT DE LA THEORIE ECONOMIQUE DANS L'ANALYSE DES COÛTS		
Chapitre 1	Quelques concepts de la théorie de l'entreprise	8
1.1	Forme de la production et des coûts	8
1.2	Mesures d'élasticités	15
1.3	Progrès technique	19
1.4	Caractéristiques économiques de la réglementation ...	24
Chapitre 2	Modélisation de la fonction de coût	29
2.1	La fonction de coût sous la contrainte de réglementation	29
2.1.1	Cas avec facteurs variables seulement	29
2.1.2	Cas avec facteurs quasi-fixes	33
2.2	Calcul des élasticités de substitution	37
2.3	Caractérisation du progrès technique	41
2.4	La productivité totale des facteurs et ses composantes	45
Chapitre 3	Développement de la fonction de coût translog	53
3.1	Le modèle	53
3.2	Conditions nécessaires sur la forme de la fonction	59
3.3	Rendements d'échelle et élasticités de substitution	61
 SECTION II. ANALYSE EMPIRIQUE DE L'INDUSTRIE DES SERVICES PRIVES D'ELECTRICITE AU CANADA		
Chapitre 4	Situation de l'industrie et construction des séries statistiques	66
4.1	Structure de l'industrie de l'électricité au Canada	66
4.2	Séries de prix et de quantités	72
4.2.1	Production et capacité	72
4.2.2	Capital	73
4.2.3	Travail	77
4.2.4	Energie	78
4.2.5	Coûts et parts des facteurs de production	80

Chapitre 5	Estimation de la fonction de coût	81
5.1	Méthode d'estimation et tests d'hypothèses	81
5.2	Résultats empiriques	84
5.2.1	Paramètres estimés et forme de la fonction ...	84
5.2.2	Niveau de capital optimal et prix implicite ..	86
5.2.3	Biais de la réglementation	88
5.2.4	Rendements d'échelle, progrès technique et PTF	90
5.2.5	Elasticités de substitution entre les facteurs	96
CONCLUSION		99
ANNEXE A: Tableaux statistiques		102
ANNEXE B: Graphiques des séries importantes		121
BIBLIOGRAPHIE		141

REMERCIEMENTS

Ce document est le résultat de plusieurs mois d'efforts à travers lesquels j'ai eu l'opportunité de bénéficier de l'apport de nombreuses personnes. Il est important à mon avis de souligner en particulier deux de ces contributions qui ont été d'une grande importance dans l'accomplissement de ce travail. J'aimerais d'abord remercier Monsieur Pierre Lasserre, mon directeur de recherche, pour une assistance dépassant largement les exigences et pour son support durant toutes les étapes de la rédaction. Je tiens également à remercier Monsieur Pierre Ouellette pour ses commentaires pertinents et pour l'intérêt manifesté vis-à-vis ce projet.

SOMMAIRE

Nous développons tous les aspects de la fonction de coût pouvant être utilisés dans l'étude des caractéristiques de l'entreprise ou de l'industrie soumise à la réglementation par l'entremise d'un taux de rendement maximal imposé sur le capital. Dans un premier temps, nous définissons les concepts de la théorie microéconomique de l'entreprise permettant de spécifier la fonction de coût et les éléments pertinents à la mesure de la productivité et les possibilités de substitution. Nous examinons également l'impact de la réglementation sur les propriétés de la fonction de coût.

Profitant de tous ces résultats, nous élargissons le cadre de la discussion en spécifiant la fonction du coût sous l'hypothèse où certains facteurs de production sont considérés fixes à court terme. De plus, nous proposons une nouvelle forme de paramétrisation du progrès technique où nous considérons l'influence des prix sur plusieurs périodes dans le processus d'avancement de la technologie. Les nouvelles propriétés déduites sont ensuite incorporées dans l'analyse des composantes de la productivité totale des facteurs et la mesure des élasticités de substitution.

Finalement, nous appliquons notre modèle au cas des services privés d'électricité au Canada. Nous avons bâti à cet effet une banque de données composée de séries annuelles couvrant la période 1944-1982. A partir de cette estimation, nous produisons l'évidence empirique nous permettant de supporter la théorie développée.

INTRODUCTION

Les applications économétriques de la théorie de l'entreprise regroupent l'estimation, entre autres, des fonctions de production, des courbes de coût et des équations de demande de facteurs. Il est bien connu que, sous une grande variété de conditions, la technologie peut être représentée par une fonction de production ou une fonction de coût. La dualité entre ces deux concepts a d'ailleurs été rigoureusement étudiée dans la littérature économique.¹ Des formes très générales de fonctions de coût ou de production peuvent être alternativement utilisées pour décrire un vaste nombre de cas spéciaux, particulièrement dans les applications microéconomiques.

Le but principal des fonctions de production est de définir la relation technologique existante entre les facteurs de production, notamment le capital, le travail et l'énergie. L'intérêt est donc d'abord d'estimer le rôle de chaque facteur dans le processus de production. Cependant, une représentation fiable de mécanisme exige que l'on puisse distinguer certaines caractéristiques de la technologie ou de l'environnement de l'entreprise .

On note en particulier:

- 1- les rendements d'échelle;
- 2- la substituabilité des facteurs de production;

¹ Pour une revue générale sur le sujet, voir Mc Fadden(1979) ou Varian(1984).

- 3- la séparabilité des facteurs en composantes groupées ou additives;
- 4- le progrès technique, i.e. les modifications de la structure de production à travers le temps qui ne sont pas liés aux variations de prix ou de quantités;
- 5- les déséquilibres causés par la présence de facteurs quasi-fixes;
- 6- l'influence de certaines contraintes telles la réglementation sur le comportement de l'entreprise.

L'apport de ce genre d'analyse vise ainsi à permettre une synthèse complète de la performance économique d'une entreprise, d'une industrie, d'un secteur ou de l'ensemble de l'économie en mettant en relief ses forces et ses faiblesses. Cependant, l'estimation des fonctions de production comme outil analytique pose de sérieux problèmes d'ordre économétrique. La principale difficulté est causée par l'endogenéité des variables explicatives dans l'équation à estimer. En effet, les quantités de chaque facteur utilisé sont des variables déterminées par l'entreprise et elles ne peuvent pas par conséquent être traitées comme exogènes dans le modèle économétrique.

D'autre part, le modèle néo-classique des coûts et de la production conçoit que l'entreprise est soumise à des possibilités technologiques déterminées et des marchés de facteurs concurrentiels, et qu'elle choisit une combinaison de facteurs permettant de minimiser le coût de chaque unité produite. Pour des prix constants, ce comportement définit le coût comme une fonction de l'output et produit les courbes de coût élémentaires connues. Une généralisation directe est de permettre aux prix de varier et de considérer le coût minimal comme une fonction de l'output et des prix des

facteurs de production. Avec cette simple modification, la fonction de coût devient un outil analytique puissant dans la théorie de la production.

Un second avantage de la fonction de coût tient de la relation entre celle-ci et les fonctions de demande de facteurs: en effet, les dérivées partielles de la fonction de coût par rapport aux prix nous donnent les fonctions de demande correspondantes et la somme des valeurs des demandes est égale au coût. Cette propriété de la fonction de coût est dérivée du théorème fondamental sur la dualité entre cette fonction et les possibilités de production sous-jacente. La définition de la fonction de coût précédente résultant de l'objectif de maximisation du profit entraîne des propriétés mathématiques rigoureuses et établit la fonction de coût comme un élément suffisant pour obtenir toutes les caractéristiques économiques pertinentes de la technologie.

Durant de nombreuses années, les modèles économiques ont été développés et étudiés à l'aide de fonctions très restreintes. On utilisait notamment la fonction de Cobb-Douglas fournissant une description simple de la production sous les hypothèses d'additivité des exposants des facteurs égaux à l'unité et de l'élasticité de substitution constante et unitaire. Aucune considération théorique ou empirique n'avait été donnée aux fonctions de coût durant la période précédant les travaux de Shephard (1953). Actuellement, la vaste majorité des travaux économétriques nécessitant l'étude de la production utilise l'approche des fonctions de coût pour des motifs devenus désormais évidents.

Récemment, plusieurs familles de formes fonctionnelles dites "flexibles" ont été introduites. Ces fonctions ne posent aucune restriction à

priori sur les élasticités partielles de substitution et elles peuvent être interprétées comme une approximation du 2e ordre d'une fonction de coût quelconque. On note parmi les plus utilisées la fonction translog (Christensen, Jorgenson et Lau(1973)) acceptant comme cas particulier la Cobb Douglas, la Léontief généralisée (Diewert(1971)) qui prend la forme d'une fonction linéaire comme cas particulier et la Box-Cox généralisée (Berndt et Khaled(1979)) où la plupart des autres formes flexibles peuvent être obtenues comme cas particuliers.

Ce travail propose l'analyse microéconomique des éléments de la théorie de l'entreprise permettant de représenter le processus de production dans l'industrie à l'aide des coûts et de montrer leur utilisation empirique. En particulier, nous développons une nouvelle méthodologie afin d'introduire une caractérisation plus générale du progrès technique dans la fonction de coût où le temps et le niveau des prix de toutes les périodes sont considérés. De plus, nous examinerons le rôle et le comportement des facteurs quasi-fixes dans le cadre de l'entreprise soumise à la réglementation.

Globalement, nous concevons le développement d'un modèle pouvant atteindre les objectifs suivants:

- 1- définir une fonction de coût caractérisant la technologie sous-jacente dans l'industrie, qu'elle soit soumise ou non à la réglementation;
- 2- offrir des mesures du degré de substituabilité entre les facteurs de production;

- 3- calculer le progrès technique, i.e. les déplacements de la fonction de coût non-attribuables aux variations de prix ou de quantités et les distinguer des rendements d'échelle;
- 4- déduire des mesures de biais pouvant être causés par la présence de la réglementation ou de facteurs quasi-fixes.

La première section du travail sera consacrée aux développements théoriques des coûts. Dans un premier temps, nous réviserons quelques concepts liés à la théorie de l'entreprise. Ces concepts, quoique très élémentaires, sont néanmoins essentiels dans le cadre de la présentation. Nous élaborerons ensuite la modélisation d'une forme générale de la fonction de coût. D'une part, nous introduisons les aspects associés aux facteurs quasi-fixes et à la réglementation dans la spécification. De plus, nous discuterons de la forme du progrès technique et des méthodes nous permettant de décomposer une mesure de la productivité totale des facteurs en ses diverses composantes. Enfin, nous utiliserons la forme translog afin d'illustrer un système complet d'équations à estimer et la nature des composantes susceptibles de nous fournir les résultats anticipés.

Nous consacrerons la deuxième section à l'étude de l'industrie des services privés d'électricité au Canada dans le contexte du modèle développé. Entre autres, nous comparerons diverses mesures de la productivité afin de concilier les différentes méthodes. De plus, nous examinerons les résultats de certaines études empiriques sur le sujet afin de situer notre estimation dans le cadre de la littérature économique des fonctions de coût. Nous

réservons également une section à la description de la méthode de construction de la banque des données. Finalement, on trouvera en annexe les tableaux statistiques importants et quelques graphiques illustrant les principales séries utilisées dans le modèle.

SECTION I. DEVELOPPEMENT DE LA THEORIE
ECONOMIQUE DANS L'ANALYSE DES COUTS

CHAPITRE 1 QUELQUES CONCEPTS DE LA THEORIE DE L'ENTREPRISE

1.1 Forme de la production et des coûts

La plupart des analyses économiques perçoivent l'entreprise se comportant dans le but de maximiser son profit défini par:

$$\pi = RT - CT \quad (1.1)$$

où π est le profit

RT est le revenu total résultant de la production

CT est le coût total de production.

De cette hypothèse suggérant une fonction d'utilité linéaire pour l'entreprise, $U(\pi) = \pi$, nous obtenons la condition mathématique générale de maximisation pour (1.1):

$$R_m = C_m \text{ à l'optimum} \quad (1.2)$$

où R_m est le revenu marginal

C_m est le coût marginal.

Les revenus totaux sont composés des prix et quantités des produits vendus. De la même façon, le coût total se divise en composantes de prix et de quantités de facteurs de production. La politique optimale sera déterminée par des contraintes d'ordre technologique et de marché.²

² En général, les entreprises soumises à la réglementation sont des monopoles sur le marché des produits et en concurrence sur le marché des facteurs.

En regroupant les différents éléments décrits précédemment, l'objectif de l'entreprise peut être représenté par le problème suivant:³

$$\begin{aligned} \max \quad & py - \sum_{i=1}^N w_i x_i \\ \text{s.c.} \quad & y = f(x_1, \dots, x_N) \end{aligned} \quad (1.3)$$

ou, pour un niveau de production donnée:

$$\begin{aligned} \min \quad & \sum_{i=1}^N w_i x_i \\ \text{s.c.} \quad & \bar{y} = f(x_1, \dots, x_N) \end{aligned} \quad (1.4)$$

où p est le prix du produit

y est la quantité produite

w_1, \dots, w_N sont les prix des facteurs

x_1, \dots, x_N sont les quantités employées de facteurs

$f(x_1, \dots, x_N)$ est la relation technologique entre le produit et les facteurs de production, i.e. la fonction de production.

La fonction de production de l'entrepreneur donne une expression mathématique à l'ensemble et la quantité d'output qu'il produit. Cette fonction peut être définie par un point, une fonction continue ou discontinue, ou par un système d'équations. En général, nous posons une fonction de production continue possédant des dérivées partielles du premier ordre et du second ordre définies et continues. Au même titre nous définissons la fonction de coût comme étant la relation nous donnant

³ Nous développons pour les besoins de la discussion le cas où il y a un seul produit et N facteurs de production.

l'expression du coût minimal pour produire un niveau d'output selon le vecteur des prix des facteurs de production:

$$CT = C(w_1, \dots, w_N, y) = \min \left\{ \sum_{i=1}^N w_i x_i \mid y \leq f(x_1, \dots, x_N) \right\} \quad (1.5)$$

où $C(w_1, \dots, w_N, y)$ est la fonction du coût total. A court terme il est possible de considérer une fonction de coût dite restreinte, i.e. où certains facteurs sont quasi-fixes:

$$CT = CV(w_1, \dots, w_{N-K}, x_{N-K+1}, \dots, x_N, y) + \sum_{j=N-K+1}^N w_j x_j \quad (1.6)$$

où $i = 1, \dots, N-K$ sont les facteurs variables

$j = N-K+1, \dots, N$ sont les facteurs quasi-fixes

$CV(.)$ est la fonction de coût variable.

La relation liant la technologie et la fonction de coût est déduite du théorème de la dualité. Supposons une firme possédant un sous-ensemble des possibilités de production y^* ayant les caractéristique suivantes:

- 1- y^* est non vide;
- 2- pour chaque $y \in y^*$, $V(y)$ étant l'ensemble fermé des besoins en facteurs, si $y \neq 0$ alors $V(y) \neq 0$;
- 3- si $x = (x_1, \dots, x_N)$ peut produire y , alors $x' > x$ peut également produire y ;
- 4- $V(y)$ est convexe en x .

De plus, si l'entreprise est en concurrence sur le marché des facteurs et les prix sont non-négatifs, alors la fonction de coût (1.5) et (1.6) existe pour tout $y \in y^*$. Cette fonction de coût possède les propriétés suivantes:

- 1- i) non décroissante en w_1
 et ii) non croissante en x_j (fonction de coût variable);
- 2- homogène de degré 1 en w_1 ;
- 3- i) concave en w_1 (1.7)
 et ii) convexe en x_j (fonction du coût variable);
- 4- continue en w_1 et x_j .

De la même façon, si la fonction de coût possède les propriétés de (1.7), alors il existe un sous-ensemble des possibilités de production tel que celle-ci est une fonction de coût minimal. Ce résultat est d'une importance empirique remarquable puisqu'il permet à l'économiste de spécifier un modèle sous l'hypothèse de minimisation des coûts sans avoir à traiter d'arguments de construction souvent très difficiles. De plus, l'existence de cette dualité permet à la fonction de coût de contenir toute l'information économique pertinente nécessaire à la reconstruction de la technologie.

Une des propriétés les plus importantes dans les applications économiques est fondée sur le lien existant entre la fonction de coût et les fonctions de demande de facteurs par l'entremise des dérivées partielles par rapport au prix. Si ces dérivées existent, alors

$$\frac{\partial C}{\partial w_1} = \frac{\partial CV}{\partial w_1} = x_1. \quad (1.8)$$

Cette propriété, connue sous le nom de lemme de Shephard, a été développée formellement par Shephard(1953). Il est également possible de montrer que

$$\frac{\partial CV}{\partial x_j} = -z_j \quad (1.9)$$

où z_j est le prix implicite du facteur j . L'existence d'un prix implicite différent du prix de marché explique la présence du facteur quasi-fixe et peut être dû, par exemple, à des coûts d'ajustement pour ces facteurs. Pour le cas des fonctions de demande, nous distinguons trois propriétés:

- 1- non croissante en w_i : $\frac{\partial x_i}{\partial w_i} \leq 0$;
 - 2- homogène de degré 0 en w_i ;
 - 3- symétrie des effets-croisés: $\frac{\partial^2 x_i}{\partial w_i \partial w_j} = \frac{\partial^2 x_j}{\partial w_j \partial w_i}$.
- (1.10)

D'autre part, nous relevons certaines conditions sur la forme de la fonction de coût par rapport à l'output. Nous savons qu'à court terme la fonction de coût peut contenir deux composantes: les coûts fixes et les coûts variables. La figure 1.1 illustre chacune de ces composantes en termes de coût total et de coût moyen. Le coût variable moyen va croître graduellement lorsque l'entreprise atteint son niveau de capacité optimal car il devient très coûteux pour celle-ci de produire des unités supplémentaires. Par ailleurs, nous obtenons en combinant les coûts moyens fixes et les coûts moyens variables la courbe de coût moyen total illustrée à la figure 1.2.⁴

A long terme, la forme des coûts sera non plus dictée par les coûts variables et les coûts fixes mais plutôt par les rendements d'échelle (figure 1.3). On définit les rendements d'échelle comme le déplacement du niveau de production suite à une variation λ de tous les facteurs de production. Les

⁴ Le point de rencontre entre C_m et CM est obtenu en notant que

$$\frac{d}{dy} \left[\frac{C(y)}{y} \right] = \frac{yC'(y) - C(y)}{y^2} = 0 \quad \text{ce qui implique que}$$

$$\frac{1}{y} \left[C'(y) - \frac{C(y)}{y} \right] = 0 \quad \text{d'où} \quad C'(y) = \frac{C(y)}{y} \quad \text{au minimum du CM.}$$

rendements d'échelle sont la réponse à long terme de la production suite à la modification de l'échelle de l'entreprise. Nous distinguons trois cas possibles ($\lambda > 1$):

$$f(\lambda x_1, \dots, \lambda x_N) \begin{cases} > \\ = \\ < \end{cases} \lambda f(x_1, \dots, x_N) \begin{cases} \text{rendements croissants} \\ \text{rendements constants} \\ \text{rendements décroissants} \end{cases} \quad (1.11a)$$

ou par rapport à la fonction de coût:

$$\frac{\partial C}{\partial y} \cdot \frac{y}{C} \begin{cases} > \\ = \\ < \end{cases} 1 \begin{cases} \text{rendements décroissants (} C_m > CM) \\ \text{rendements constants (} C_m = CM) \\ \text{rendements croissants (} C_m < CM). \end{cases} \quad (1.11b)$$

Figure 1.1 Coûts variables et coûts fixes

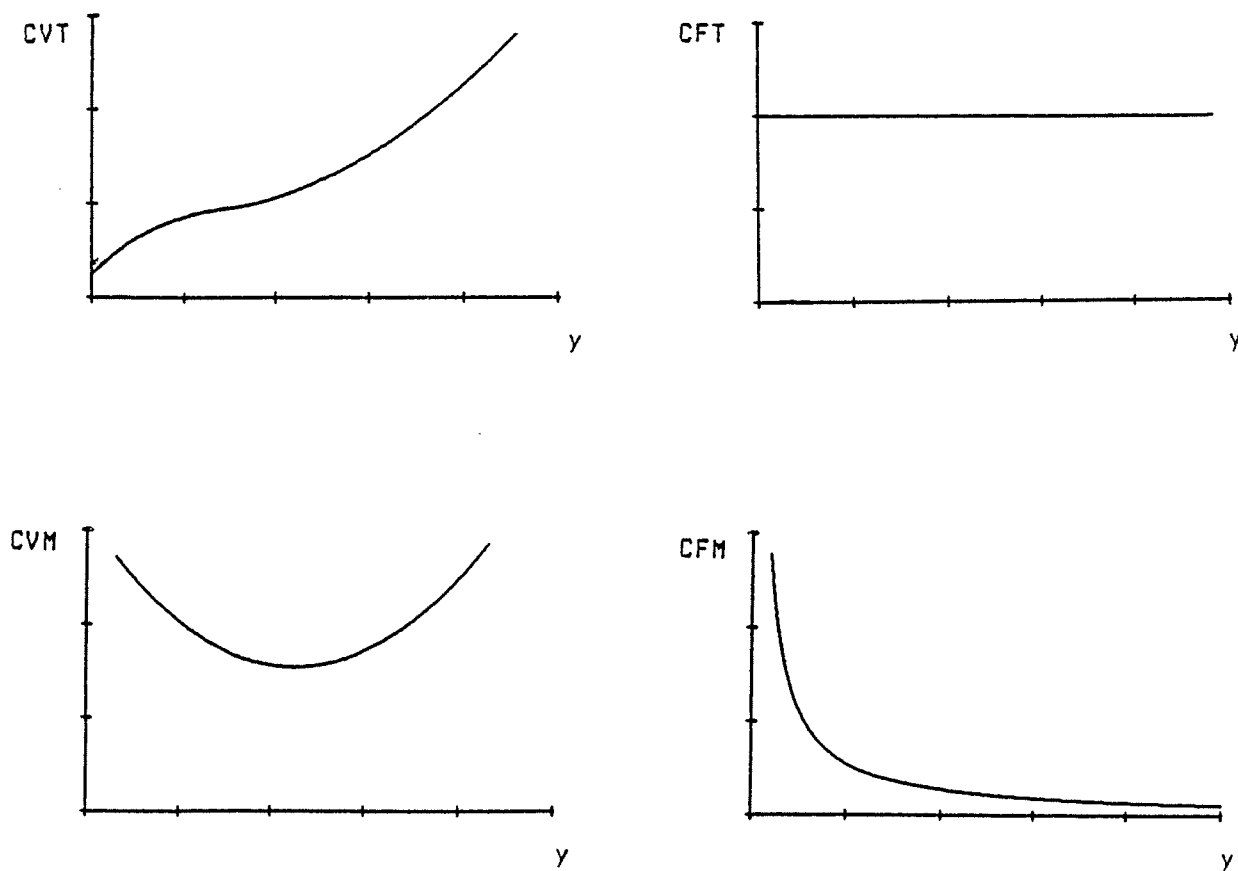


Figure 1.2 Coût moyen total et coût marginal

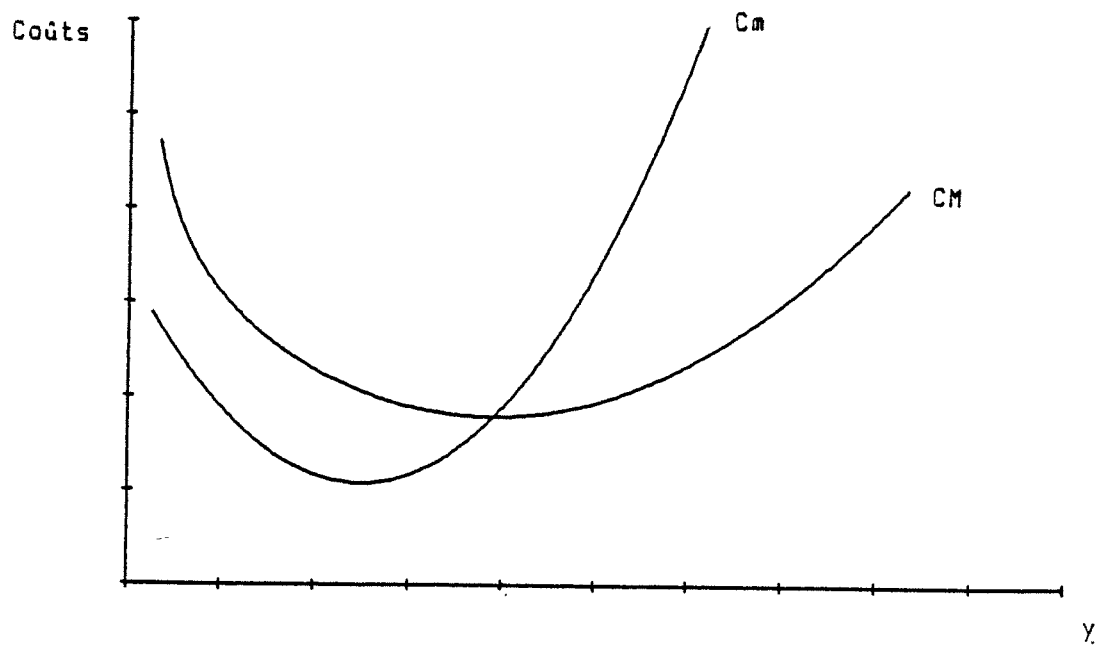
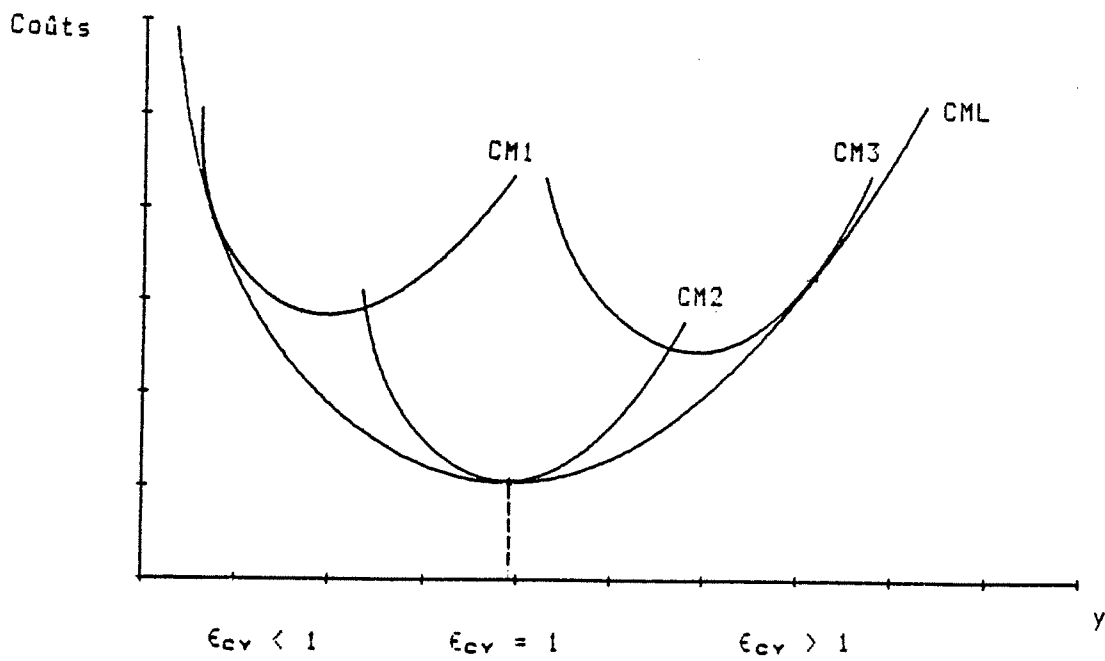


Figure 1.3 Coût moyen de long terme et rendements d'échelle



1.2 Mesures d'élasticités

Le critère de minimisation des coûts implique que les entreprises vont accorder beaucoup d'importance aux prix de ces facteurs. Lorsque les prix de certains facteurs varient, il est évident que des répercussions se produiront sur la quantité demandée d'un ou plusieurs facteurs dans la production. Par exemple, si une entreprise observe des taux de salaire élevés et des prix pour l'énergie faibles, alors, toute chose étant égale par ailleurs, elle favorisera le choix d'un processus de production consommant plus d'énergie et utilisant moins de main-d'oeuvre.

Le degré de réponse d'un changement de prix sur la quantité demandée est un élément très important de la théorie. On définit une mesure de ce changement, l'élasticité-prix de la demande, par :

$$\epsilon_{11} = \frac{\partial x_1}{\partial w_1} \cdot \frac{w_1}{x_1} = \frac{\Delta\% \text{ de la quantité demandée de } i}{\Delta\% \text{ du prix de } i} \quad (1.12a)$$

On s'attendra, ceteris paribus, à ce que cette mesure soit négative afin de respecter les propriétés générales de toute fonction de demande à pente négative.

Il est également intéressant d'analyser l'effet sur la demande d'un facteur du changement de prix d'un autre facteur entrant dans la relation technologique. Ces effets-prix croisés sont mesurés par les élasticités-croisées de la demande :

$$\epsilon_{1j} = \frac{\partial x_1}{\partial w_j} \cdot \frac{w_j}{x_1} = \frac{\Delta\% \text{ de la quantité demandée de } i}{\Delta\% \text{ du prix de } j} \quad (1.12b)$$

Si deux facteurs sont substituables, alors ϵ_{ij} sera positif. A l'opposé, deux facteurs seront compléments si cette mesure est négative. Finalement, nous distinguons deux facteurs indépendants lorsque l'élasticité-croisée est nulle.

Il n'est pas plausible de croire à un ajustement instantané aux changements de prix par l'entreprise. Plusieurs circonstances tendent à réduire le degré de réponse aux prix à court terme. Dans un premier temps, l'entreprise peut percevoir un changement de prix comme un phénomène temporaire et ainsi décider de subir celui-ci dans la relation existante s'il doit payer pour ajuster les proportions utilisées de chaque facteur. Dans certains cas, ces coûts d'ajustement sont substantiels. Deuxièmement, il se peut que pour des changements de prix perçus comme permanents l'entreprise ne soit pas incitée à modifier complètement la combinaison optimale des facteurs à court terme. Les motifs justifiant cette attitude sont la possibilité pour l'entreprise d'avoir des engagements contractuels vis-à-vis le capital, le manque de mobilité de la main-d'oeuvre ou les autres facteurs de production dont elle ne peut se libérer. A long terme, toutes ces contraintes devraient être inexistantes et l'entreprise sera alors apte à s'ajuster aux niveaux désirés. Toutes ces raisons ont pour conséquence que la mesure d'élasticité à court terme sera généralement plus faible (en valeur absolue) qu'à long terme.

Les mesures précédentes sont le reflet des mesures les plus intuitives disponibles pour l'économiste. Cependant, il est plus fréquent d'utiliser des mesures plus complètes d'élasticités de substitution plutôt que d'élasticité de la demande. L'élasticité de substitution, notée σ , est un nombre qui mesure le taux de substitution. On la définit pour le cas de

deux facteurs comme le rapport de la variation relative des facteurs à la variation relative du taux marginal de substitution technique (TMT):

$$\sigma = \frac{d \ln(x_2/x_1)}{d \ln(f_1/f_2)} = \frac{f_1/f_2}{x_2/x_1} \frac{d(x_2/x_1)}{d(f_1/f_2)} \quad (1.13)$$

où $f_1 = \frac{\partial f(x_1, x_2)}{\partial x_1}$ et $f_2 = \frac{\partial f(x_1, x_2)}{\partial x_2}$.

Or, les conditions du 1er ordre de maximisation de (1.3) impliquent que:

$$\frac{\frac{\partial f(x_1, x_2)}{\partial x_1}}{\frac{\partial f(x_1, x_2)}{\partial x_2}} = \frac{w_1}{w_2} \quad (1.14)$$

et ainsi

$$\sigma = \frac{d(x_2/x_1)}{d(w_1/w_2)} \frac{w_1/w_2}{x_2/x_1} \quad (1.15)$$

Lorsque nous avons plus de deux facteurs de production, la définition de l'élasticité de substitution devient plus complexe. Nous voulons maintenant mesurer comment le ratio des facteurs i et j répond à un changement dans les prix relatifs de i et j , mais nous ne savons plus comment réagissent les autres variables du système. Si nous gardons les autres prix de facteurs fixes, alors les autres quantités s'ajusteront optimalement et nous avons la définition des élasticités partielles d'Allen.⁵ Uzawa(1962) a démontré comment certaines propriétés de la dualité peuvent être utilisées afin de calculer les élasticités de substitution à partir de la fonction de coût. De (1.8), nous avons:

⁵ Voir Allen(1962)

$$\frac{x_1}{x_2} = \frac{C_1(w_1, \dots, w_N, y)}{C_2(w_1, \dots, w_N, y)} \quad (1.16)$$

$$\text{où } C_1(w_1, \dots, w_N, y) = \frac{\partial C}{\partial w_1} \text{ et } C_2(w_1, \dots, w_N, y) = \frac{\partial C}{\partial w_2} .$$

En différenciant sous forme logarithmique (1.16), nous obtenons

$$\begin{aligned} d \ln \left[\frac{x_1}{x_2} \right] &= \left[\frac{C_{11}}{C_1} - \frac{C_{21}}{C_2} \right] dw_1 + \left[\frac{C_{12}}{C_1} - \frac{C_{22}}{C_2} \right] dw_2 \\ &= \left[-\frac{w_2}{w_1} \frac{C_{12}}{C_1} - \frac{C_{21}}{C_2} \right] dw_1 + \left[\frac{C_{12}}{C_1} + \frac{w_1}{w_2} \frac{C_{21}}{C_2} \right] dw_2 \\ &= -\frac{C}{C_1} \cdot \frac{C_{12}}{C_2} d \ln \left[\frac{w_1}{w_2} \right] \end{aligned} \quad (1.17)$$

car, par la condition d'homogénéité de degré 1 sur les prix,

$$w_1 C_{11} + w_2 C_{12} + \dots = 0$$

$$w_1 C_{12} + w_2 C_{22} + \dots = 0$$

$$w_1 C_1 + w_2 C_2 + \dots = C$$

et où $dy = dw_3 = \dots = dw_N = 0$.

Nous trouvons finalement

$$\sigma_{12} = \frac{C}{C_1} \cdot \frac{C_{12}}{C_2}$$

et, d'une façon générale, nous pouvons écrire

$$\sigma_{1j} = \frac{C}{C_1} \cdot \frac{C_{1j}}{C_j} . \quad (1.18)$$

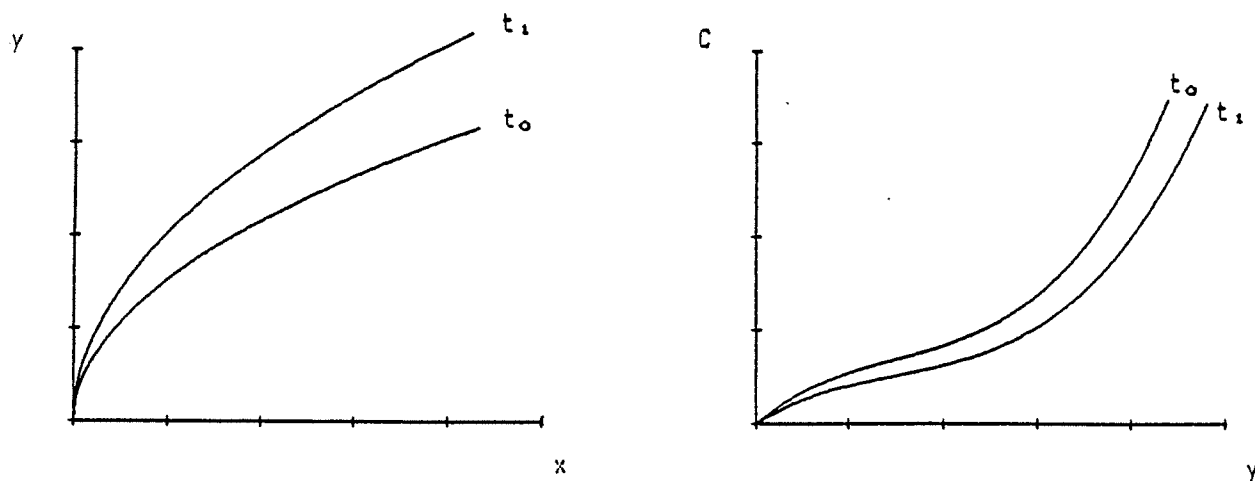
L'élasticité de substitution est un déterminant important de l'impact des variations de prix sur la part de chaque facteur dans les coûts. Cette mesure est plus générale que les mesures d'élasticité de la demande parce qu'elle permet d'étudier les variations dans les combinaisons optimales de facteurs lorsque le rapport de deux prix relatifs varie plutôt qu'un seul des prix.

1.3 Progrès technique

La technologie est le bassin de connaissances de la société en matières industrielles et agraires dans la production d'un ensemble de biens et services. De cette définition, nous savons que la technologie présente à un certain point dans le temps délimite les possibilités de production suivant les différentes combinaisons de facteurs. Le progrès technique est l'avancement de cette technologie qui prend souvent la forme de nouvelles méthodes de production et de nouvelles techniques d'organisation, de mise en marché et de gestion. Le résultat de cet avancement est un changement de la fonction de production ou de coût (figure 1.4). Si ces fonctions étaient observables explicitement, une comparaison de la fonction à deux instants fournirait à l'économiste une mesure simple de ce changement durant la période. Sous l'hypothèse de rendements constants, par exemple, les déplacements des isoquantes représentent les effets du progrès technique.

Il est souvent utile de distinguer le progrès technique du changement de technologie. Alors que le progrès technique est l'avancement de la connaissance, le changement de technologie est la modification de la méthode utilisée de production. Même si ces deux concepts sont différents, il en demeure cependant qu'ils sont interdépendants. En effet, le progrès technique a un impact économique très limité s'il ne se répercute pas en un changement de technologie. Cependant, même si le progrès technique peut résulter en un changement de technologie, il n'en est pas toujours ainsi (figure 1.5). De la même façon, un changement de technologie n'est pas nécessairement une conséquence du progrès technique mais plutôt une réponse à des signaux de prix (figure 1.6).

Figure 1.4 Progrès technique dans les fonctions de production et de coût



Le progrès technique peut donc être perçu comme une modification dans la forme ou l'amplitude des isoquantes d'une fonction de production. La neutralité de ce changement ne modifie pas la forme mais seulement l'amplitude par rapport au progrès. Ainsi, le progrès peut être neutre de multiples façons selon ses propriétés d'invariance. Le progrès neutre à la Hicks est une des catégories de progrès neutre où le ratio des facteurs sous un vecteur de prix donné reste constant lorsque le progrès se produit. Les changements sont, dans ce cas, équivalents à renuméroter les axes des isoquantes sans en modifier la structure.

Figure 1.5 Progrès technique et impact sur la technologie

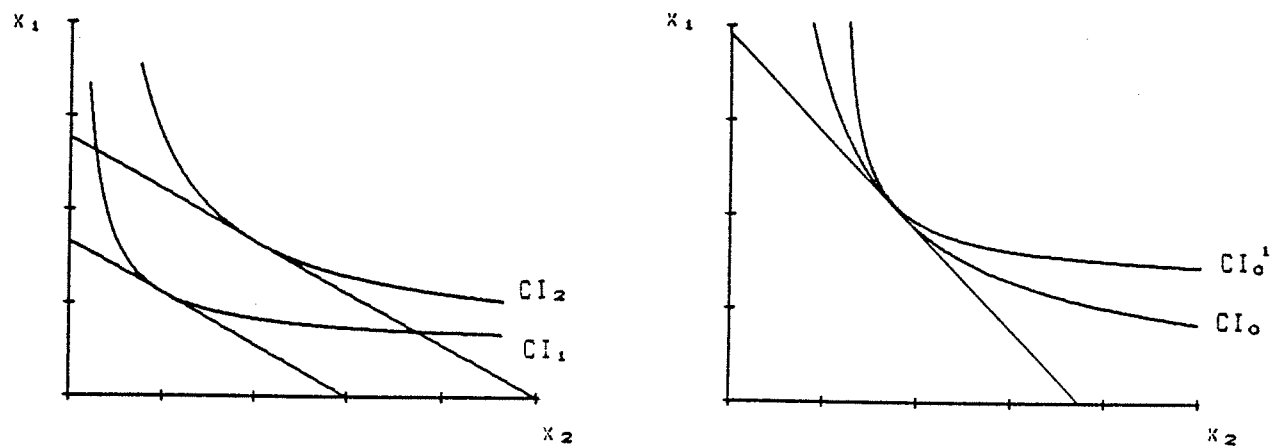
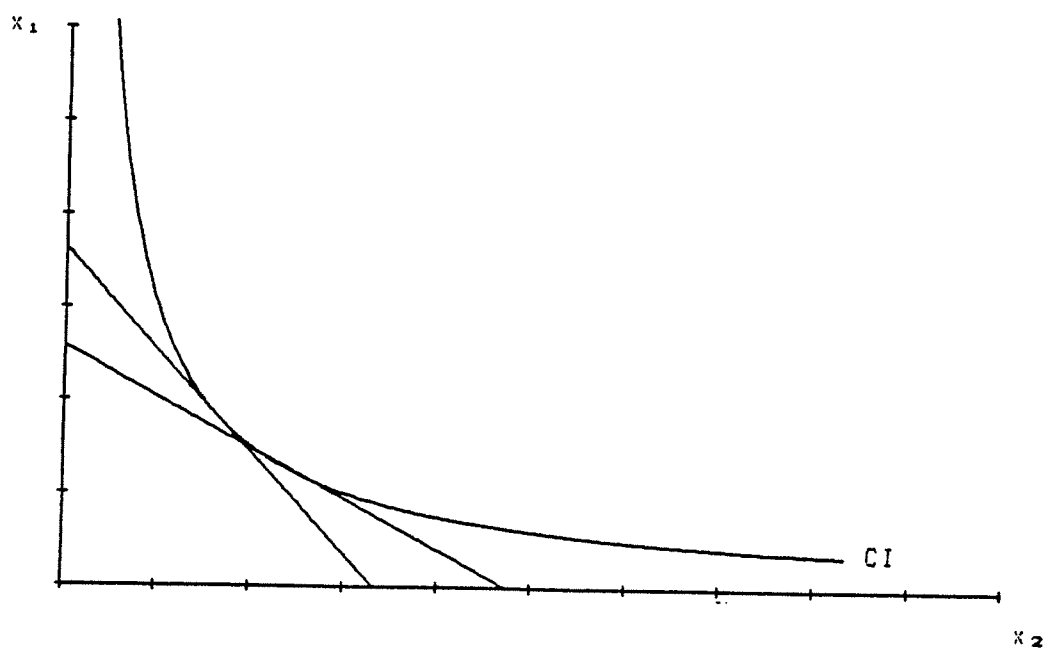


Figure 1.6 Changement de technologie à coût minimal sans progrès



Lorsque le progrès affecte de façon différente les facteurs de production, le progrès est alors défini biaisé. Le progrès est "i utilisant" (factor using) si un accroissement du prix du facteur accroît le coût total et "i épargnant" (factor saving) s'il le réduit. Alternativement, on peut dire que le progrès technique est "i utilisant" s'il y a accroissement de la part du facteur, les prix étant fixés, alors que l'inverse révèle une tendance "i épargnant". Comme la somme des parts doit être égale à l'unité, le progrès technique qui "utilise" ou "épargne" tous les facteurs est impossible. En réalité, la somme des biais associés à tous les facteurs doit être égale à 0 puisque la somme des variations dans les parts doit être égale à 0. Le progrès technique peut également être biaisé à la fois sur les facteurs de production et en regard avec les caractéristiques d'échelle du processus de production.

Formellement, Binswanger (1974b) définit le progrès biaisé à l'aide de la mesure suivante:

$$B_i = \frac{\partial S_i^*}{\partial t} \cdot \frac{1}{S_i} \quad (1.19)$$

où B_i est la mesure du biais

∂S_i^* est le changement dans la part lorsque les prix sont constants

S_i est la part du facteur i dans les coûts.

Ainsi, le progrès technique est "i épargnant" si $B_i < 0$, neutre si $B_i = 0$ et "i utilisant" si $B_i > 0$. D'autre part, Stevenson (1980) propose la mesure suivante pour calculer le biais associé aux rendements d'échelle:

$$B_y = \frac{\partial \epsilon_{cy}}{\partial t(\bar{y}, \bar{w})} \quad (1.20)$$

où

$$\epsilon_{cy} = \frac{\partial \ln C}{\partial \ln y} .$$

Un tel biais modifiera l'étendue selon lequel les rendements d'échelle peuvent être réalisés et ainsi modifier le niveau où le coût minimal moyen peut être atteint. En conséquence, $B_y < 0$ implique que la taille moyenne efficace de l'entreprise (TME) est réduite, $B_y = 0$ n'implique aucun changement dans la TME et $B_y > 0$ signifie que la TME peut être atteinte à un niveau inférieur de production.

La définition de la variable technologique à être utilisée lors de l'estimation du processus de production sera liée à la perception du rôle du progrès dans la relation technologique. D'une part, on pourra supposer que le progrès technique est nécessairement incorporé dans le capital si l'entreprise doit acheter une nouvelle machine lorsqu'elle utilise une innovation. Dans cette situation, seule la machinerie incorpore le progrès qui sera diffusé seulement après avoir remplacé tout le stock de capital par du neuf. Cependant, même s'il est associé à la nature du capital, ce progrès peut également affecter les autres facteurs de production. D'autre part, nous dirons que le progrès est désincorporé si la technologie peut être améliorée sans apport de nouvelle machinerie, notamment par l'amélioration de la qualité du produit ou de certains facteurs de production, de l'organisation et dans la qualité du travail. Parmi les variables utilisées dans la fonction de coût, on retrouvera parfois l'âge moyen du capital afin de saisir les

effets incorporés⁴ et le temps pour capter la tendance du progrès désincorporé.⁷ Ces variables demeurent cependant des mesures très vagues de la tendance et peuvent être très inefficaces pour saisir l'ensemble de l'impact sur la technologie.

1.4 Caractéristiques économiques de la réglementation

Les caractéristiques de l'industrie soumise à la réglementation sont presque aussi nombreuses que les cas où celle-ci est imposée. Cependant, la plupart de ces industries regroupent une ou plusieurs des quatre grandes caractéristiques où la présence de la réglementation semble motivée. La première caractéristique est l'existence possible de fortes économies d'échelle. Ce genre de situation n'est en général pas favorable à l'existence d'un équilibre concurrentiel: nous avons fréquemment dans ce contexte un modèle de monopole naturel provoquant ainsi une fondation pour la réglementation économique du monopole afin d'entraîner une allocation plus efficace de la ressource.

Une deuxième caractéristique technologique est la présence dans plusieurs entreprises de progrès biaisé. Cette forme de progrès peut par exemple rendre difficile l'isolation des rendements d'échelle lorsque le capital est à la fois plus élevé et plus efficace. Troisièmement, on note

⁴ Voir Nelson(1984)

⁷ Les problèmes associés au temps comme variable "catchall" ont notamment été soulevé par Denny, Fuss et Waverman(1981) et par Kopp et Smith(1983).

dans les industries réglementées une forte concentration du capital dans la technologie. Entre autres, les services de télécommunications, les lignes aériennes, les réseaux de distribution de gaz naturel et d'électricité nécessitent tous des montants de capitaux énormes sous la forme d'immobilisations et de machinerie. L'importance du facteur capital dans les coûts totaux nous obligera à lui accorder une attention particulière. Malheureusement, le capital est une variable difficile à calculer et les mesures obtenues sont souvent accompagnées d'une forte marge d'erreur. De plus, il est parfois important de tenir compte de l'utilisation de la capacité où il peut y avoir des biais sérieux si elle n'est pas minutieusement comptabilisée.

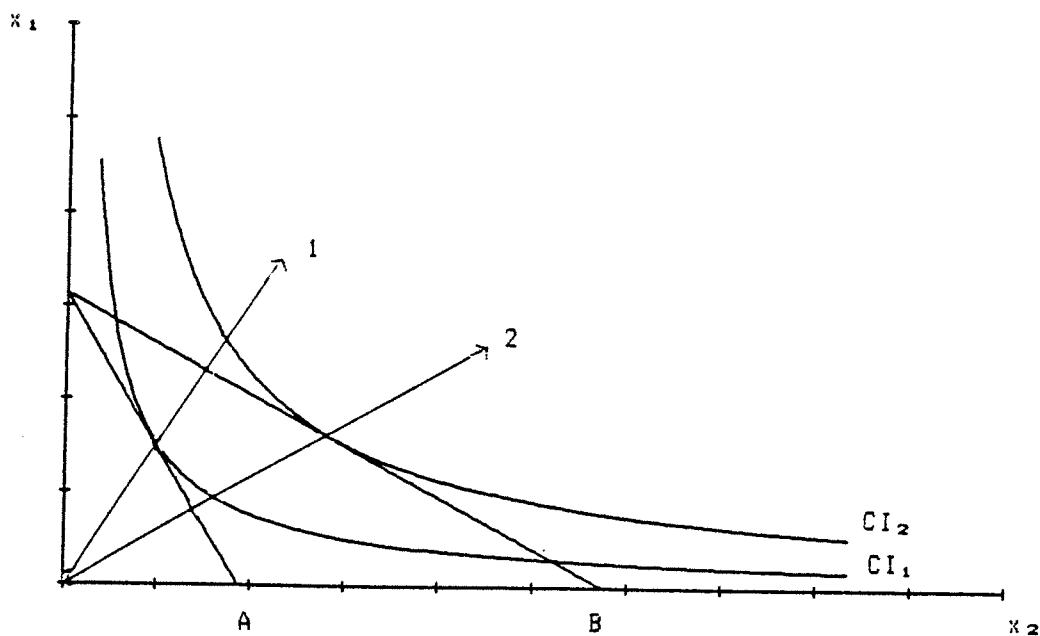
Finalement, la croissance semble être un facteur particulièrement important dans ces industries. Par exemple, les télécommunications et les services d'électricité ont été des secteurs où la croissance de la demande a été généralement sensiblement plus élevée que le secteur manufacturier dans son ensemble. La croissance économique a permis à ces industries de bénéficier à la fois d'économies d'échelle et de progrès technique substantiels.

Lorsque les politiques de tarification sont étudiées pour les entreprises soumises à la réglementation, les autorités publiques emploient communément un critère de "taux de rendement équitable". Après avoir soustrait les dépenses d'exploitation des revenus bruts, le bénéfice restant doit être seulement suffisant pour compenser équitablement l'entreprise pour ses investissements en équipements et en immobilisations. Si le taux de rendement calculé comme le ratio des bénéfices nets sur la valeur du capital

est jugé excessif, l'entreprise doit réduire ses tarifs. Si ces taux est trop bas, l'organisme permettra une augmentation de tarifs.

Averch et Johnson(1962) ont développé un modèle simple illustrant la situation d'un monopole cherchant à maximiser ses profits sous la contrainte d'un taux de rendement imposé. La figure 1.7 nous permet d'examiner l'effet de la contrainte sur l'entreprise employant deux facteurs de production. La droite d'isocoût A représente la situation de l'entreprise non réglementée empruntant le sentier d'expansion 1. Sous la réglementation, le coût privé du capital n'est plus égal au prix de marché. Pour chaque unité additionnelle de x_2 , le capital, l'entreprise peut obtenir une rémunération supplémentaire (profit) égale à la différence entre le taux de rendement permis et le coût d'usage du capital. L'impact de la réglementation a pour conséquence de déplacer la courbe d'isocoût de A à B et le sentier d'expansion vers 2. Sur cette trajectoire, les coûts ne sont plus minimisés au prix de marché du capital. L'entreprise emploie ce sentier parce qu'il lui permet de maximiser ses profits sous la contrainte de réglementation.

Figure 1.7 Impact de la réglementation sur le sentier d'expansion



Si nous reprenons le modèle décrit en (1.3), nous avons le problème suivant:

$$\begin{aligned} \max PY - \sum_{i=1}^{N-1} w_i x_i - w_k x_k \quad N = K \\ \text{s.c.} \quad \text{i) } Y = f(x_1, \dots, x_N) \\ \text{ii) } PY - \sum_{i=1}^{N-1} w_i x_i \leq s_k x_k, \quad s_k > w_k \end{aligned} \quad (1.21)$$

où s_k est le taux de rendement permis sur le capital. En posant la contrainte de réglementation satisfaite par l'égalité et en admettant une solution non-triviale, le problème précédent peut être exprimé sous forme mathématique par le lagrangien:

$$L = PY - \sum_{i=1}^{N-1} w_i x_i - w_k x_k + \lambda_1 (s_k x_k + \sum_{i=1}^{N-1} w_i x_i - PY) + \lambda_2 (f(.) - Y) \quad (1.22)$$

d'où nous obtenons les conditions nécessaires du 1er ordre suivantes:

$$\frac{\partial L}{\partial x_j} = -w_j (1 - \lambda_1) - \lambda_2 \frac{\partial f}{\partial x_j} = 0 \quad (1.23a)$$

$$\frac{\partial L}{\partial x_k} = -(w_k - \lambda_1 s_k) - \lambda_2 \frac{\partial f}{\partial x_k} = 0 \quad (1.23b)$$

$$\frac{\partial L}{\partial Y} = \left(p + Y \frac{\partial p}{\partial Y} \right) (1 - \lambda_1) - \lambda_2 \frac{\partial f}{\partial Y} = 0 \quad (1.23c)$$

$$\frac{\partial L}{\partial \lambda_1} = s_k x_k - PY + \sum_{i=1}^{N-1} w_i x_i = 0 \quad (1.23d)$$

$$\frac{\partial L}{\partial \lambda_2} = f(x_1, \dots, x_N) - Y = 0. \quad (1.23e)$$

Baumol et Klevorick (1970) ont montré que $0 \leq \lambda_1 \leq w_k/s_k$ impliquant que $0 \leq \lambda_1 < 1$. Le modèle suggère donc deux solutions possibles:

- 1- la contrainte n'est pas serrée et la réglementation n'a pas d'impact puisque la solution optimale de l'entreprise est en deça du seuil permis;
- 2- la contrainte est serrée et les combinaisons optimales de facteurs peuvent alors différer de celles minimisant les coûts aux prix de marché. En particulier, on peut montrer que le monopole réglementé tend à surcapitaliser car

$$\lambda_2 f_k - w_k = \frac{\lambda_1}{1 - \lambda_1} (w_k - s_k) < 0$$

i.e. qu'à l'équilibre le produit marginal du capital est moins élevée que le coût du capital (Spann(1974)).

CHAPITRE 2 MODELISATION DE LA FONCTION DE COUT

2.1 La fonction de coût sous la contrainte de réglementation

Nous avons introduit à la section 1.4 les motifs selon lesquels la réglementation sur le taux de rendement peuvent entraîner un choix de facteurs de production différent de la combinaison optimale minimisant les coûts. Si la réglementation agit réellement comme contrainte, alors l'estimation des paramètres d'une fonction de coût négligeant cet aspect donnera des résultats biaisés en raison de l'erreur de spécification sur le comportement de l'entreprise. Nous discutons dans cette section des outils nous permettant d'inclure la contrainte dans la spécification de la fonction de coût.

2.1.1 Cas avec facteurs variables seulement

A l'aide des éléments du modèle général défini à la section précédente, nous établissons de (1.23a) et (1.23b) les rapports suivants:

$$\frac{f_i}{f_j} = \frac{w_i(1 - \lambda_1)}{w_j(1 - \lambda_1)} = \frac{w_i^*}{w_j^*} \quad (2.1a)$$

$$\frac{f_i}{f_k} = \frac{w_i(1 - \lambda_1)}{w_k - \lambda_1 s_k} = \frac{w_i^*}{w_k^*} \quad (2.1b)$$

où w_1^* , w_2^* et w_k^* peuvent être interprétés comme des prix implicites. Or, les conditions (2.1a) et (2.1b) ne sont que les conditions d'optimalité habituelles où l'entreprise établit le TMT égal au ratio des prix implicites. Ce résultat nous permet de postuler la condition de minimisation des coûts en termes des prix implicites plutôt que des prix de marché. L'entreprise agit comme si elle minimise les coûts par rapport aux prix implicites. La fonction restreinte est:

$$C^* = C^*(w_1^*, \dots, w_{N-1}^*, w_k^*, y) \quad (2.2)$$

et où, par la lemme de Shephard,

$$\frac{\partial C^*}{\partial w_1^*} = x_1 \quad (2.3)$$

Ne connaissant pas les prix implicites, l'équation (2.2) ne peut être estimée. Cependant, il est possible de formuler une fonction de coût restreinte en termes des prix de marché. En effet,

$$C^* = \sum_{i=1}^{N-1} w_i^* x_i + w_k^* x_k \quad (2.4)$$

où x_1 et x_k sont les combinaisons optimales de facteurs étant donné w_1 , w_k et x_k . En normalisant les prix, nous utilisons les conditions (2.1a) et (2.1b) pour obtenir

$$\begin{aligned} C^* &= \sum_{i=1}^{N-1} w_i (1 - \lambda_1) x_i + (w_k - \lambda_1 s_k) x_k \\ &= \sum_{i=1}^{N-1} w_i x_i + w_k x_k - \lambda_1 (s_k x_k + \sum_{i=1}^{N-1} w_i x_i) \end{aligned} \quad (2.5)$$

$$= C(w_1, \dots, w_{N-1}, w_k, s_k, y) - \lambda_1 p y \quad (2.6)$$

où $C(w_1, \dots, w_{N-1}, w_N, s_N, y)$ est une fonction en termes de prix de marché. L'inclusion du taux de rendement permis dans la fonction de coût est justifié par le rôle de la contrainte dans les demandes de facteurs car

$$x_i = x_i(w_1, \dots, w_{N-1}, w_N, s_N, y) \quad i = 1, \dots, N-1$$

et

$$x_N = x_N(w_1, \dots, w_{N-1}, w_N, s_N, y).$$

D'autre part, nous dérivons de l'équation (2.6) une version modifiée du lemme de Shephard pour la fonction de coût restreinte en termes de prix de marché. En dérivant par rapport à w_j , nous avons

$$\begin{aligned} \frac{\partial C}{\partial w_j} &= \sum_{i=1}^{N-1} \frac{\partial C^*}{\partial w_i} \frac{\partial w_i}{\partial w_j} + \frac{\partial C^*}{\partial w_N} \frac{\partial w_N}{\partial w_j} + \frac{\partial \lambda_1}{\partial w_j} (py) \\ &= \frac{\partial C^*}{\partial w_j} \frac{\partial w_j}{\partial w_j} + \sum_{i=1, i \neq j}^{N-1} \frac{\partial C^*}{\partial w_i} \frac{\partial w_i}{\partial w_j} + \frac{\partial C^*}{\partial w_N} \frac{\partial w_N}{\partial w_j} + \frac{\partial \lambda_1}{\partial w_j} (py) \\ &= x_j(1 - \lambda_1) - \frac{\partial \lambda_1}{\partial w_j} w_j x_j - \sum_{i=1, i \neq j}^{N-1} \frac{\partial \lambda_1}{\partial w_j} w_i x_i - \frac{\partial \lambda_1}{\partial w_j} (s_N x_N) + \frac{\partial \lambda_1}{\partial w_j} (py) \\ &= x_j(1 - \lambda_1) + \frac{\partial \lambda_1}{\partial w_j} (py - \sum_{i=1}^{N-1} w_i x_i - s_N x_N) \\ &= x_j(1 - \lambda_1) \end{aligned} \tag{2.7}$$

De plus,

$$\begin{aligned} \frac{\partial C}{\partial w_N} &= \sum_{i=1}^{N-1} \frac{\partial C^*}{\partial w_i} \frac{\partial w_i}{\partial w_N} + \frac{\partial C^*}{\partial w_N} \frac{\partial w_N}{\partial w_N} + \frac{\partial \lambda_1}{\partial w_N} (py) \\ &= x_N + \frac{\partial \lambda_1}{\partial w_N} (py - \sum_{i=1}^{N-1} w_i x_i - s_N x_N) \\ &= x_N \end{aligned} \tag{2.8}$$

$$\begin{aligned}
\frac{\partial C}{\partial s_k} &= \sum_{i=1}^{N-1} \frac{\partial C^*}{\partial w_i^*} \frac{\partial w_i^*}{\partial s_k} + \frac{\partial C^*}{\partial w_k^*} \frac{\partial w_k^*}{\partial s_k} + \frac{\partial \lambda_1}{\partial s_k} (py) \\
&= -\lambda_1 x_k + \frac{\partial \lambda_1}{\partial s_k} (py - \sum_{i=1}^{N-1} w_i x_i - s_k x_k) \\
&= -\lambda_1 x_k .
\end{aligned} \tag{2.9}$$

Le système d'équations à estimer sera formé en notant que:

$$\frac{x_i}{x_j} = \frac{C_i}{C_j} \tag{2.10}$$

et le multiplicateur λ_1 est trouvé implicitement par la relation:

$$\begin{aligned}
\frac{\partial C}{\partial w_i} &= (1 - \lambda_1) x_i \\
\lambda_1 &= 1 - \frac{\partial C}{\partial w_i} \cdot \frac{1}{x_i}
\end{aligned} \tag{2.11}$$

ou, par rapport à la part dans le coût total (S_1),

$$\begin{aligned}
\frac{\partial \ln C}{\partial \ln w_i} \cdot \frac{C}{w_i} &= (1 - \lambda_1) x_i \\
\lambda_1 &= 1 - \frac{\partial \ln C}{\partial \ln w_i} \cdot \frac{1}{S_1} .
\end{aligned} \tag{2.12}$$

2.1.2 Cas avec facteurs quasi-fixes

L'analyse précédente permet de spécifier explicitement la fonction de coût moyen pour le cas où tous les facteurs sont variables. Il est possible d'étendre le cadre de la discussion afin de considérer la présence de facteurs quasi-fixes dans le modèle. En particulier, nous nous intéressons au cas où il y a un facteur quasi-fixe réglementé et un facteur quasi-fixe non-réglementé. Notre problème de maximisation est maintenant redéfini par

$$\begin{aligned} \max_{x,y} \quad & py - \sum_{i=1}^{N-2} w_i x_i - w_F x_F - w_K x_K \\ \text{s.c.} \quad & \text{i) } y - f(x_1, \dots, x_{N-2}, x_F, x_K) = 0 \\ & \text{ii) } py - \sum_{i=1}^{N-2} w_i x_i - w_F x_F - s_K x_K = 0 \\ & \text{iii) } x_F = \bar{x}_F \\ & \text{iv) } x_K = \bar{x}_K \end{aligned} \quad (2.13)$$

Le lagrangien du nouveau problème est:

$$\begin{aligned} L = py - \sum_{i=1}^{N-2} w_i x_i - w_F x_F - w_K x_K + \lambda_1 \left(\sum_{i=1}^{N-2} w_i x_i + w_F x_F + s_K x_K - py \right) \\ + \lambda_2 (f(\cdot) - y) + \lambda_3 (\bar{x}_F - x_F) + \lambda_4 (\bar{x}_K - x_K) \end{aligned} \quad (2.14)$$

d'où nous obtenons les conditions nécessaires:

$$\frac{\partial L}{\partial y} = \left(p + y \frac{\partial p}{\partial y} \right) (1 - \lambda_1) - \lambda_2 = 0 \quad (2.15a)$$

$$\frac{\partial L}{\partial x_i} = -w_i (1 - \lambda_1) + \lambda_2 f_i = 0 \quad (2.15b)$$

$$\frac{\partial L}{\partial x_F} = -w_F (1 - \lambda_1) - \lambda_3 + \lambda_2 f_F = 0 \quad (2.15c)$$

$$\frac{\partial L}{\partial x_k} = -(w_k - \lambda_1 s_k) - \lambda_4 + \lambda_2 f_k = 0 \quad (2.15d)$$

$$\frac{\partial L}{\partial \lambda_1} = \sum_{i=1}^{N-2} w_i x_i + w_P x_P + s_k x_k - p y = 0 \quad (2.15e)$$

$$\frac{\partial L}{\partial \lambda_2} = f(x_1, \dots, x_{N-2}, x_P, x_k) - y = 0 \quad (2.15f)$$

$$\frac{\partial L}{\partial \lambda_3} = \bar{x}_P - x_P = 0 \quad (2.15g)$$

$$\frac{\partial L}{\partial \lambda_4} = \bar{x}_k - x_k = 0 \quad (2.15h)$$

Encore une fois, nous pouvons exprimer (2.15b) à (2.15d) sous forme de ratios pour obtenir:

$$\frac{f_1}{f_j} = \frac{w_1(1 - \lambda_1)}{w_j(1 - \lambda_1)} = \frac{w_1^*}{w_j^*} \quad (2.16a)$$

$$\frac{f_1}{f_P} = \frac{w_1(1 - \lambda_1)}{w_P(1 - \lambda_1) + \lambda_3} = \frac{w_1^*}{w_P^*} \quad (2.16b)$$

$$\frac{f_1}{f_k} = \frac{w_1(1 - \lambda_1)}{w_k - \lambda_1 s_k + \lambda_4} = \frac{w_1^*}{w_k^*} \quad (2.16c)$$

La fonction de coût total implicite a maintenant la forme

$$C^* = \sum_{i=1}^{N-2} w_i^* x_i + w_P^* x_P + w_k^* x_k \quad (2.17)$$

où $w_P^* = w_P(1 - \lambda_1) + \lambda_3$ et $w_k^* = w_k - \lambda_1 s_k + \lambda_4$. Nous retrouvons de cette fonction le lemme de Shephard et certaines propriétés par rapport aux facteurs quasi-fixes:

$$\frac{\partial C^*}{\partial w_1^*} = x_1 \quad (2.18a)$$

$$\frac{\partial C^*}{\partial x_F} = 0 \quad (2.18b)$$

$$\frac{\partial C^*}{\partial x_K} = 0 \quad (2.18c)$$

De la même façon, nous pouvons exprimer la fonction de coût variable et ses dérivées associées:

$$CV^* = C^* - w_F^* x_F - w_K^* x_K \quad (2.19)$$

$$\frac{\partial CV^*}{\partial w_1^*} = \frac{\partial C^*}{\partial w_1^*} = x_1 \quad (2.20a)$$

$$\frac{\partial CV^*}{\partial x_F} = \frac{\partial C^*}{\partial x_F} - w_F^* = -w_F^* \quad (2.20b)$$

$$\frac{\partial CV^*}{\partial x_K} = \frac{\partial C^*}{\partial x_K} - w_K^* = -w_K^* \quad (2.20c)$$

où w_F^* et w_K^* sont considérés comme des variables exogènes. Ainsi,

$$\begin{aligned} CV^*(w_1^*, \dots, w_{N-2}^*, x_F, x_K, y) &= \sum_{i=1}^{N-2} w_i x_i^* \\ &= \sum_{i=1}^{N-2} w_i x_i (1 - \lambda_1) \\ &= CV(w_1, \dots, w_{N-2}, s_K, x_F, x_K, y) - \lambda_1 \left(\sum_{i=1}^{N-2} w_i x_i \right). \end{aligned} \quad (2.21)$$

Les propriétés de cette fonction de coût variable aux prix de marché sont:

$$\frac{\partial CV}{\partial w_1} = x_1 (1 - \lambda_1) \quad (2.22)$$

$$\frac{\partial CV}{\partial s_K} = -\lambda_1 x_K \quad (2.23)$$

et, pour les facteurs quasi-fixes,

$$\begin{aligned} \frac{\partial CV}{\partial x_F} &= \frac{\partial CV^*}{\partial x_F} + \sum_{i=1}^{N-2} \frac{\partial CV^*}{\partial w_i^*} \frac{\partial w_i^*}{\partial x_F} + \sum_{i=1}^{N-2} \frac{\partial \lambda_i}{\partial x_F} (w_i x_i) \\ &= -w_F(1 - \lambda_1) - \lambda_3 - \sum_{i=1}^{N-2} \frac{\partial \lambda_i}{\partial x_F} (w_i x_i) + \sum_{i=1}^{N-2} \frac{\partial \lambda_i}{\partial x_F} (w_i x_i) \\ &= -z_F + \lambda_1 w_F \end{aligned} \quad (2.24)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial CV}{\partial x_K} &= \frac{\partial CV^*}{\partial x_K} + \sum_{i=1}^{N-2} \frac{\partial CV^*}{\partial w_i^*} \frac{\partial w_i^*}{\partial x_K} + \sum_{i=1}^{N-2} \frac{\partial \lambda_i}{\partial x_K} (w_i x_i) \\ &= -w_K + \lambda_1 s_K - \lambda_4 - \sum_{i=1}^{N-2} \frac{\partial \lambda_i}{\partial x_K} (w_i x_i) + \sum_{i=1}^{N-2} \frac{\partial \lambda_i}{\partial x_K} (w_i x_i) \\ &= -z_K + \lambda_1 s_K \end{aligned} \quad (2.25)$$

où $z_F = w_F + \lambda_3$ et $z_K = w_K + \lambda_4$ sont les prix implicites des facteurs quasi-fixes lorsque l'aspect de la réglementation est ignoré. Finalement, nous avons par rapport à la fonction de coût total

$$C = CV + w_F x_F + w_K x_K$$

$$\frac{\partial C}{\partial x_F} = \frac{\partial CV}{\partial x_F} + w_F = -\lambda_3 + \lambda_1 w_F \quad (2.26)$$

$$\frac{\partial C}{\partial x_K} = \frac{\partial CV}{\partial x_K} + w_K = -\lambda_4 + \lambda_1 s_K \quad (2.27)$$

Nous retrouvons en (2.24), (2.25), (2.26) et (2.27) les résultats attendus pour les facteurs quasi-fixes, soit la négative du prix implicite et de l'écart entre le prix implicite et le prix de marché pour les fonctions de coût variable et total respectivement. A ce résultat s'ajoute le biais

entraîné par la présence de la réglementation, le biais prenant une forme correspondante au biais obtenu pour la version modifiée du lemme de Shephard pour les facteurs variables. Nous avons résumé dans le tableau 2.1 les principaux résultats dérivés des sections 2.1.1 et 2.1.2.

Tableau 2.1 Propriétés dérivées des fonctions de coût variable et de coût total

dérivée de la par rapport à	Fonction de coût variable	Fonction de coût total
w_j	$x_j(1 - \lambda_1)$	$x_j(1 - \lambda_1)$
w_k	x_k	x_k
s_k	$-\lambda_1 x_k$	$-\lambda_1 x_k$
x_F	$-z_F + \lambda_1 w_F$	$-\lambda_3 + \lambda_1 w_F$
x_k	$-z_k + \lambda_1 s_k$	$-\lambda_4 + \lambda_1 s_k$

2.2 Calcul des élasticités de substitution

Une des propriétés importantes de la fonction de coût pour l'entreprise non-réglémentée est l'homogénéité de degré 1 en fonction des prix des facteurs. Cependant, cette propriété n'est plus valide pour l'entreprise soumise à la réglementation. Pour s'en convaincre, il suffit de voir que, lorsque tous les facteurs sont variables, le théorème d'Euler est violé. En effet,

$$\sum_{i=1}^{N-1} \frac{\partial C}{\partial w_i} \cdot w_i + \frac{\partial C}{\partial w_N} \cdot w_N = (1 - \lambda_1) \sum_{i=1}^{N-1} w_i x_i + w_N x_N \neq C \text{ si } \lambda_1 \neq 0. \quad (2.28)$$

En conséquence, Cowing (1982) propose l'utilisation de la formule de McFadden (1963) pour le calcul des élasticités implicites où l'homogénéité de degré 1 n'est pas une condition a priori:

$$\sigma_{1j} = \left(-\frac{C_{11}}{C_1^2} + \frac{2C_{1j}}{C_1 C_j} - \frac{C_{jj}}{C_j^2} \right) \left(\frac{1}{w_1 C_1} + \frac{1}{w_j C_j} \right)^{-1} \quad (2.29)$$

Si la contrainte de réglementation ne s'applique pas, alors il est possible de calculer les élasticités de substitution à l'aide de l'équation (1.18).

D'autre part, l'équation (2.29) ne fournit aucune information sur les possibilités de substitution entre un facteur quasi-fixe et les facteurs variables. Nous pouvons cependant calculer celles-ci à l'aide de la fonction de coût variable.* Si tous les facteurs sont à l'optimum, le coût total implicite est:

$$C^* = CV^*(w_1^*, \dots, w_{N-1}^*, x_N, y) + w_N^* \tilde{x}_N = G(w_1^*, \dots, w_{N-1}^*, x_N, y)$$

$$\begin{aligned} C &= C^* - \lambda_1 \sum_{i=1}^N w_i x_i \\ &= CV^* + w_N^* \tilde{x}_N - \lambda_1 \sum_{i=1}^N w_i x_i \end{aligned} \quad (2.30)$$

où \tilde{x}_N est le niveau optimal du facteur quasi-fixe. Afin de pouvoir calculer les élasticités de substitution à partir de (2.30), nous utilisons la condition d'équilibre statique sur le facteur quasi-fixe:

$$\frac{\partial CV^*}{\partial \tilde{x}_N} = -w_N^* \quad (2.31)$$

* Afin de simplifier le développement, nous considérons la présence d'un seul facteur quasi-fixe, qu'il soit soumis ou non à la réglementation.

où $w_N^* = w_N(1 - \lambda_1)$ si N n'est pas réglementé et

$w_N^* = w_N(1 - \lambda_{1,N})$ si N est soumis à la réglementation. Ainsi,

$$\frac{\partial C}{\partial w_1} = \sum_{j=1}^{N-1} \frac{\partial CV^*}{\partial w_j^*} \frac{\partial w_j^*}{\partial w_1} + \frac{\partial CV^*}{\partial \tilde{x}_N} + \frac{\partial w_N^*}{\partial w_1} \tilde{x}_N + \frac{\partial \tilde{x}_N}{\partial w_1} w_N^* - \frac{\partial \lambda_1}{\partial w_1} \sum_{i=1}^N w_i x_i + d_1 \tilde{x}_N \quad (2.32)$$

où $d_i = 1$ si $i = N$ et $d_i = 0$ si $i \neq N$. En simplifiant, nous trouvons*

$$\frac{\partial C}{\partial w_1} = \frac{\partial CV}{\partial w_1}, \quad i = 1, \dots, N-1 \quad (2.33a)$$

$$\frac{\partial C}{\partial w_N} = \tilde{x}_N. \quad (2.33b)$$

Les dérivées du deuxième ordre sont données par:

$$\begin{aligned} \frac{\partial^2 C}{\partial w_1 \partial w_j} &= \frac{\partial^2 CV}{\partial w_1 \partial w_j} + \frac{\partial^2 CV}{\partial w_1 \partial \tilde{x}_N} \frac{\partial \tilde{x}_N}{\partial w_j} + d_1 \frac{\partial \tilde{x}_N}{\partial w_j} + d_j \frac{\partial \tilde{x}_N}{\partial w_1} \\ &+ \frac{\partial \tilde{x}_N}{\partial w_j} \left(\frac{\partial^2 CV}{\partial \tilde{x}_N \partial w_j} + \frac{\partial^2 CV}{\partial \tilde{x}_N^2} \frac{\partial \tilde{x}_N}{\partial w_j} \right) + \frac{\partial CV}{\partial \tilde{x}_N} \frac{\partial^2 \tilde{x}_N}{\partial w_1 \partial w_j} + w_N \frac{\partial^2 \tilde{x}_N}{\partial w_1 \partial w_j}. \end{aligned} \quad (2.34)$$

Ne connaissant pas $\partial \tilde{x}_N / \partial w_1$ et afin de simplifier (2.34), nous utilisons la condition sur (2.30):

$$\frac{\partial C}{\partial \tilde{x}_N} = \frac{\partial G^*(.)}{\partial \tilde{x}_N} = G_N^* = 0. \quad (2.35)$$

Pour que cette condition demeure satisfaite à la suite d'un changement dans w_1^* , il faut que:

$$dG_N^* = 0 = \frac{\partial G_N^*}{\partial y} dy + \sum_{j=1}^{N-1} \frac{\partial G_N^*}{\partial w_j^*} dw_j^* + \frac{\partial G_N^*}{\partial \tilde{x}_N} d\tilde{x}_N. \quad (2.36)$$

* Les résultats sont identiques que le facteur quasi-fixe soit soumis ou non à la réglementation.

En posant $dY = dw_j^* = 0$ ($j \neq i$) et en divisant de chaque côté par dw_i^* , nous trouvons

$$\begin{aligned} \frac{\partial G_N^*}{\partial w_i^*} \frac{\partial w_i^*}{\partial w_i^*} + \frac{\partial G_N^*}{\partial \tilde{x}_N} \frac{\partial \tilde{x}_N}{\partial w_i^*} &= 0 \\ &= \frac{\partial G_N^*}{\partial w_i^*} + \frac{\partial G_N^*}{\partial \tilde{x}_N} \frac{\partial \tilde{x}_N}{\partial w_i^*} \end{aligned} \quad (2.37)$$

et, par rapport à la fonction de coût total aux prix de marché,

$$\frac{\partial \tilde{x}_N}{\partial w_i} = - \frac{\partial G_N^* / \partial w_i}{\partial G_N^* / \partial \tilde{x}_N} = \frac{\partial^2 C / \partial \tilde{x}_N \partial w_i}{\partial^2 C / \partial \tilde{x}_N^2} \quad (2.38)$$

De (2.37), nous avons que

$$\frac{\partial^2 CV}{\partial \tilde{x}_N \partial w_i} + \frac{\partial^2 CV}{\partial \tilde{x}_N^2} \frac{\partial \tilde{x}_N}{\partial w_i} = 0 \quad (2.39)$$

Ainsi le terme entre parenthèses dans (2.34) est égal à 0. Nous pouvons maintenant simplifier l'équation (2.34) pour obtenir

$$\frac{\partial^2 CV}{\partial w_i \partial w_j} = \frac{\partial^2 CV}{\partial w_i \partial w_j} + \frac{\partial \tilde{x}_N}{\partial w_j} \frac{\partial^2 CV}{\partial \tilde{x}_N \partial w_i} \quad i, j = 1, \dots, N-1 \quad (2.40a)$$

$$\frac{\partial^2 C}{\partial w_i \partial w_j} = \frac{\partial \tilde{x}_N}{\partial w_i} \frac{\partial^2 CV}{\partial \tilde{x}_N \partial w_j} \quad i, j = 1, \dots, N-1 \quad (2.40b)$$

$$\frac{\partial^2 C}{\partial w_N^2} = \frac{\partial \tilde{x}_N}{\partial w_N} \quad (2.40c)$$

A l'aide de ces résultats, nous pouvons résumer les étapes à suivre afin de trouver les élasticité de substitution entre les facteurs:

1- résoudre numériquement (2.36) afin de trouver le niveau optimal de

x_N ;

2- évaluer la fonction de coût variable au niveau optimal de x_N ;

- 3- évaluer (2.38) pour chaque facteur variable dans la fonction de coût;
- 4- évaluer les dérivées premières en (2.33a) et (2.33b) et les dérivées secondes (2.40a) à (2.40c);
- 5- calculer les élasticités de substitution implicites à l'aide de l'équation (2.29).

2.3 Caractérisation du progrès technique

La spécification d'une variable susceptible de percevoir l'effet du progrès technique n'est pas un travail facile. Cette mesure est souvent calculée lors des estimations comme une valeur résiduelle reflétant plus l'ignorance et les erreurs de spécification du modèle que les changements réels du processus de production associés à une meilleure utilisation ou une plus grande efficacité des facteurs. Lorsque l'on désire utiliser des séries chronologiques afin d'estimer la structure de production, il est nécessaire de poser une hypothèse sur la nature du progrès technique durant cette période. Traditionnellement, plusieurs travaux empiriques ont supposé l'absence de progrès technique.¹⁰ Une hypothèse plus faible propose que le progrès soit neutre à la Hicks (parts invariantes à prix constants). Cependant, il peut être avantageux d'estimer des fonctions de coût sous des hypothèses très larges. On veut permettre des changements dans les parts indépendamment des changements dans les prix à travers le temps, i.e. comptabiliser l'effet d'un progrès technique biaisé.

¹⁰ Les études de Berndt et Wood(1975) utilisent cette hypothèse alors que Christensen et Greene(1976) et Cowing(1982) analysent des coupes transversales.

Il est fréquent d'utiliser le temps comme mesure susceptible d'intégrer l'impact du progrès technique.¹¹ Le cas le plus simple est évidemment la fonction de coût unitaire où les rendements sont constants. On spécifie alors

$$C = C(w_1, \dots, w_{N-1}, w_K, s_K, t). \quad (2.41)$$

Sous la forme (2.41), c'est-à-dire en l'absence d'économies ou de déséconomies d'échelle, le calcul du progrès technique est explicite. Nous avons alors

$$\frac{\partial \ln C}{\partial t} = - \frac{\dot{B}}{B} \quad (2.42)$$

où $-\dot{B}/B$ est la variation de l'indice du progrès technique. Le biais peut être calculé directement à partir de l'équation (1.19).

Sous cette forme, le biais doit cependant être analysé avec précaution. Pour le cas d'une fonction de coût estimée par l'entremise d'une approximation du 2e ordre, une translog par exemple, ce biais dépend du signe d'un paramètre seulement et par conséquent ne varie pas en réponse aux changements de prix. A cet égard, cette mesure ne peut être utilisée pour vérifier la validité de l'hypothèse du progrès technique induit par des phénomènes de rareté et de changements dans les prix des facteurs (Berndt et Wood, 1982). De plus, le paramètre du biais représente un effet relatif plutôt qu'absolu du progrès technique sur la demande des facteurs de

¹¹ Wills (1979) et Berndt, Wood (1982) utilisent cet indice dans une fonction de coût à rendements constants. Pour leurs parts, Nelson, Wohar (1983) et Rao, Preston (1983) tentent d'utiliser des formes plus générales à rendements non-constants.

production. Si, par exemple, le changement est neutre à la Hicks ($B_i = 0$), alors les demandes absolues de facteurs seraient réduites dans une proportion égale, mais les demandes relatives demeureraient inchangées. De la même façon, si $B_i > 0$, i.e. que le biais est "i augmentant", cela n'implique pas nécessairement que le progrès est sous la forme d'un accroissement de la quantité demandée de i . A l'opposé, nous pouvons être en présence d'un cas où la demande de i sera réduite de façon moindre que pour les autres facteurs.

Finalement, comme le changement dans (2.42) indique que la diminution des coûts est influencée par les prix des facteurs, le signe du biais fournit une information qualitative en rapport avec l'effet d'un changement de w_i sur le taux global de diminution des coûts. Spécifiquement, lorsque le progrès se produit, $\partial \ln C / \partial t$ est négatif. Ainsi, si w_i augmente et $B_i > 0$, alors l'impact du changement de prix est de réduire le taux de diminution des coûts. Donc, lorsque le progrès est "i augmentant" et w_i augmente, ceteris paribus, la croissance de la production tend à ralentir.

Les entreprises soumises à la réglementation étant généralement caractérisées par la présence d'économies d'échelle, l'utilisation d'une fonction de coût unitaire serait inappropriée. L'inclusion de la caractéristique des rendements d'échelle dans la fonction de coût modifie l'ampleur du problème. Précédemment, la spécification des rendements constants nécessitait uniquement l'estimation des équations de demande de facteurs afin de retrouver tous les paramètres utiles dans le modèle. Les rendements non constants nous obligent cependant à inclure l'équation de la fonction de coût dans l'estimation. Or la spécification d'une forme flexible

pour la fonction de coût inclut des termes croisés entre le temps et les autres variables de la fonction. Chaque équation de demande contient un terme en fonction du temps seulement alors que la fonction de coût regroupe ces termes sous forme croisée et des termes du premier et deuxième ordre en fonction du temps. Par opposition à l'estimation directe des équations de demande, l'estimation simultanée de la fonction de coût et des équations de demande des facteurs sera influencée par la forme de la variable temps. La fonction de coût estimée avec ce genre d'indice est à toutes fins pratiques inadéquate pour les besoins de l'étude. Seule l'estimation de la fonction de coût sous l'hypothèse du progrès neutre à la Hicks peut encore nous permettre de considérer cette forme de paramétrisation puisque les termes croisés entre le temps et les autres variables disparaissent sous cette hypothèse.

Une forme générale de paramétrisation du progrès technique admettant la possibilité de biais et la présence de rendements d'échelle peut être obtenue en réalisant que le niveau de progrès technique est non seulement une fonction du temps, mais également des niveaux passés de tous les prix des facteurs. Nous définissons ainsi

$$C = C(\bar{w}, s_K, \gamma, B) \quad (2.43)$$

où $\bar{w} = (w_1, \dots, w_{N-1}, w_K)$ et B est le niveau du progrès technique.

Nous définissons également

$$B(t) = \exp \int_{-\infty}^{t-1} \dot{B}/B(\tau) d\tau \quad (2.44)$$

et

$$\frac{\dot{B}}{B}(t) = \frac{\dot{B}}{B}(\bar{w}_t, s_{Kt}, t) \quad (2.45)$$

De (2.44) et (2.45), nous obtenons la fonction de coût

$$C = C\left(\bar{w}, s_k, \gamma, \exp \int_{-\infty}^{t-1} \beta/B(w_\tau, s_{k\tau}, \tau) d\tau\right) \quad (2.46)$$

ou, comme cas particulier,

$$\ln C = \ln C\left(\ln \bar{w}, \ln s_k, \ln \gamma, \int_{-\infty}^{t-1} B/B(w_\tau, s_{k\tau}, \tau) d\tau\right). \quad (2.47)$$

L'équation (2.47) sera estimée à l'aide des méthodes économétriques développées avec variables retardées.

2.4 La productivité totale des facteurs et ses composantes

En appliquant diverses méthodes pour mesurer le taux de croissance des facteurs et de la production, il est possible de calculer l'ampleur des changements dynamiques dans l'efficacité. Cette mesure est appelée l'indice de la productivité totale des facteurs (PTF). La production par heure-homme ou par employé représente encore actuellement la mesure la plus populaire de la productivité. Ne reconnaissant pas l'impact des autres facteurs de production tels le capital et l'énergie, ce ratio demeure très inapproprié comme mesure de la performance. Aucune considération n'est faite à la représentation de la substitution en réponse aux changements des conditions de marché. Ce critère ne permet donc pas de clarifier les raisons motivant les mouvements dans l'utilisation des facteurs. Par opposition, la PTF tient compte des contributions de chaque facteur en éliminant l'influence de chacun de ceux-ci sur la hausse de la production.

D'autre part, bien que la fonction de coût nous permet de retrouver les éléments importants associés à l'évolution de l'entreprise tels le progrès technique et les rendements d'échelle, nous ne pouvons tout de même distinguer directement leurs impacts respectifs dans la croissance de la productivité. Nous démontrons explicitement dans ce qui suit le lien pouvant être établi entre la mesure conventionnelle et la théorie de la production afin d'estimer la part relative de chacun de ces éléments.

Si nous analysons d'abord le cas sans réglementation et sans facteurs quasi-fixes, nous pouvons décomposer la mesure de la PTF en deux éléments. Soit la fonction

$$C = C(w_1, \dots, w_N, y, B). \quad (2.53)$$

En différenciant (2.53) par rapport au temps, nous obtenons

$$\frac{dC}{dt} = \sum_{i=1}^N \frac{\partial C}{\partial w_i} \cdot \frac{\partial w_i}{\partial t} + \frac{\partial C}{\partial y} \cdot \frac{\partial y}{\partial t} + \frac{\partial C}{\partial B} \cdot \frac{\partial B}{\partial t} \quad (2.54)$$

$$= \sum_{i=1}^N \frac{\partial C}{\partial w_i} \cdot \frac{\partial w_i}{\partial t} + \frac{\partial C}{\partial y} \cdot \frac{\partial y}{\partial t} + \frac{\partial \ln C}{\partial \ln B} \cdot \frac{\dot{B}}{B} \cdot C. \quad (2.55)$$

Divisant (2.55) par C et en utilisant le lemme de Shephard, nous trouvons

$$\frac{\dot{C}}{C} = \sum_{i=1}^N \frac{w_i x_i}{C} \frac{\dot{w}_i}{w_i} + \frac{\partial C}{\partial y} \cdot \frac{y}{C} \cdot \frac{\dot{y}}{y} + \frac{\partial \ln C}{\partial \ln B} \cdot \frac{\dot{B}}{B} \quad (2.56)$$

où $\dot{C} = \frac{\partial C}{\partial t}$, $\dot{w}_i = \frac{\partial w_i}{\partial t}$, etc.

De plus, il est possible de montrer que ¹²

¹² Pour la preuve, voir la section 3.1.

La productivité totale des facteurs est définie comme le ratio de l'indice de la production réelle sur un indice de Divisia de l'utilisation des facteurs de production:

$$PTF = \frac{Y}{X} \quad (2.48)$$

où Y est l'indice de la production

X est l'indice de Divisia des facteurs.

Le taux de croissance de la PTF sera donné par

$$\frac{\dot{PTF}}{PTF} = \frac{\dot{Y}}{Y} - \frac{\dot{X}}{X} \quad (2.49)$$

où

$$\frac{\dot{X}}{X} = \sum_{i=1}^N \frac{w_i x_i}{C} \frac{\dot{x}_i}{x_i} \quad i = 1, \dots, N. \quad (2.50)$$

L'approximation discrète de Tornqvist (1936) nous permet de calculer (2.50) par

$$\Delta \ln X = \ln \left(\frac{X_1}{X_0} \right) = \sum_{i=1}^N S_i \ln \left(\frac{x_{i1}}{x_{i0}} \right) \quad (2.51)$$

où la notation 0 est la période de base et 1 est l'année considérée, et

$$S_i = \frac{S_{i1} + S_{i0}}{2} .$$

Finalement, l'approximation correspondante à (2.49) est

$$\Delta PTF = \Delta \ln Y - \Delta \ln X \quad (2.52)$$

où

$$\Delta \ln Y = \ln \left(\frac{Y_1}{Y_0} \right) .$$

En normalisant l'indice à l'année de base, l'équation (2.52) nous permet d'obtenir un indice conventionnel de la PTF.

$$\frac{\partial \ln C}{\partial \ln B} = 1$$

et, par définition,

$$\frac{\partial C}{\partial Y} \cdot \frac{Y}{C} = \epsilon_{CY} .$$

Par conséquent,

$$\frac{\dot{C}}{C} = \sum_{i=1}^N S_i \cdot \frac{\dot{w}_i}{w_i} + \epsilon_{CY} \cdot \frac{\dot{Y}}{Y} + \frac{\dot{B}}{B} \quad (2.57)$$

$$\frac{\dot{B}}{B} = \frac{\dot{C}}{C} - \sum_{i=1}^N S_i \cdot \frac{\dot{w}_i}{w_i} - \epsilon_{CY} \cdot \frac{\dot{Y}}{Y} . \quad (2.58)$$

Le déplacement de la fonction de coût (\dot{B}/B) est donc égal à la variation dans les coûts moins les variations dans les prix des facteurs moins les effets d'échelle.

Afin de comparer le résultat en (2.58) à la PTF, nous différencions $C = \sum_{i=1}^N w_i x_i$ pour trouver

$$\frac{dC}{dt} = \sum_{i=1}^N \frac{\partial w_i}{\partial t} \cdot x_i + \sum_{i=1}^N w_i \cdot \frac{\partial x_i}{\partial t} \quad (2.59)$$

$$\frac{\dot{C}}{C} = \sum_{i=1}^N \frac{w_i x_i}{C} \cdot \frac{\dot{w}_i}{w_i} + \sum_{i=1}^N \frac{w_i x_i}{C} \cdot \frac{\dot{x}_i}{x_i} . \quad (2.60)$$

Substituant (2.6) dans (2.58), nous obtenons

$$\frac{\dot{B}}{B} = \sum_{i=1}^N \frac{w_i x_i}{C} \cdot \frac{\dot{x}_i}{x_i} - \epsilon_{CY} \cdot \frac{\dot{Y}}{Y} . \quad (2.61)$$

Finalement, en incorporant dans (2.61) la définition (2.49), nous retrouvons la relation entre les déplacements de la fonction de coût et la PTF:

$$\frac{\dot{PTF}}{PTF} = -\frac{\dot{B}}{B} + (1 - \epsilon_{CV}) \frac{\dot{Y}}{Y}. \quad (2.62)$$

L'analyse précédente nous a permis de démontrer pour ce cas simple que la mesure conventionnelle de la PTF ne comprend pas seulement les effets du progrès technique. Ainsi, lorsque les rendements d'échelle sont connus, il est possible de séparer les effets d'échelle du progrès technique. En particulier, si $\epsilon_{CV} = 1$, alors

$$\frac{\dot{PTF}}{PTF} = -\frac{\dot{B}}{B}. \quad (2.63)$$

Le progrès technique et les rendements d'échelle ne sont pas les seuls effets pouvant influencer la PTF. Si l'entreprise se trouve en équilibre de long terme, l'introduction des facteurs quasi-fixes ne modifie pas la mesure de la PTF calculée précédemment. Par contre, les écarts vis-à-vis cet équilibre entraînent des variations dans l'utilisation de la capacité de production et dans l'utilisation des facteurs quasi-fixes (Ouellette et Lasserre, 1983; Berndt et Fuss; 1981).

Soit la fonction de court terme:

$$C = CV(w_1, \dots, w_{N-1}, x_N, Y, B) + z_N x_N. \quad (2.64)$$

Encore une fois, en différenciant par rapport au temps, en divisant par C, en utilisant le lemme de Shephard et en réarrangeant les termes, nous trouvons

$$\begin{aligned} \frac{dC}{dt} &= \sum_{i=1}^{N-1} \frac{\partial CV}{\partial w_i} \cdot \frac{\partial w_i}{\partial t} + \frac{\partial CV}{\partial x_N} \frac{\partial x_N}{\partial t} + \frac{\partial CV}{\partial y} \cdot \frac{\partial y}{\partial t} \\ &+ \frac{\partial CV}{\partial B} \cdot \frac{\partial B}{\partial t} + \frac{\partial z_N}{\partial t} \cdot x_N + \frac{\partial x_N}{\partial t} \cdot z_N \end{aligned} \quad (2.65)$$

$$\begin{aligned} \frac{\dot{C}}{C} &= \sum_{i=1}^{N-1} \frac{CV}{w_i} \cdot \frac{\dot{w}_i}{w_i} + \frac{CV}{x_N} \cdot \frac{\dot{x}_N}{x_N} + \frac{\partial CV}{\partial y} \cdot \frac{\dot{y}}{y} \\ &+ \frac{\dot{B}}{B} + \frac{z_N x_N}{C} \frac{\dot{x}_N}{x_N} + \frac{z_N x_N}{C} \cdot \frac{\dot{z}_N}{z_N} \end{aligned} \quad (2.66)$$

$$\begin{aligned} &= \frac{\dot{B}}{B} + \epsilon_{CY} \cdot \frac{\dot{y}}{y} + \sum_{i=1}^{N-1} \frac{w_i x_i}{C} \cdot \frac{\dot{w}_i}{w_i} + \frac{z_N x_N}{C} \cdot \frac{\dot{z}_N}{z_N} \\ &+ \left[\frac{w_N x_N}{C} - \frac{z_N x_N}{C} \right] \cdot \frac{\dot{x}_N}{x_N} \end{aligned} \quad (2.67)$$

De plus, le coût total aux prix de marché est

$$C = \sum_{i=1}^{N-1} w_i x_i + w_N x_N \quad (2.68)$$

Ainsi,

$$\begin{aligned} \frac{\dot{C}}{C} &= \sum_{i=1}^{N-1} \frac{w_i x_i}{C} \cdot \frac{\dot{w}_i}{w_i} + \sum_{i=1}^{N-1} \frac{w_i x_i}{C} \cdot \frac{\dot{x}_i}{x_i} + \frac{w_N x_N}{C} \cdot \frac{\dot{w}_N}{w_N} \\ &- \frac{w_N x_N}{C} \cdot \frac{\dot{x}_N}{x_N} \end{aligned} \quad (2.69)$$

De (2.67), (2.69) et (2.49), nous obtenons

$$\frac{\dot{PTF}}{PTF} = -\frac{\dot{B}}{B} + (1 - \epsilon_{CY}) \frac{\dot{y}}{y} + \left[\frac{z_N x_N}{C} \frac{\dot{x}_N}{x_N} - \frac{w_N x_N}{C} \cdot \frac{\dot{x}_N}{x_N} \right] \quad (2.70)$$

En particulier, lorsque $w_N = z_N$, c'est-à-dire que x_N est à son niveau optimal, (2.70) se réduit à l'expression trouvée en (2.62). Le terme entre parenthèses nous permet donc de retrouver l'impact du déséquilibre de long terme dans la mesure de la PTF. Cet impact pourra être positif ou négatif sur la PTF selon que le prix implicite est plus élevé ou plus faible que le prix de marché.

Nous pouvons maintenant utiliser les modifications apportées au lemme de Shephard afin d'inclure les aspects de la réglementation dans l'équation de la PTF. La fonction de coût avec facteur quasi-fixe réglementé est défini par:

$$C = CV(w_1, \dots, w_{N-1}, s_N, x_N, y, B) + z_N x_N \quad (2.71)$$

où x_N est le facteur quasi-fixe soumis à la réglementation. En effectuant le développement selon les mêmes étapes que précédemment et à l'aide des propriétés du tableau 2.1, nous trouvons

$$\begin{aligned} \frac{dC}{dt} = & \sum_{i=1}^{N-1} \frac{\partial CV}{\partial w_i} \cdot \frac{\partial w_i}{\partial t} + \frac{\partial CV}{\partial s_N} \frac{\partial s_N}{\partial t} + \frac{\partial CV}{\partial x_N} \frac{\partial x_N}{\partial t} + \frac{\partial CV}{\partial y} \cdot \frac{\partial y}{\partial t} \\ & + \frac{\partial CV}{\partial B} \cdot \frac{\partial B}{\partial t} + \frac{\partial z_N}{\partial t} \cdot x_N + \frac{\partial x_N}{\partial t} \cdot z_N \end{aligned} \quad (2.72)$$

$$\begin{aligned} \frac{\dot{C}}{C} = & \sum_{i=1}^{N-1} (1 - \lambda_i) \frac{w_i x_i}{C} \frac{\dot{w}_i}{w_i} - \frac{z_N x_N}{C} \frac{\dot{x}_N}{x_N} + \epsilon_{cy} \frac{\dot{y}}{y} + \frac{\dot{B}}{B} \\ & + \frac{z_N x_N}{C} \frac{\dot{x}_N}{x_N} - \lambda_1 \frac{x_N x_N}{C} \frac{\dot{s}_N}{s_N} + \lambda_1 \frac{s_N x_N}{C} \frac{\dot{x}_N}{x_N} + \frac{z_N x_N}{C} \frac{\dot{z}_N}{z_N} \end{aligned}$$

En combinant (2.72), (2.69) et (2.49), nous retrouvons

$$\frac{\dot{PTF}}{PTF} = - \frac{\dot{B}}{B} + (1 - \epsilon_{cy}) \frac{\dot{y}}{y} + \left[\frac{z_N x_N}{C} \frac{\dot{x}_N}{x_N} - \frac{w_N x_N}{C} \frac{\dot{x}_N}{x_N} \right]$$

$$- \lambda_1 \frac{s_N x_N}{C} \frac{\dot{x}_N}{x_N} + \lambda_1 \left[\sum_{i=1}^{N-1} \frac{w_i x_i}{C} \cdot \frac{\dot{w}_i}{w_i} + \frac{s_N x_N}{C} \cdot \frac{\dot{s}_N}{s_N} \right]. \quad (2.73)$$

L'équation (2.73) démontre qu'il y a plusieurs effets ayant un rôle dans la productivité totale des facteurs. En général, on pourra distinguer quatre effets mesurés par l'indice conventionnel de la PTF:

- 1- le déplacement de la courbe de la fonction de coût, i.e. le progrès technique;
- 2- le déplacement sur la courbe de coût, i.e. les rendements d'échelle;
- 3- l'écart par rapport à l'équilibre de long terme;
- 4- le biais de la réglementation.

CHAPITRE 3 DEVELOPPEMENT DE LA FONCTION DE COUT TRANSLOG

3.1 Le modèle

La fonction translog est actuellement une des spécifications les plus populaires de la fonction de coût. Cette fonction est quadratique en termes logarithmiques et elle entre dans la famille des approximations du deuxième ordre d'une fonction de coût arbitraire. La translog ne pose aucune restrictions à priori sur la forme de la fonction, les rendements d'échelle et les élasticités de substitution entre les facteurs de production. Notre but étant d'examiner la quasi-fixité du facteur soumis à la réglementation, le capital, nous définissons de (2.21) et (2.43) l'équation de la fonction de coût variable suivante:

$$\begin{aligned}
 \ln CV(w_1, \dots, w_{N-1}, x_K, s_K, Y, B) = & \alpha_0 + \sum_{i=1}^{N-1} s_i \ln w_i + s_K \ln x_K \\
 & + s_B \ln s_K + s_Y \ln Y + s_B \ln B + 1/2 \sum_{i=1}^{N-1} \sum_{j=1}^{N-1} \epsilon_{ij} \ln w_i \ln w_j \\
 & + \sum_{i=1}^{N-1} \epsilon_{iK} \ln w_i \ln x_K + \sum_{i=1}^{N-1} \epsilon_{iB} \ln w_i \ln s_K + \sum_{i=1}^{N-1} \epsilon_{iY} \ln w_i \ln Y \\
 & + \sum_{i=1}^{N-1} \epsilon_{iB} \ln w_i \ln B + 1/2 \epsilon_{KK} \ln x_K^2 + \epsilon_{KB} \ln x_K \ln s_K \\
 & + \epsilon_{KY} \ln x_K \ln Y + \epsilon_{KB} \ln x_K \ln B + 1/2 \epsilon_{BB} \ln s_K^2 \\
 & + \epsilon_{BY} \ln s_K \ln Y + \epsilon_{BB} \ln s_K \ln B + 1/2 \epsilon_{YY} \ln Y^2 + \epsilon_{YB} \ln Y \ln B \\
 & + 1/2 \epsilon_{BB} \ln B^2
 \end{aligned} \tag{3.1}$$

où nous avons posé les restrictions de symétrie suivantes:

$$\begin{aligned}
 \epsilon_{1k} &= \epsilon_{k1} & \epsilon_{ks} &= \epsilon_{sk} & \epsilon_{sv} &= \epsilon_{vs} \\
 \epsilon_{1s} &= \epsilon_{s1} & \epsilon_{ky} &= \epsilon_{yk} & \epsilon_{ss} &= \epsilon_{ss} \\
 \epsilon_{1v} &= \epsilon_{v1} & \epsilon_{kv} &= \epsilon_{vk} & \epsilon_{vs} &= \epsilon_{sv} \\
 \epsilon_{1j} &= \epsilon_{j1} & \epsilon_{1j} &= \epsilon_{j1}
 \end{aligned}
 \tag{3.2}$$

car,

$$\epsilon_{1m} = \frac{\partial \ln CV}{\partial \ln w_1 \partial \ln w_m} = \frac{\partial \ln CV}{\partial \ln w_m \partial \ln w_1} = \epsilon_{m1}.$$

Les paramètres de la fonction de coût à estimer sont α_0 , δ_i et ϵ_{1m} où $i, m = 1, \dots, N-1, k, s, y, B$ et $1 \leq m$. De plus, si $\delta_s = \epsilon_{1s} = 0$, nous retrouvons la fonction de coût variable de l'entreprise non-règlementée.

D'autre part, nous avons défini le progrès technique comme la négative du déplacement de la fonction de coût dans le temps qui n'est pas attribuable à des changements dans les arguments de CV autres que B. Or,

$$\begin{aligned}
 \frac{d \ln CV}{dt} &= \sum_{i=1}^{N-1} \delta_i \frac{\dot{w}_i}{w_i} + \delta_k \frac{\dot{x}_k}{x_k} + \delta_s \frac{\dot{s}_k}{s_k} + \delta_v \frac{\dot{y}}{y} \\
 &+ \sum_{i=1}^{N-1} \sum_{j=1}^{N-1} \epsilon_{1j} \ln w_1 \cdot \frac{\dot{w}_j}{w_j} + \sum_{i=1}^{N-1} \epsilon_{1k} \left[\ln w_1 \frac{\dot{x}_k}{x_k} + \frac{\dot{w}_1}{w_1} \cdot \ln x_k \right] \\
 &+ \sum_{i=1}^{N-1} \epsilon_{1s} \left[\ln w_1 \cdot \frac{\dot{s}_k}{s_k} + \frac{\dot{w}_1}{w_1} \ln s_k \right] + \sum_{i=1}^{N-1} \epsilon_{1j} \left[\ln w_1 \frac{\dot{y}}{y} + \frac{\dot{w}_1}{w_1} \ln y \right] \\
 &+ \epsilon_{kk} \ln x_k \cdot \frac{\dot{x}_k}{x_k} + \epsilon_{ks} \left[\ln x_k \frac{\dot{s}_k}{s_k} + \frac{\dot{x}_k}{x_k} \ln s_k \right] \\
 &+ \epsilon_{kv} \left[\ln x_k \frac{\dot{y}}{y} + \frac{\dot{x}_k}{x_k} \ln y \right] + \epsilon_{ss} \ln s_k \frac{\dot{s}_k}{s_k}
 \end{aligned}
 \tag{3.3}$$

$$\begin{aligned}
& + \epsilon_{sv} \left[\frac{\ln s_{\kappa} \dot{y}}{y} + \frac{\dot{s}_{\kappa} \ln y}{s_{\kappa}} \right] + \epsilon_{vy} \frac{\dot{\ln y}}{y} \\
& + \sum_{i=1}^{N-1} \epsilon_{iB} \ln B \frac{\dot{w}_i}{w_i} + \epsilon_{\kappa B} \ln B \frac{\dot{x}_{\kappa}}{x_{\kappa}} + \epsilon_{sB} \ln B \frac{\dot{s}_{\kappa}}{s_{\kappa}} + \epsilon_{vB} \ln B \frac{\dot{y}}{y} \\
& + \left[s_B + \sum_{i=1}^{N-1} \epsilon_{iB} \ln w_i + \epsilon_{\kappa B} \ln x_{\kappa} + \epsilon_{sB} \ln s_{\kappa} + \epsilon_{vB} \ln y + \epsilon_{BB} \ln B \right] \frac{\dot{B}}{B} .
\end{aligned}$$

Ainsi, en ne considérant pas les variations de coût dues aux variations de prix ou de quantités, nous retrouvons:

$$\frac{\dot{B}}{B} = \left[s_B + \sum_{i=1}^{N-1} \epsilon_{iB} \ln w_i + \epsilon_{\kappa B} \ln x_{\kappa} + \epsilon_{sB} \ln s_{\kappa} + \epsilon_{vB} \ln y + \epsilon_{BB} \ln B \right] \frac{\dot{B}}{B}$$

ce qui implique

$$\frac{\partial \ln CV}{\partial \ln B} = 1 \tag{3.4}$$

et $s_B = 1$, $\epsilon_{iB} = \epsilon_{\kappa B} = \epsilon_{sB} = \epsilon_{vB} = \epsilon_{BB} = 0$.

La fonction de coût est maintenant:

$$\ln CV = (\quad) + \ln B \tag{3.5}$$

où (.) sont tous les termes qui ne sont pas associés à B dans (3.1).

La forme de B ne permettant pas une estimation directe de l'équation (3.5), nous devons spécifier une distribution pour les variables retardées. Si nous posons que le niveau de B est fonction des prix des facteurs variables et d'un facteur de progrès neutre seulement, alors

$$\ln B(t) = \int_{-\infty}^t \frac{\dot{B}}{B} (w_1, \dots, w_{N-1}, \tau) d\tau . \tag{3.6}$$

De plus, nous supposons que \dot{B}/B est additivement séparable en ses arguments:

$$\frac{\dot{B}}{B}(t) = \sum_{i=1}^{N-1} G_{e^i}(w_i) + G_e(t) \quad (3.7)$$

où G sont les fonctions de retards des prix et du facteur de progrès neutre.

Sous forme discrète, (3.6) peut s'écrire

$$\ln B(t) = \sum_{\tau=0}^{\infty} \sum_{i=1}^{N-1} G_{e^i}^{\tau}(w_i) + \sum_{\tau=0}^{\infty} G_e^{\tau}(t) . \quad (3.8)$$

Définissons

$$\begin{aligned} \sum_{\tau=0}^{\infty} G_{e^i}^{\tau}(w_i) &= \sum_{\tau=0}^{\infty} \beta_i \tau \ln w_i (e^{-\tau}) = \sum_{\tau=0}^{\infty} \beta_i R^{\tau} \ln w_e \\ &= \beta_i \sum_{\tau=0}^{\infty} b_i \ln w_i (e^{-\tau}) \end{aligned} \quad (3.9)$$

où R est l'opérateur de retards et b_i est un coefficient de pondération basé sur une loi de distribution quelconque. Plusieurs spécifications peuvent être imposées aux retards: une spécification populaire est la forme de Koyck où

$$b_i = (1 - \Gamma) \Gamma^{\tau} \quad 0 \leq \Gamma < 1 \quad (3.10)$$

ce qui donne

$$\sum_{\tau=0}^{\infty} G_{e^i}^{\tau}(w_i) = \beta_i \frac{(1 - \Gamma)}{1 - \Gamma R} \quad (3.11)$$

$$\text{et } \ln B(t) = \sum_{i=1}^{N-1} \beta_i \frac{(1 - \Gamma)}{1 - \Gamma R} \ln w_i e + \beta_e \frac{(1 - \Gamma)}{1 - \Gamma R} t . \quad (3.12)$$

Afin de retrouver la possibilité d'un progrès technique biaisé, nous modifions quelque peu l'équation (3.12) pour obtenir

$$\ln B(t) = \sum_{i=1}^{N-1} \beta_i \frac{(1-\Gamma)}{1-\Gamma R} \ln w_{i,t} \ln w_{i,t-1} + \beta_N \frac{(1-\Gamma)}{1-\Gamma R} t \quad (3.13)$$

Cette forme nous permet de retrouver une spécification moins restrictive du progrès technique sans altérer le développement de l'approche de Koyck. Le biais se retrouve dans l'équation (3.13) en notant qu'un paramètre est associé à chaque facteur et qu'en général $\beta_i \neq \beta_j$ pour $i, j = 1, \dots, N-1$.

Ainsi, en incorporant (3.13) dans (3.5), nous avons

$$\ln CV = \{.\} + \sum_{i=1}^{N-1} \beta_i \frac{(1-\Gamma)}{1-\Gamma R} \ln w_{i,t} \ln w_{i,t-1} + \beta_N \frac{(1-\Gamma)}{1-\Gamma R} t \quad (3.14)$$

$$(1-\Gamma R) \ln CV = (1-\Gamma R) \{.\} + \sum_{i=1}^{N-1} \beta_i (1-\Gamma) \ln w_{i,t} \ln w_{i,t-1} + \beta_N (1-\Gamma) t$$

$$\ln CV = \Gamma \ln CV_{-1} + \{.\} - \Gamma \{.\}_{-1}$$

$$+ \sum_{i=1}^{N-1} \beta_i (1-\Gamma) \ln w_{i,t} \ln w_{i,t-1} + \beta_N (1-\Gamma) t. \quad (3.15)$$

L'équation (3.15) est la forme de la fonction de coût que nous devons estimer. Etant donné le nombre de paramètres dans le modèle, nous pouvons utiliser le lemme de Shephard afin de formuler les équations de parts des facteurs variables:

$$\frac{\partial \ln CV}{\partial \ln w_j} = (1-\lambda_1) \frac{w_j x_j}{CV} = (1-\lambda_1) S_j^v$$

où S_j^v est la part de j dans le coût variable total. Par rapport à (3.15), nous estimons

$$S_{j^v} = \Gamma(S_{j^v})_{-1} + \frac{\partial \ln CV'}{\partial \ln w_j} - \Gamma\left(\frac{\partial \ln CV'}{\partial \ln w_j}\right)_{-1} + \beta_j(1 - \Gamma) \ln w_j(t-1) \quad (3.16)$$

Afin d'éliminer le paramètre λ_1 , le système d'équations sera composé de (3.15) et d'équations de la forme:

$$\frac{S_{j^v}}{S_{1^v}} = \frac{\Gamma(S_{j^v})' + \frac{\partial \ln CV'}{\partial \ln w_j} - \Gamma\left(\frac{\partial \ln CV'}{\partial \ln w_j}\right)_{-1} + \beta_j(1 - \Gamma) \ln w_j(t-1)}{\Gamma(S_{1^v})_{-1} + \frac{\partial \ln CV'}{\partial \ln w_1} - \Gamma\left(\frac{\partial \ln CV'}{\partial \ln w_1}\right)_{-1} + \beta_1(1 - \Gamma) \ln w_1(t-1)} \quad (3.17)$$

$$\text{ou } \frac{\partial \ln CV'}{\partial \ln w_j} = \delta_j + \sum_{i=1}^{N-1} \epsilon_{1j} \ln w_i + \epsilon_{jk} \ln x_k + \epsilon_{j\theta} \ln s_k + \epsilon_{j\gamma} \ln \gamma \quad (3.18)$$

Finalement, le prix implicite du capital sera déduit de la relation:

$$\frac{\partial \ln CV}{\partial \ln x_k} = \frac{-(z_k - \lambda_1 s_k) x_k}{CV} = \delta_k + \sum_{i=1}^{N-1} \epsilon_{1k} \ln w_i + \epsilon_{kk} \ln x_k + \epsilon_{k\theta} \ln s_k + \epsilon_{k\gamma} \ln \gamma \quad (3.19)$$

$$-(z_k - \lambda_1 s_k) = \frac{CV}{x_k} (\delta_k + \sum_{i=1}^{N-1} \epsilon_{1k} \ln w_i + \epsilon_{kk} \ln x_k + \epsilon_{k\theta} \ln s_k + \epsilon_{k\gamma} \ln \gamma) \quad (3.20)$$

et le niveau optimal de capital en notant que

$$\frac{\partial \ln CV}{\partial \ln \tilde{x}_k} = \frac{-w_k \tilde{x}_k}{CV} \quad (3.21)$$

3.2 Conditions nécessaires sur la forme de la fonction

La fonction de coût variable doit satisfaire certaines conditions de régularité. D'une part, la monotonie exige qu'elle soit non-décroissante en fonction des prix des facteurs variables et non-croissante en fonction de la quantité du facteur quasi-fixe:

$$\frac{\partial CV}{\partial w_i} = \frac{CV}{w_i} \cdot \frac{\partial \ln CV}{\partial \ln w_i} \geq 0 \quad (3.22a)$$

et

$$\frac{\partial CV}{\partial x_k} = \frac{CV}{x_k} \cdot \frac{\partial \ln CV}{\partial \ln x_k} \leq 0 \quad (3.22b)$$

ce qui implique

$$\begin{aligned} \frac{\partial \ln CV}{\partial \ln w_i} &= \delta_i + \sum_{j=1}^{N-1} \epsilon_{ij} \ln w_j + \epsilon_{ik} \ln x_k + \epsilon_{i\theta} \ln s_k \\ &+ \epsilon_{i\gamma} \ln y + \beta_i (1 - \Gamma) \ln w_i (-1) > 0 \end{aligned} \quad (3.23a)$$

$$\frac{\partial \ln CV}{\partial \ln x_k} = \delta_k + \sum_{j=1}^{N-1} \epsilon_{kj} \ln w_j + \epsilon_{kk} \ln x_k + \epsilon_{k\theta} \ln s_k + \epsilon_{k\gamma} \ln y \leq 0 \quad (3.23b)$$

D'autre part, la fonction de coût doit être concave en w_i et convexe en x_k . La fonction de coût doit donc satisfaire les critères supplémentaires suivants:

$$\frac{\partial^2 CV}{\partial w_i^2} \leq 0 \quad (3.24a)$$

$$\frac{\partial^2 CV}{\partial x_k^2} > 0 \quad (3.24b)$$

De plus, les mineurs principaux formés à partir du déterminant Hessien des dérivées partielles secondes par rapport aux prix des facteurs variables doivent être alternativement positifs et négatifs:

$$\begin{aligned} & \begin{vmatrix} CV_{11} & CV_{12} \\ CV_{21} & CV_{22} \end{vmatrix} \geq 0 \\ & \begin{vmatrix} CV_{11} & CV_{12} & CV_{13} \\ CV_{21} & CV_{22} & CV_{23} \\ CV_{31} & CV_{32} & CV_{33} \end{vmatrix} \leq 0 \\ & (-1)^N \begin{vmatrix} CV_{11} & CV_{12} & \dots & CV_{1j} \\ CV_{21} & CV_{22} & \dots & CV_{2j} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ CV_{i1} & CV_{i2} & \dots & CV_{ij} \end{vmatrix} \geq 0 \end{aligned} \quad (3.25)$$

où $CV_{ij} = \frac{\partial^2 CV}{\partial w_i \partial w_j}$, $i, j = 1, \dots, N-1$.

Les dérivées secondes sont obtenues de la translog par:

$$\frac{\partial^2 CV}{\partial w_i^2} = \frac{\partial \left[\frac{CV \cdot \partial \ln CV / \partial \ln w_i}{w_i} \right]}{\partial w_i} \quad (3.26)$$

$$\begin{aligned} & = \left[\frac{\frac{\partial CV}{\partial w_i} w_i - CV}{w_i^2} \right] \frac{\partial \ln CV}{\partial \ln w_i} + \frac{CV}{w_i} \frac{\partial}{\partial w_i} \left[\frac{\partial \ln CV}{\partial \ln w_i} \right] \\ & = \frac{CV}{w_i^2} \left[\left[\frac{\partial \ln CV}{\partial \ln w_i} \right]^2 - \frac{\partial \ln CV}{\partial \ln w_i} + \epsilon_{11} \right] \end{aligned} \quad (3.27)$$

$$\frac{\partial^2 CV}{\partial w_i \partial w_j} = \frac{\partial \left[\frac{CV \cdot \partial \ln CV / \partial \ln w_i}{w_i} \right]}{\partial w_j} \quad (3.28)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial^2 CV}{\partial w_i \partial w_j} &= \left[\frac{\partial CV}{\partial w_j} w_i - CV \frac{\partial w_i}{\partial w_j} \right] \frac{\partial \ln CV}{\partial \ln w_i} + \frac{CV}{w_i} \cdot \frac{\partial}{\partial w_i} \left[\frac{\partial \ln CV}{\partial \ln w_j} \right] \\ &= \frac{CV}{w_i w_j} \left[\frac{\partial \ln CV}{\partial \ln w_i} \cdot \frac{\partial \ln CV}{\partial \ln w_j} + \epsilon_{ij} \right] \end{aligned} \quad (3.29)$$

Afin de respecter les conditions de régularité, (3.23), (3.24) et (3.25) doivent être vérifiés pour l'ensemble de la région considérée.

3.3 Rendements d'échelle et élasticités de substitution

Nous désirons pouvoir soustraire une mesure des rendements d'échelle à partir de la fonction de coût variable. Caves, Christensen et Swanson (1981) ont montré que:

$$\begin{aligned} \epsilon_{CV} &= \frac{\partial C}{\partial Y} \cdot \frac{Y}{C} = \frac{\partial \ln C}{\partial \ln Y} = \frac{\partial \ln CV}{\partial \ln Y} \cdot \left[1 - \frac{\partial \ln CV}{\partial \ln x_K} \right]^{-1} \\ &= \frac{\delta_Y + \sum_{i=1}^{N-1} \epsilon_{iY} \ln w_i + \epsilon_{KY} \ln x_K + \epsilon_{VY} \ln y}{1 - (\delta_K + \sum_{i=1}^{N-1} \epsilon_{iK} \ln w_i + \epsilon_{VK} \ln x_K + \epsilon_{KV} \ln y)} \end{aligned} \quad (3.30)$$

où les résultats de (1.11b) s'appliquent. Suivant la définition de Christensen et Greene (1976), nous pouvons utiliser l'indice des économies d'échelle (IEE) où

$$IEE = 1 - \epsilon_{CV} \quad (3.31)$$

Cette mesure est positive pour le cas où il y a économies d'échelle et négative pour les déséconomies. Si IEE = 0, alors nous sommes en présence de rendements constants. De plus l'IEE a une interprétation naturelle en termes de pourcentages.

Nous utilisons les résultats obtenus en (3.22a), (3.27) et (3.29) afin de calculer les élasticités de substitution entre les facteurs variables. De (2.29), nous avons pour la fonction de coût variable:

$$\sigma_{i,j} = \left(-\frac{CV_{ii}}{CV_i^2} + \frac{2CV_{ij}}{CV_i CV_j} - \frac{CV_{jj}}{CV_j^2} \right) \left(\frac{1}{w_i CV_i} + \frac{1}{w_j CV_j} \right)^{-1} \quad (3.32)$$

Il est possible d'exprimer (3.32) en fonction des dérivées de la fonction translog. Définissons:

$$M_i = \frac{\partial \ln CV}{\partial \ln w_i} \quad (3.33a)$$

$$M_{ii} = \frac{\partial^2 \ln CV}{\partial \ln w_i^2} \quad (3.33b)$$

$$M_{ij} = \frac{\partial^2 \ln CV}{\partial \ln w_i \partial \ln w_j} \quad (3.33c)$$

pour ainsi obtenir

$$CV_i = M_i \frac{CV}{w_i} \quad (3.34a)$$

$$CV_{ii} = \frac{CV}{w_i^2} (M_i^2 - M_{ii} + M_{ii}) \quad (3.34b)$$

$$CV_{ij} = \frac{CV}{w_i w_j} (M_i M_j + M_{ij}) \quad (3.34c)$$

Les élasticités de substitution sont maintenant définies par l'équation suivante:

$$\begin{aligned}
 \sigma_{i,j} &= \left[-\frac{(M_i^2 - M_i + M_{i,i})}{M_i^2} + \frac{2(M_i M_j + M_{i,j})}{M_i M_j} \right. \\
 &\quad \left. - \frac{(M_j^2 - M_j + M_{j,j})}{M_j} \right] \left[\frac{1}{M_i} + \frac{1}{M_j} \right]^{-1} \\
 &= \frac{M_i M_j^2 - M_j^2 M_{i,i} + 2M_i M_j M_{i,j} + M_i^2 M_j - M_i^2 M_{i,j}}{M_i M_j (M_i + M_j)} \\
 &= \left[\frac{1}{M_i + M_j} \right] \left[\frac{M_j}{M_i} M_{i,i} + 2 M_{i,j} + M_i - \frac{M_i}{M_j} M_{j,j} \right] \\
 &= 1 - \left[\frac{1}{M_i + M_j} \right] \left[\frac{M_j}{M_i} M_{i,i} - 2M_{i,j} + \frac{M_i}{M_j} M_{j,j} \right]. \tag{3.35}
 \end{aligned}$$

Les élasticités de substitution calculées par (3.35) sont valides pour le niveau du facteur quasi-fixe où elles sont évaluées. Pour le niveau où le facteur quasi-fixe est optimal, nous devons utiliser l'équation (2.29) et les dérivées (2.33a), (2.38) et (2.40a) afin de calculer ces élasticités.¹³ De la même façon, nous pouvons calculer les élasticités de substitution entre le facteur quasi-fixe et les facteurs variables. Par rapport à la fonction translog, nous utilisons les dérivées suivantes:

$$\frac{\partial C}{\partial w_i} = \frac{\partial CV}{\partial w_i} = M_i \frac{CV}{w_i} \quad i = 1, \dots, N - 1 \tag{3.36a}$$

$$\frac{\partial C}{\partial w_K} = \tilde{x}_K \tag{3.36b}$$

¹³ L'équation (3.35) est l'élasticité de substitution en équilibre statique partiel alors que (2.29) sous x_w est l'élasticité de substitution en équilibre statique.

$$\frac{\partial^2 C}{\partial w_i \partial w_j} = \frac{\partial^2 CV}{\partial w_i \partial w_j} + \frac{\partial \tilde{x}_k}{\partial w_j} \frac{\partial^2 CV}{\partial \tilde{x}_k \partial w_i} \quad i, j = 1, \dots, N-1$$

$$\text{où } \frac{\partial \tilde{x}_k}{\partial w_j} = \frac{\tilde{x}_k (M_k M_j + M_{kj})}{w_j (M_k^2 - M_k + M_{kk})}$$

$$\text{et } M_k = \frac{\partial \ln CV}{\partial \ln \tilde{x}_k}, \quad M_{kk} = \frac{\partial^2 \ln CV}{\partial \ln \tilde{x}_k^2}, \quad M_{kj} = \frac{\partial^2 \ln CV}{\partial \ln \tilde{x}_k \partial \ln w_j}.$$

Ainsi,

$$\frac{\partial^2 C}{\partial w_i \partial w_j} = \frac{CV}{w_i w_j} \left[(M_i M_j + M_{ij}) + \frac{(M_k M_j + M_{kj})(M_k M_i + M_{ik})}{M_k^2 - M_k + M_{kk}} \right]. \quad (3.37a)$$

De plus,

$$\frac{\partial^2 C}{\partial w_k \partial w_j} = \frac{\partial \tilde{x}_k}{\partial w_k} \frac{\partial^2 CV}{\partial \tilde{x}_k \partial w_j}, \quad j = 1, \dots, N-1$$

$$\text{où } \frac{\partial \tilde{x}_k}{\partial w_k} = \frac{-\tilde{x}_k}{CV (M_k^2 - M_k + M_{kk})}$$

$$\frac{\partial^2 C}{\partial w_k \partial w_j} = \frac{1}{w_j} \left[\frac{M_j M_k + M_{kj}}{M_k^2 - M_k + M_{kk}} \right] \quad (3.37b)$$

et finalement,

$$\frac{\partial^2 C}{\partial w_k^2} = \frac{\partial \tilde{x}_k}{\partial w_k} = \frac{-\tilde{x}_k}{CV (M_k^2 - M_k + M_{kk})}. \quad (3.37c)$$

De (3.36a), (3.36b) et (3.37a) à (3.37c) nous pouvons calculer les élasticités de substitution en incorporant ces résultats dans l'équation (2.29).

SECTION II. ANALYSE EMPIRIQUE DE L'INDUSTRIE DES
SERVICES PRIVES D'ELECTRICITE AU CANADA

CHAPITRE 4 SITUATION DE L'INDUSTRIE ET CONSTRUCTION DES SERIES STATISTIQUES

4.1 Structure de l'industrie de l'électricité au Canada

L'utilisation de l'électricité a été introduite au Canada peu après l'invention du générateur en 1870. En 1883 les premières lampes ont fait leur apparition dans les rues de la ville d'Hamilton et, en 1885, les premiers tramways circulaient à Toronto. L'expansion de l'industrie de l'électricité est allée de pair avec la croissance économique du Canada. La prospérité des années 20, par exemple, n'est pas sans lien avec le grand effort consacré aux installations électriques qui ont doublé la production canadienne en la portant à 4700 Mwh entre 1920 et 1930. De 1935 à 1939, durant la période succédant la crise économique mondiale, on a installé très peu de nouvelles centrales. Mais en 1939, avec le début de la guerre et le fonctionnement intense des industries canadiennes, le Canada a connu un besoin pressant d'électricité, un besoin que ne pouvaient combler les installations existantes. Le rythme des installations a ainsi augmenté pour répondre à la demande. A la fin de 1943, avec le ralentissement considérable de l'économie, la croissance de l'industrie a fléchi durant cinq ans. Toutefois, l'expansion industrielle de l'après-guerre et le développement de l'agriculture et de la construction domiciliaire ont amorcé l'essor qui se poursuit encore aujourd'hui.

Le rôle de l'électricité comme substitut énergétique est au centre des préoccupations actuelles dans l'économie. En particulier, le Programme

Canadien de Remplacement du Pétrole, instauré par le gouvernement fédéral en mai 1981, a prévu des subventions pouvant atteindre 50% du coût de la conversion au gaz naturel ou à l'électricité et ce jusqu'à un maximum de 800\$ pour les installations de chauffage résidentielles. De mai 1982 à décembre 1982, on a compté plus de 107000 conversions du mazout à l'électricité, dans la plupart des cas au chauffage par plinthes. Même si l'électricité est appelée à jouer un rôle de plus en plus important dans la réalisation des objectifs de remplacement du pétrole, aucune modification profonde ne s'est opérée sur les projets d'augmentation de capacité des services d'électricité.

La principale source d'électricité au Canada est l'énergie hydraulique. Les chutes font tourner des turbines qui actionnent des générateurs électriques. Les plus vastes complexes en opérations dans ce domaine se trouvent à Churchill Falls au Labrador et à la Baie James au Québec. Pour être utilisée comme source d'énergie, l'eau doit tomber d'un niveau à l'autre; or, la plus grande part des cours d'eau du Canada n'ont pas une hauteur de chute suffisante sur de courtes distances.

Les sources hydro-électriques les plus rentables ayant été exploitées, le Canada s'est tourné vers des sources génératrices d'électricité alternatives. A cet effet, l'énergie thermique est utilisée en consommant le charbon, le pétrole et le gaz pour produire la vapeur qui fait tourner les turbines. Le charbon est utilisé depuis plusieurs années pour produire la vapeur. Et, contrairement au pétrole ou au gaz dont les réserves diminuent rapidement partout dans le monde, le charbon est disponible en quantité abondante. Le Canada possède en Alberta, en Saskatchewan et en

Colombie-Britannique d'immenses réserves de charbon suffisantes pour maintenir la production au rythme actuel pendant plusieurs générations. De plus, la demande de pétrole et de gaz augmentant sans cesse à des fins non-combustibles telle la pétrochimie, le charbon sert de plus en plus à alimenter les centrales thermiques.

Cependant, l'utilisation répandue du charbon présente des inconvénients majeurs. En effet, les résidus de la combustion dans les centrales thermiques au charbon polluent l'air et la chaleur de l'eau déchargée dans les lacs et les rivières cause la pollution thermique. Pour résoudre le problème de la pollution, des règlements locaux peuvent exiger l'utilisation de certaines quantités de charbon à basse teneur en soufre. Des appareils tels les épurateurs et les précipitateurs permettent de réduire la pollution mais à un certain prix.

D'autre part, il existe d'autres sources d'énergie présentement à l'étape de la recherche. Parmi celles-ci notons l'énergie nucléaire, l'énergie marémotrice et l'énergie solaire. Aucune de ces sources n'est encore implantée de façon extensive en raisons de contraintes économiques, techniques ou sociales.

L'énergie électrique est fournie par trois types d'entreprises au Canada: les services privés et publics de production et de distribution, sources principales, et un petit nombre d'installations appartenant à des établissements industriels. Les établissements industriels produisant de l'énergie cherchent surtout à répondre à leurs propres besoins mais certains

d'entre eux vendent de l'énergie à des services ou à des réseaux de distribution municipaux. Les services privés et publics d'électricité fournissent 90% de l'électricité au Canada, avec quelques variations au niveau des provinces. Le tableau 4.1 illustre ces variations et les disparités selon le mode de production de l'électricité.

Dans chacune des provinces, à l'exception de l'Île-du-Prince-Édouard, de Terre-Neuve et de l'Alberta, les principaux services d'électricité appartiennent et sont opérés par le secteur public. En Alberta, l'"Electric Utility Planning Council" (EUPC) assure la coordination des installations de production et de transport pour toute la province. Cet organisme central de planification regroupe des représentants de tous les services publics. Deux sociétés privées produisent environ 80% de l'électricité albertaine, des services publics municipaux fournissant presque tout le reste. Ces entreprises sont l'Alberta Power et Calgary Power: elles forment les deux plus grands services privés d'électricité au Canada. L'"Alberta Electric Marketing", créé en septembre 1982, est chargé d'uniformiser les prix en établissant une moyenne des coûts de production et de transport. Les écarts de prix attribuables à la différence des coûts de distribution seront toutefois maintenus. La capacité hydro-électrique de l'Alberta ne permet pas de générer de grandes quantités d'électricité. La raison provient de la faible capacité des bassins situés sur les rivières et la grande variabilité de débit. L'énergie produite par les centrales hydroélectriques est utilisée principalement pour les périodes de pointe durant l'hiver. Les centrales thermiques forment la majorité du complexe de production et elles sont alimentées par du charbon ou du gaz naturel.

Tableau 4.1 Kilowatts des centrales installées à la fin de l'année, 1982 (en millions de kilowatts/heure)

Territoire	Services privés et publics		
	Therm.	Hydro	Total
Terre-Neuve	729	6130	6859
Ile-du-Prince-Edouard	118	-	118
Nouvelle-Ecosse	1423	356	1779
Nouveau-Brunswick	2439	883	3322
Québec	1324	18777	20101
Ontario	18647	6819	25466
Manitoba	471	3641	4112
Saskatchewan	1672	553	2245
Alberta	5297	734	6031
Colombie-Britannique	1330	7689	9019
Yukon	40	58	98
T.N.O.	115	44	159
CANADA	33625	45684	79309

Etablissements industriels			Ensemble de l'industrie		
Therm.	Hydro	Total	Therm.	Hydro	Total
24	80	104	752	6210	6963
-	-	-	118	-	118
81	5	86	1504	361	1865
129	17	146	2568	901	3469
87	2574	2661	1411	21351	22762
494	312	806	19141	7131	26272
32	-	32	503	3641	4144
54	23	77	1746	576	2322
396	-	396	5693	734	6427
558	1309	1867	1888	8998	10886
-	-	-	40	58	98
24	3	27	139	47	186
1914	4324	6238	35540	50007	85547

Source: Statistique Canada, no 57-202.

Une entreprise privée distribue 86% de l'électricité consommée à Terre-Neuve, y compris 90% de l'électricité dans le secteur résidentiel. Cette entreprise achète environ 85% de l'électricité d'une société publique, la Newfoundland Hydro. Au Yukon et dans les territoires du Nord-Ouest, la commission de l'énergie du Nord canadien produit et distribue la plus grande partie de l'électricité: deux sociétés privées fournissent presque tout le reste. Finalement, l'Île-du-Prince-Édouard a toujours compté sur les centrales thermiques seulement afin de satisfaire ses besoins en électricité. Étant donné la faible échelle de production, il est difficile de construire de grandes centrales et ainsi bénéficier de rendements d'échelle.

Nous avons concentré nos efforts dans ce travail sur les centrales thermiques des services privés, principalement pour trois raisons. D'abord, nous considérons les services privés par opposition aux services publics afin de respecter l'hypothèse de base de maximisation du profit posée dans le modèle théorique. De plus, le choix des centrales thermiques nous permet de considérer la présence de trois facteurs de production dans le processus, soit le capital, le travail et l'énergie consommée pour la génération d'électricité. Finalement, nous traitons notre modèle de façon à pouvoir comparer nos résultats à ceux obtenus par certains auteurs pour le cas de l'industrie américaine et ainsi analyser les améliorations apportées autant sur le plan théorique que sur l'aspect empirique du traitement. Nous retenons à ce sujet entre autres les travaux de Christensen et Greene(1976), Cowing(1982) et Nelson et Wohar(1983) comme sources intéressantes de comparaison.

4.2 Séries de prix et de quantités

L'estimation du modèle proposé nous oblige à construire certaines séries statistiques de prix et de quantités pour les variables définies précédemment. Nous décrivons brièvement dans cette section les sources et le traitement de l'information statistique afin d'obtenir les séries désirées. L'échantillon est formé de données annuelles couvrant la période de 1944 à 1982. Sauf sur avis contraire, toutes les statistiques de base sur l'ensemble de l'industrie, les services privés ou les centrales thermiques sont issues des publications 57-202 et 57-206 de Statistique Canada (SC) pour les différentes années. L'annexe A présente tous les tableaux statistiques des variables construites et des éléments qui les composent. On trouvera également à l'annexe B les graphiques illustrant les tendances de certaines variables ou indices importants.

4.2.1 Production et capacité

L'énergie générée par les centrales thermiques des services privés est obtenue directement des publications mentionnées précédemment. La production est l'ensemble, en Kilowatts-heure, de la quantité d'électricité vendue dans les secteurs résidentiels, commerciaux et industriels. L'électricité vendue est comptabilisée par la somme des quantités figurant sur les factures d'électricité pour ces différents secteurs.

D'autre part, il est nécessaire de connaître la capacité des différentes centrales dans le calcul de la quantité de capital en 4.2.2. Cette information nous permettra d'estimer selon un ratio simple les séries du capital selon le genre de service et de centrale. La capacité (C) est exprimée en Kilowatts: de plus, à l'aide de la formule

$$P_{max} = C \times 365 \text{ jours} \times 24 \text{ heures} \quad (4.1)$$

nous pouvons calculer le taux d'utilisation de la capacité:

$$TUC = \frac{\text{Energie générée}}{P_{max}} \quad (4.2)$$

où P_{max} est la production maximale et TUC est le taux d'utilisation de la capacité.

4.2.2 Capital

Les séries de prix et de quantité du capital sont sans contredit les variables les plus difficiles à construire. En particulier, le calcul de la quantité nécessite la définition d'une méthode de construction spécifique et d'hypothèses précises sur la nature du capital. De plus, il est nécessaire en général de distinguer deux types de capital: les bâtiments et la machinerie et outillage.

Suivant les hypothèses du modèle, le prix de marché du capital est obtenu par la formule de Christensen et Jorgenson(1969):

$$w_k = (r + \delta - \dot{q}/q)q \quad (4.3)$$

où r est le coût d'opportunité du capital

δ est le taux d'amortissement

q est le prix de l'investissement.

Pour deux catégories de capital, sous l'hypothèse d'un coût d'opportunité similaire, nous avons:

$$w_k = \sum_i p_i (r + \delta_i - \dot{q}_i/q_i) q_i, \quad i = C, M \quad (4.4)$$

où C est l'équipement en bâtiments

M est la machinerie et outillage

p_i est la part de la catégorie du capital i , $\sum_i p_i = 1$.

Le taux d'amortissement est donné par:

$$\delta_i = \frac{1}{L_i} \quad (4.5)$$

où L_i est la durée de vie du capital i . Nous posons à cet effet $L_C = 50$ ans et $L_M = 30$ ans. Le prix des investissements est calculé sous forme d'indice par SC (publication no 13-568) à la rubrique "Industrie de l'énergie électrique et des services de distribution du gaz". Finalement le coût d'opportunité du capital est obtenu selon la méthode de Modigliani-Miller¹⁴ par le coût pondéré du capital:

$$r = \text{CPMC} = (p_e \cdot r_e) + (p_d \cdot r_d) \quad (4.6)$$

où CPMC est le coût pondéré moyen du capital p_e, p_d sont respectivement les parts de l'équité et de la dette

r_e est le rendement sur l'équité

r_d est le taux d'intérêt sur la dette.

¹⁴ Si nous incluons l'impôt dans le modèle, l'équation du CPMC devra s'écrire: $\text{CPMC} = (1 - \tau_c)(p_e \cdot r_e) + (p_d \cdot r_d)$ où τ_c est le taux d'imposition. Voir à ce sujet Copeland et Weston (1983), chapitre 11.

Nous avons obtenu la répartition de l'équité et de la dette à l'aide de statistiques fiscales sur la structure comptable des entreprises privés de services d'électricité. Ces statistiques sont publiées par le ministère du Revenu du Canada, et par SC (no 57-202) à partir de 1956. Le taux d'intérêt sur la dette est le taux sur les obligations d'entreprises publiques obtenu de la Revue Mensuelle de la Banque du Canada alors que r_e , le rendement sur l'avoir des actionnaires, est calculé comme une fraction constante du taux sur les obligations. A partir de données boursières, nous avons estimé cette fraction à environ 0,75. De (4.6), (4.5) et (4.4), nous calculons une série pour le prix du capital.

Le calcul d'une série de quantité pour le capital est basé sur la méthode de l'inventaire perpétuel. Cette méthode nécessite trois éléments de construction:

- 1- une série d'investissements en dollars courants pour chacune des catégories de capital;
- 2- un indice des prix des investissements afin de déflater les séries d'investissements;
- 3- un taux d'amortissement relié à la durée de vie des biens en capitaux.

Deux de ces trois éléments sont déjà connus puisqu'ils ont été utilisé dans le calcul du prix du capital. Les séries d'investissements sont fournies par SC (publication no 61-205) pour l'industrie électrique.

Comme SC dispose de telles séries pour l'industrie de l'électricité et de distribution de gaz, il n'est pas nécessaire de reconstruire celle-ci

pour la période précédent l'année de base. Notre but est d'utiliser cette série pour en déduire le stock net de capital pour l'année de base, puis utiliser les séries d'investissement dont nous disposons dans la formation de la série de quantité. Pour établir le stock de capital de l'année de base, nous avons estimé à partir de la moyenne des investissements dans chaque industrie sur une période de cinq ans les parts respectives du stock de capital. Par la suite, nous utilisons la formule suivante pour calculer le stock net dans chaque catégorie:

$$x_{Kt}^i = (1 - \delta_i) x_{K(t-1)}^i + I_{nt}^i \quad (4.7)$$

où K_t^i est le stock net de capital pour i

I_{nt}^i est l'investissement de la période en dollars constants.

Le stock de capital pour l'ensemble de l'industrie est donné par:

$$x_{Kt}^I = \sum_i x_{Kt}^i \quad i = M, C \quad (4.8)$$

et, pour le cas des centrales thermiques des services privés,

$$x_{Kt}^{CT} = \frac{C_{CTt}}{C_{TOT}} \cdot x_{Kt}^I \quad (4.9)$$

où C_{CT} est la capacité des centrales thermiques des services privés

C_{TOT} est la capacité totale dans l'industrie.

4.2.3. Travail

La quantité de travail est obtenue de la façon suivante:

$$x_L = NE \cdot HT \quad (4.10)$$

où x_L est le nombre d'heures-homme payées durant la période

NE est le nombre d'employés

HT est le nombre moyen d'heures travaillées durant l'année.

Afin de distinguer les employés affectés à l'administration de ceux à la production, nous évaluons

$$x_{L^j} = \sum_j NE_j \cdot HT_j \quad j = A, P \quad (4.11)$$

et

$$x_L = \sum_j x_{L^j} \quad (4.12)$$

Le nombre d'heures travaillées par année est calculé par:

$$HT_j = HM_j \cdot 50 \quad (4.13)$$

où HM_j est le nombre d'heures de travail moyenne par semaine. Le ministère des Approvisionnements et Services publie dans Taux de Salaires, Traitements et Heures de travail des statistiques détaillées sur le nombre moyen d'heures travaillées dans les services d'électricité.¹⁵

Connaissant la masse salariale totale dans les services privés, nous pouvons calculer le prix moyen du travail par:

$$w_L = \frac{MS}{x_L} \quad (4.14)$$

¹⁵ Ces données n'étant pas disponibles pour l'ensemble de la période, nous avons dû estimer celles-ci dans certains cas. Le détail de ces calculs est donné à l'annexe A.

où MS est la masse salariale incluant les bénéficiaires marginaux et le temps supplémentaire rémunéré. Nous connaissons x_L et la masse salariale pour les services privés seulement: afin de retrouver la valeur de celle-ci pour les centrales thermiques, nous calculons

$$x_{LCT} = \frac{P_{CT}}{P_{SP}} \cdot x_L \quad (4.15)$$

$$MS_{CT} = \frac{P_{CT}}{P_{SP}} \cdot MS \quad (4.16)$$

où x_{LCT} est la quantité de travail dans les centrales thermiques

P_{CT} est la production dans les centrales thermiques

P_{SP} est la production pour l'ensemble des services privés

MS_{CT} est la masse salariale pour les centrales thermiques.

4.2.4 Energie

Plusieurs formes d'énergie peuvent être utilisées afin de générer la vapeur nécessaire pour produire l'électricité dans les centrales thermiques. Le tableau 4.2 résume les différents combustibles utilisés au Canada durant la période 1944-1982. Nous connaissons pour chacune de ces formes la quantité consommée et le contenu énergétique en BTU par unité: ainsi, nous pouvons former une mesure totale de la quantité d'énergie consommée à l'aide de l'équation suivante pour l'ensemble des services d'électricité:

$$x_e = \sum_1 Q_1 \cdot B_1 \quad (4.17)$$

où Q_1 est la quantité consommée de la source 1

B_1 est le contenu énergétique en BTU de 1.

Tableau 4.2 Combustibles utilisés dans les centrales thermiques au Canada

Combustibles	Catégories
Charbon	Bitumineux canadien
	Bitumineux importé
	Sous-bitumineux
	Lignite
Gaz	Naturel
	Fabriqué
Produits du pétrole	Gasoline
	Mazout léger
	Mazout lourd
	Huiles diesel
	Pétrole brut

Le prix de l'énergie peut encore une fois être calculé directement en connaissant la valeur totale de l'énergie consommée:

$$w_E = \frac{VE}{x_1} \quad (4.18)$$

où VE est la valeur totale des combustibles utilisés. Finalement, les variables de quantité et du coût pour les centrales thermiques des services privés sont obtenues par:

$$x_{E}^{CT} = \frac{P_{CT}}{P_{CTT}} \cdot x_E \quad (4.19)$$

$$VE_{CT} = \frac{P_{CT}}{P_{CTT}} \cdot VE \quad (4.20)$$

où P_{CTT} est la production dans les centrales thermiques des services privés et publics.

4.2.5 Coûts et parts des facteurs de production

Mises à part les séries de prix et de quantités, l'estimation de la fonction de coût nécessite certaines composantes supplémentaires de coûts et de parts. Le coût total est

$$CT = DK_{CT} + MS_{CT} + VE_{CT} \quad (4.21)$$

où DK_{CT} est la dépense en capital. De la même façon, le coût variable total est

$$CVT = MS_{CT} + VE_{CT}. \quad (4.22)$$

Les parts de facteurs peuvent être calculées à partir du coût total ou du coût variable selon les besoins. Ainsi,

$$S_K = \frac{DK_{CT}}{CT} \quad (4.23a)$$

$$S_L = \frac{MS_{CT}}{CT} \quad (4.23b)$$

$$S_E = \frac{VE_{CT}}{CT} \quad (4.23c)$$

où S_K , S_L , S_E sont les parts respectives dans le coût total et

$$S_L^V = \frac{MS_{CT}}{CVT} \quad (4.24a)$$

$$S_E^V = \frac{VE_{CT}}{CVT} \quad (4.24b)$$

où S_L^V et S_E^V sont les parts dans le coût variable total.

CHAPITRE 5 ESTIMATION DE LA FONCTION DE COUT

5.1 Méthode d'estimation et tests d'hypothèses

Il est possible d'estimer les paramètres de la fonction de coût (3.15) à l'aide des moindres carrés ordinaires. Cette technique néglige cependant l'information contenue dans les équations de parts (3.17). De plus, le translog contient un nombre imposant de paramètres et il peut par conséquent être avantageux de posséder quelques degrés de liberté supplémentaires lors de l'estimation. Une méthode plus complète nous oblige donc à considérer simultanément la fonction de coût variable et les équations de parts de facteurs. Ainsi, le système que nous devons estimer sera composé des équations suivantes:

$$\ln CV = \Gamma \ln CV_{-1} + \{.\} - \Gamma \{.\}_{-1} + \sum_{i=1}^{N-1} \beta_i (1 - \Gamma) \ln w_{i,t} \ln w_{i,t-1} + \beta_e (1 - \Gamma) t. \quad (3.15)$$

$$\frac{S_j^v}{S_1^v} = \frac{\Gamma (S_j^v)_{-1} + \frac{\partial \ln CV}{\partial \ln w_j} - \Gamma \left(\frac{\partial \ln CV}{\partial \ln w_j} \right)_{-1} + \beta_j (1 - \Gamma) \ln w_{j,t-1}}{\Gamma (S_1^v)_{-1} + \frac{\partial \ln CV}{\partial \ln w_1} - \Gamma \left(\frac{\partial \ln CV}{\partial \ln w_1} \right)_{-1} + \beta_1 (1 - \Gamma) \ln w_{1,t-1}} \quad (3.17)$$

où $i = L, E$

$j = L$

$l = E$

et

$$\begin{aligned} \ln CV(w_1, \dots, w_{N-1}, x_k, s_k, y) = & \alpha_0 + \sum_{i=1}^{N-1} \delta_i \ln w_i + \delta_k \ln x_k + \delta_s \ln s_k + \delta_y \ln y \\ & + 1/2 \sum_{i=1}^{N-1} \sum_{j=1}^{N-1} \epsilon_{ij} \ln w_i \ln w_j + \sum_{i=1}^{N-1} \epsilon_{ik} \ln w_i \ln x_k + \sum_{i=1}^{N-1} \epsilon_{is} \ln w_i \ln s_k \\ & + \sum_{i=1}^{N-1} \epsilon_{iy} \ln w_i \ln y + 1/2 \epsilon_{kk} \ln x_k^2 + \epsilon_{ks} \ln x_k \ln s_k + \epsilon_{ky} \ln x_k \ln y \\ & + 1/2 \epsilon_{ss} \ln s_k^2 + \epsilon_{sy} \ln s_k \ln y + 1/2 \epsilon_{yy} \ln y^2 . \end{aligned}$$

Finalement,

$$\frac{\partial \ln CV}{\partial \ln w_j} = \delta_j + \sum_{i=1}^{N-1} \epsilon_{ij} \ln w_i + \epsilon_{jk} \ln x_k + \epsilon_{js} \ln s_k + \epsilon_{jy} \ln y .$$

Nous spécifions des erreurs aléatoires additives pour chacune des équations de parts et la fonction de coût. Nous posons également que ces erreurs sont distribuées selon une loi normale conjointe. Suivant la méthode développée par Zellner (1962), nous supposons l'absence de corrélation entre les erreurs d'une observation à l'autre et la possibilité de corrélation entre les erreurs des équations pour une année quelconque. La méthode de Zellner nous permet ainsi d'obtenir des estimateurs efficaces du maximum de vraisemblance.

Comme nous évaluons des estimateurs du maximum de vraisemblance, nous pouvons effectuer différents tests d'hypothèses en utilisant le test du ratio

de vraisemblance. Dénotant les déterminants de la matrice variances-covariances des erreurs aléatoires du modèle non-contraint et contraint par $|\Omega_N|$ et $|\Omega_R|$ respectivement, nous écrivons le test de vraisemblance

$$\hat{\theta} = (|\Omega_R| / |\Omega_N|)^{-T/2} \quad (5.1)$$

où T est le nombre d'observations. Nous testons les hypothèses suivant le fait que $-2\ln\hat{\theta}$ est distribué asymptotiquement sous une loi de chi-carré. Le nombre de degrés de liberté sera déterminé par le nombre de contraintes indépendantes imposées.

A la lumière des résultats des différents tests sur le modèle général, les deux hypothèses suivantes ne sont pas rejetées sur la base de ce critère:

- (5.2)
- 1- l'homothéticité, i.e $\epsilon_{LJ} = \epsilon_{KY} = \epsilon_{BY} = 0$
 - et 2- $\epsilon_{KK} = \epsilon_{EE} = 0^{15}$.

Le tableau 5.1 présente le résultat de ces tests. Les x^2 observés sont respectivement de 6.36 et 6.49 alors que les niveaux critiques sont de 13.28 et 9.21. En conséquence, nous avons contraint les paramètres de (5.2) à zéro dans le modèle estimé.

Tableau 5.1 Test statistiques sur la fonction de coût

Hypothèse	Log. de la fct de vraisemblance	Nombre de contraintes	$x^2_{.01}$	x^2 observé
1	125.220	4	13.28	6.3560
2	125.153	2	7.21	6.4900

Log de la fct de vraisemblance non-contrainte: 128.398

¹⁵ Cette hypothèse a été testée en remarquant que les signes de ces coefficients ne respectaient pas les conditions sur la forme de la fonction et parce qu'ils étaient statistiquement non-significatifs.

5.2 Résultats empiriques

5.2.1 Paramètres estimés et forme de la fonction

Considérant les restrictions de (5.2), nous présentons dans le tableau suivant le résultat de l'estimation de la fonction de coût variable et de l'équation du rapport des parts des facteurs variables. Neuf des dix-neuf paramètres sont significativement différents de zéro et tous les paramètres où nous avons des attentes ont le signe désiré. En particulier, le paramètre ρ associé aux retards doit être entre 0 et l'unité et nous obtenons un coefficient de 0.5282. De plus, les conditions sur la forme de la fonction de coût nous permettent d'anticiper que δ_1 , δ_2 et δ_3 soient positifs alors que δ_4 doit être négatif. Finalement la présence de progrès technique nous incite à croire que le terme neutre, β_1 , est négatif ce qui est également vérifié.

Au niveau des équations, les valeurs du R^2 sont respectivement de 0.9573 et 0.9924 pour l'équation des parts et celle des coûts. Nous avons également calculé les statistiques de Durbin-Watson afin de détecter la présence d'autocorrélation entre les erreurs résiduelles. Cette statistique donne un résultat de 1.70 pour l'équation des parts et 1.43 pour l'équation du coût. Sur la base de la table développée par Savin et White (1977) où les seuils critiques sont calculés pour les estimations contenant plus de cinq variables explicatives, nous ne pouvons conclure sur l'hypothèse d'autocorrélation à l'aide de ce test.

Tableau 5.2 Paramètres de la fonction de coût
(t de student entre parenthèses)

Γ	0.5282	(5.545)***	$\epsilon_{L\alpha}$	- 0.1458	(-1.371)
α_0	0.0718	(1.465)	$\epsilon_{\alpha\kappa}$	0.0001	(0.001)
δ_L	0.0957	(1.977)*	$\epsilon_{\alpha\beta}$	- 0.2064	(-0.821)
δ_{α}	0.6316	(2.732)**	$\epsilon_{\kappa\beta}$	- 0.5549	(-1.783)*
δ_{κ}	-0.2004	(-1.298)	$\epsilon_{\beta\beta}$	2.7217	(1.560)
δ_{β}	0.8080	(1.729)*	$\epsilon_{\gamma\gamma}$	0.0998	(1.225)
δ_{γ}	0.6352	(3.567)***	β_L	- 0.3076	(-2.639)**
ϵ_{LL}	0.0035	(0.047)	β_{α}	0.6157	(3.534)***
$\epsilon_{L\alpha}$	0.0608	(1.439)	β_{κ}	- 0.0057	(-0.337)
$\epsilon_{L\kappa}$	0.1156	(3.450)***			

Seuil de signif.: *90%; **95%; ***99%.

D'autre part, nous vérifions localement la forme de la fonction en analysant chacune des observations de l'échantillon. Exception faite de quatre observations, toutes les conditions sur les dérivées partielles par rapport aux prix et aux quantités et sur les mineurs principaux sont respectées. Le tableau 5.3 illustre les faits saillants des résultats obtenus sur ces différents éléments.

Tableau 5.3 Vérification des conditions du 1^{er} et du 2^e ordre

Condition	∂C	∂C	∂C	$\partial^2 C$	$\partial^2 C$	$\partial^2 C$	Déterminant Hessien
	∂w_L	∂w_{α}	∂x_{κ}	∂w_{L^2}	∂w_{α^2}	∂x_{κ^2}	
Signe attendu	+	+	-	-	-	+	+
Résultat (moyenne)	+	+	-	-	-	+	+
Nombre d'observations ayant le signe attendu	38	38	38	38	36	38	34

Nombre d'observations respectant toutes les conditions: 34/38.

5.2.2 Niveau de capital optimal et prix implicite

Afin de bien comprendre la relation s'opérant entre les différents prix et les différentes quantités de capital, nous pouvons mettre en parallèle certains concepts développés précédemment. De (3.19) et (3.21), nous avons que:

$$\frac{\partial \ln CV}{\partial \ln x_k} = \frac{-(z_k - \lambda_1 s_k) x_k}{CV} \quad (5.3)$$

et

$$\frac{\partial \ln CV}{\partial \ln \tilde{x}_k} = \frac{-w_k \tilde{x}_k}{CV} \quad (5.4)$$

De plus, si $\epsilon_{kk} = 0$, alors

$$\frac{\partial \ln CV}{\partial \ln x_k} = \frac{\partial \ln CV}{\partial \ln \tilde{x}_k} \quad (5.5)$$

et par conséquent

$$\frac{-(z_k - \lambda_1 s_k)}{CV} = \frac{-w_k \tilde{x}_k}{CV}$$

$$\frac{x_k}{\tilde{x}_k} = \frac{z_k - \lambda_1 s_k}{w_k} \quad (5.6)$$

Ce cas particulier nous permet de comparer directement le niveau observé et optimal du capital par rapport aux prix implicite et de marché. Ainsi, si $z_k - \lambda_1 s_k > w_k$, alors $x_k > \tilde{x}_k$ et, de la même façon, $z_k - \lambda_1 s_k < w_k$ implique que $x_k < \tilde{x}_k$. Pour le cas où la réglementation n'existe pas, i.e. $\lambda_1 = 0$, nous avons donc que si le prix implicite est plus élevé que le prix de marché, alors le niveau de capital observé est plus élevé que le niveau optimal lorsque le capital est considéré comme un facteur variable. Nous présentons dans la figure 5.1 la comparaison entre ces différentes mesures et les variables observées.

Figure 5.1a) Prix de marché et implicite du capital

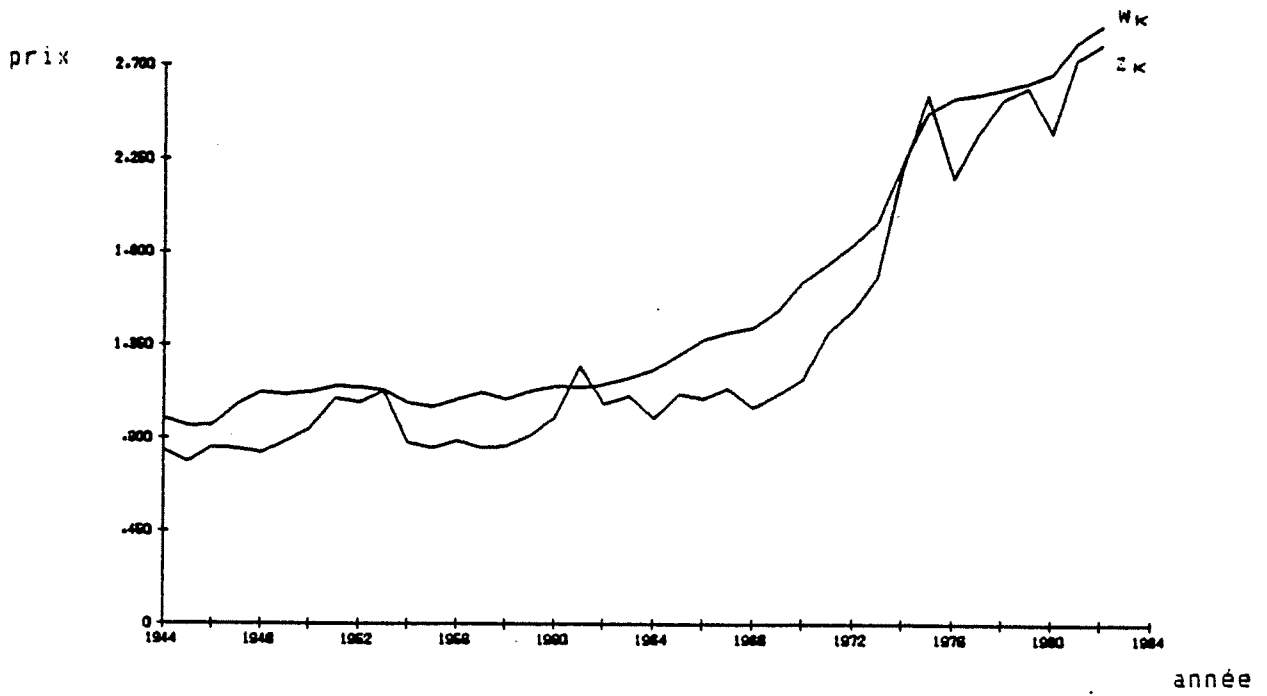
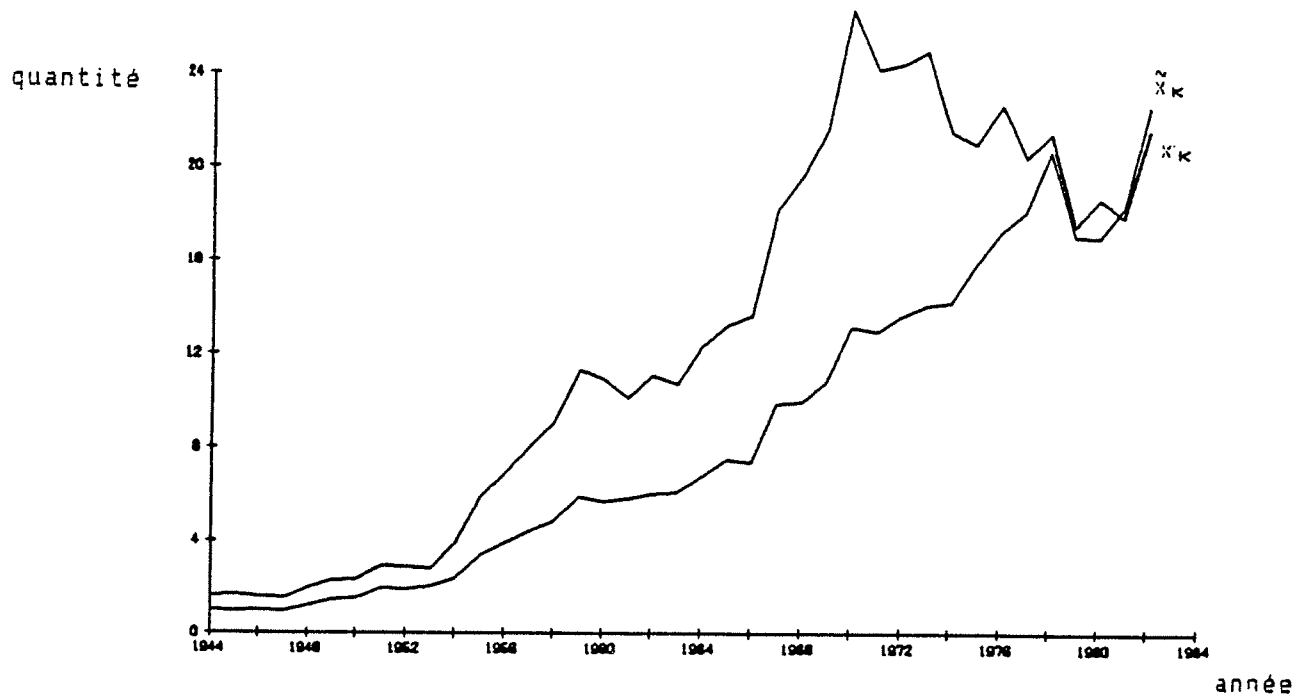


Figure 5.1b) Niveau observé et optimal de capital



5.2.3 Biais de la réglementation

L'estimation de λ_i , le multiplicateur de Lagrange de la contrainte de réglementation, a été obtenu en notant que:

$$\lambda_i = 1 - \sum_i \frac{\partial \ln CV}{\partial \ln w_i} \quad i = L, E . \quad (5.7)$$

Les résultats présentés au tableau 5.4 montre la tendance du biais causé par la réglementation. En particulier, l'impact du paramètre de biais a diminué significativement à partir de 1976 laissant ainsi présager un relâchement des pressions associées à l'imposition d'un taux de rendement permis sur le capital. Historiquement, ce résultat nous permet de voir la difficulté éprouvée par l'organisme de réglementation en période de fluctuation des taux d'intérêt. En effet, les mouvements soudains et répétés à la hausse de ces taux ont incité les autorités décisionnelles à être plus souples vis-à-vis ce genre de contrainte afin de ne pas mettre en péril la position de l'entreprise sur le marché des capitaux.

Tableau 5.4 Impact de la réglementation : calcul de λ_i

Année	λ_i	Année	λ_i	Année	λ_i
1945	0.2664	1958	0.3147	1971	0.4892
1946	0.3006	1959	0.3779	1972	0.4500
1947	0.2140	1960	0.4758	1973	0.4883
1948	0.2021	1961	0.5459	1974	0.5438
1949	0.2265	1962	0.4916	1975	0.4536
1950	0.2470	1963	0.4593	1976	0.1773
1951	0.3440	1964	0.3649	1977	0.0753
1952	0.3251	1965	0.3982	1978	0.0272
1953	0.3109	1966	0.4017	1979	0.0277
1954	0.2628	1967	0.4080	1980	-0.0446
1955	0.2866	1968	0.3835	1981	-0.1117
1956	0.2987	1969	0.4219	1982	-0.1649
1957	0.2746	1970	0.4226		

L'issue du débat sur l'impact de la réglementation dans les services privés d'électricité est loin d'être déterminée. Plusieurs auteurs ont étudié le cas de l'industrie américaine et ils en ont retiré un certain support empirique à l'impact de la réglementation. Spann(1974) et Courville(1974), entre autres, arrivent à cette conclusion. Par contre, Nelson et Wohar(1983) dans une étude plus récente couvrant la période 1950-1978 n'ont reconnu aucun fondement empirique à cet impact.

Considérant les divergences sur cette question, ces derniers ont proposé d'examiner le ratio du rendement de l'équité sur le taux d'intérêt de la dette à long terme afin d'indiquer la capacité des commissions de réglementation à limiter le taux de rendement effectif sur le capital. Si nous comparons les résultats de l'industrie canadienne à ceux de Nelson et Wohar(1983), nous trouvons sensiblement la même tendance (tableau 5.5). L'interprétation que nous donnons à ces résultats diffère cependant de celle de N-W. D'une part, ils affirment qu'un ratio élevé de E/D suggère une réglementation agissant peu sur les décisions de l'entreprise. Au contraire, nous croyons que cette situation peut être le reflet du besoin de la réglementation et de mesures appliquées afin de réduire un taux de rendement qui serait sinon probablement plus élevé. D'ailleurs, nous remarquons d'après le tableau 5.4 que la réglementation s'est consolidée jusqu'en 1976. D'autre part, un ratio E/D à la baisse semble présager pour N-W le signe d'une réglementation ayant accru sa présence. Nous croyons plutôt à l'hypothèse selon laquelle la commission doit laisser l'entreprise agir plus librement sur le marché des capitaux afin d'être concurrentielle. Encore une fois, les résultats du tableau 5.4 semblent rendre plausible cette interprétation de la

situation. L'analyse de la situation récente révélera à notre avis un resserrement de l'impact de la réglementation et un ratio E/D à la hausse.

Tableau 5.5 Ratios du rendement de l'équité sur le taux d'intérêt sur la dette à long terme

Période	Ind. amer.	Industrie canadienne		
	E/D N-W(1983)	t.i dette(D) ¹⁴	rend.éq.(E) ¹⁷	E/D
		%	%	
1945-1949	-	3.07	7.10	2.313
1950-1953	2.007	3.93	8.26	2.102
1954-1957	1.715	4.21	7.82	1.857
1958-1961	1.325	5.50	8.10	1.473
1962-1965	1.480	5.22	8.11	1.554
1966-1969	1.050	7.43	7.68	1.034
1970-1973	0.784	8.63	9.21	1.067
1974-1978	0.689	10.20	12.25	1.201
1979-1982	-	14.10	11.92	0.845

5.2.4 Rendements d'échelle, progrès technique et PTF

Nous savons que les mesures conventionnelles de la productivité totale des facteurs ne peuvent permettre de retrouver que l'accroissement global de la production par unité de l'indice agrégé des facteurs. Nous avons montré à la section 2.4 comment utiliser la fonction de coût afin d'interpréter la productivité et la séparer en ses diverses composantes. Le calcul d'une mesure économétrique de la PTF nécessite en particulier la connaissance de l'évolution des rendements d'échelle. Nous présentons dans le tableau 5.6 la mesure de ϵ_{CV} obtenue à partir de l'équation (3.30).

¹⁴ Taux d'intérêt sur les obligations des services d'utilité publics.

¹⁷ Calculé comme étant le bénéfice net après impôts sur l'avoir des actionnaires.

Tableau 5.6 Calcul des rendements d'échelle

Année	ϵ_{CV}	Année	ϵ_{CV}	Année	ϵ_{CV}
1945	0.5346	1958	0.6552	1971	0.7883
1946	0.5386	1959	0.6832	1972	0.7629
1947	0.5604	1960	0.6994	1973	0.7317
1948	0.5957	1961	0.6362	1974	0.7090
1949	0.5951	1962	0.7028	1975	0.6809
1950	0.5843	1963	0.6956	1976	0.7620
1951	0.5573	1964	0.7314	1977	0.7323
1952	0.5413	1965	0.7227	1978	0.7209
1953	0.5355	1966	0.7619	1979	0.7115
1954	0.5647	1967	0.7443	1980	0.7661
1955	0.6099	1968	0.8057	1981	0.7417
1956	0.6087	1969	0.8185	1982	0.7525
1957	0.6539	1970	0.8245		

A la lumière de ces résultats, il est évident que l'industrie est caractérisée par des rendements croissants. De plus, cette mesure montre que les économies d'échelle sont légèrement plus élevées que celle des entreprises américaines. En effet, alors que différents auteurs ont rapporté des économies de l'ordre de 5% à 20%, nous trouvons une mesure de l'IEE variant de 15% à 45%. Cette différence s'explique facilement par la taille des entreprises canadiennes par rapport aux entreprises américaines. Somme toute, nous retrouvons en ϵ_{CV} une des caractéristiques importantes des industries soumises à la réglementation, i.e. la présence de fortes économies d'échelle.

Connaissant les rendements d'échelle, le déséquilibre de long terme et le biais de la réglementation, nous pouvons calculer une mesure paramétrique du progrès technique afin de retrouver tous les éléments de la PTF. De (3.15), nous évaluons:

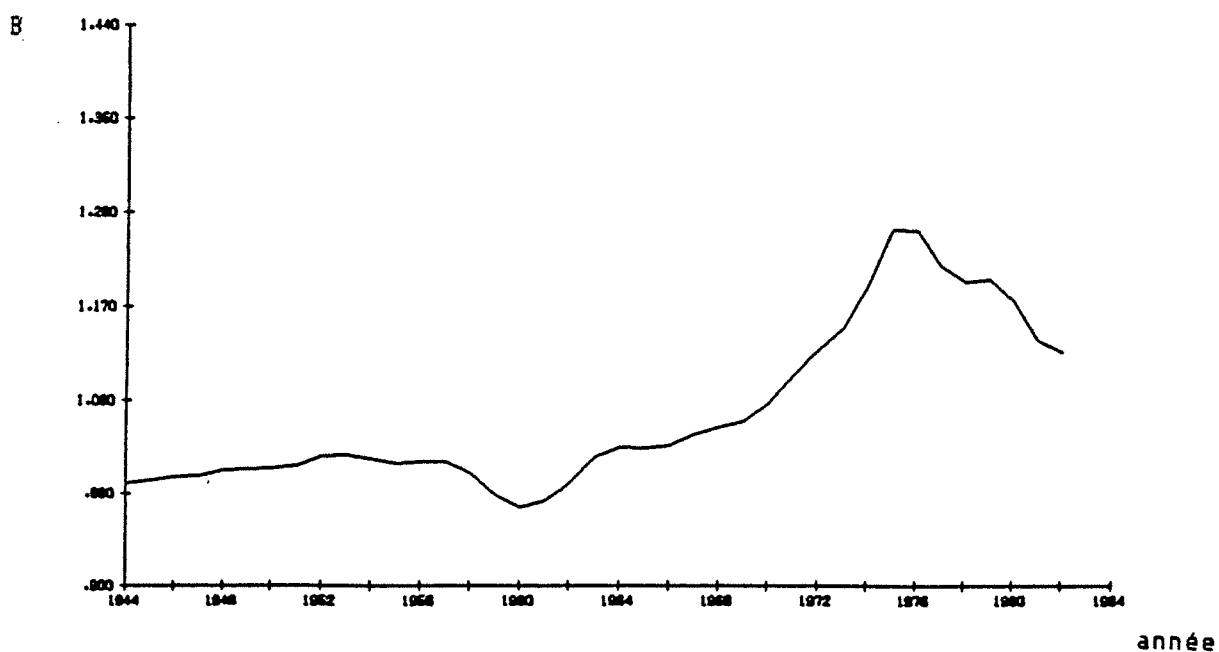
$$\ln B_t = \lambda \ln B_{t-1} + \sum_i \beta_i (1 - \rho) \ln w_{1,t} \ln w_{1,t-1} + \beta_e (1 - \rho) t \quad (5.8)$$

d'où nous obtenons $B = \exp(\ln B)$. Le tableau 5.7 montre l'évolution de cet indice à travers le temps.

Tableau 5.7 Mesure du progrès technique (1944 = 1)

Année	B	B(%)	Année	B	B(%)
1945	1.0027	0.27	1964	1.0340	0.86
1946	1.0061	0.33	1965	1.0338	-0.02
1947	1.0075	0.14	1966	1.0361	0.22
1948	1.0124	0.48	1967	1.0465	1.00
1949	1.0137	0.13	1968	1.0545	0.77
1950	1.0144	0.06	1969	1.0593	0.46
1951	1.0171	0.27	1970	1.0769	1.66
1952	1.0261	0.88	1971	1.1046	2.57
1953	1.0271	0.10	1972	1.1288	2.19
1954	1.0237	-0.33	1973	1.1442	1.37
1955	1.0186	-0.50	1974	1.1898	3.98
1956	1.0206	0.20	1975	1.2430	4.47
1957	1.0206	0.00	1976	1.2421	-0.08
1958	1.0102	-1.02	1977	1.2092	-2.65
1959	0.9880	-2.20	1978	1.1938	-1.28
1960	0.9763	-1.19	1979	1.1960	0.18
1961	0.9829	0.67	1980	1.1759	-1.68
1962	1.0003	1.78	1981	1.1375	-3.27
1963	1.0252	2.48	1982	1.1275	-0.88

Figure 5.2 Evolution de l'indice B



Le progrès technique a somme toute été absent jusqu'en 1967. Par la suite, l'indice a progressé à un rythme assez accéléré pour atteindre un sommet en 1975 pour ensuite connaître une période de baisse jusqu'à la fin de 1982. La faible croissance de l'indice pour les vingt premières années s'explique par l'introduction de nouvelles formes de technologie dans l'industrie. Les nouvelles centrales thermiques étaient construites et opérées selon les mêmes principes ce qui laissait aucun apport à de nouvelles innovations. La présence de rendements d'échelle fortement croissants peut également expliquer en partie cette situation. En effet, ce cadre de marché a incité les entrepreneurs à augmenter la taille des usines plutôt que de favoriser la recherche et le développement afin de réduire les coûts d'exploitation. La disponibilité des ressources énergétiques et la baisse des économies d'échelle a sans doute permis vers la fin des années 60 et le début des années 70 de développer et d'implanter de nouvelles techniques de production pour finalement atteindre un point de stagnation au moment où la crise énergétique s'est produite.

Il est maintenant possible de construire à partir de ces résultats la mesure économétrique de la PTF. Le but de cette analyse vise deux objectifs: d'une part, nous voulons évidemment pouvoir décomposer la PTF en ses diverses composantes. De plus, nous désirons comparer cette mesure avec l'indice de Divisia afin d'établir empiriquement la validité du lien entre ces deux concepts. De (2.74) et (2.49), nous obtenons les indices présentés dans le tableau 5.8 et la figure 5.3.

Tableau 5.8 Indices de la productivité totale des facteurs: comparaison des deux méthodes (1944 =1)

Année	Divisia	Econométrique	Année	Divisia	Econométrique
1945	0.9989	0.9734	1964	1.6812	1.8906
1946	1.0608	1.0227	1965	1.7002	1.9339
1947	1.0602	1.0273	1966	1.8058	1.9481
1948	0.9749	1.0361	1967	1.5339	1.8705
1949	0.9973	1.1186	1968	1.7519	1.9291
1950	1.0311	1.1488	1969	1.7921	1.9550
1951	0.9440	1.1392	1970	1.7491	1.9381
1952	0.8331	1.0713	1971	1.9508	2.1292
1953	0.7758	1.1452	1972	2.1253	2.2748
1954	0.7890	1.0994	1973	2.1071	2.2879
1955	1.0381	1.3017	1974	2.2734	2.5989
1956	1.0323	1.3225	1975	2.2729	3.0142
1957	1.2013	1.4792	1976	2.3726	3.1232
1958	1.0714	1.4019	1977	2.5263	3.1094
1959	1.1215	1.4309	1978	2.6167	3.1932
1960	1.2388	1.4702	1979	2.6806	3.0033
1961	1.3054	1.6526	1980	2.9518	2.9893
1962	1.4092	1.6742	1981	2.9571	2.9330
1963	1.5333	1.8176	1982	2.9070	3.1071

Figure 5.3 Evolution des indices de la PTF



Nous remarquons de ces deux indices que l'évolution de la PTF semble suivre dans les deux cas une trajectoire similaire. On note cependant que la mesure économétrique suit un sentier d'expansion plus élevé en raison de la progression plus rapide de l'indice en début de période. Ces résultats sont à notre avis très satisfaisants puisqu'ils fournissent un certain support empirique nous permettant de mettre en relation les deux indices. Afin de bien distinguer la progression de chaque mesure, nous présentons au tableau 5.9, pour six sous-périodes, la variation moyenne de l'indice de la PTF pour chacun des cas. De plus, nous avons comptabilisé l'apport de toutes les composantes pouvant influencer la croissance de la PTF en utilisant la mesure paramétrique définie en (2.74). Ce calcul nous permet d'extraire les parts en pourcentages de chacun des quatre effets dans la variation globale de la PTF.

Tableau 5.9 Variations des indices et sources de la PTF
(en pourcentages)

Période	Indice de Divisia PTF	Indice économétrique				
		PTF	Sources de la PTF ^{1*}			
			EcV	B	Fact.Q.-F.	Réglementation
1945-1950	0.05	12.33	137.19	9.93	-38.56	8.56
1951-1956	0.00	12.37	174.28	3.84	-85.17	7.04
1957-1962	5.32	14.01	133.40	-7.73	-37.69	12.02
1963-1968	3.69	12.39	132.70	36.03	-75.84	7.12
1969-1975	3.79	16.58	29.68	35.29	-26.37	61.40
1976-1982	3.58	10.04	315.17	-274.85	30.74	28.94
1945-1982	2.85	13.03	103.96	10.30	-42.34	28.09

^{1*} On calcule la part relative de chaque effet en divisant le taux moyen de croissance pour chaque sous-période par le taux de croissance de la PTF. Ainsi, un résultat de 150.0 indique que, si cet effet seulement s'appliquait, le taux de croissance de la PTF serait 1.5 fois celui qui est réalisé.

L'analyse du tableau 5.9 nous permet d'effectuer les observations suivantes sur les différents effets:

- 1- les rendements d'échelle sont le facteur le plus important de la PTF et ce par une très forte marge. Ce résultat confirme l'opinion selon laquelle ce facteur a joué un rôle de premier plan dans l'évolution de l'industrie au Canada;
- 2- le progrès technique n'a pas été un élément vital de la croissance de la PTF avec une contribution moyenne atteignant environ 10%;
- 3- les écarts par rapport à l'équilibre de long terme ont eu un impact négatif sur la croissance nuisant ainsi à l'augmentation de la PTF;
- 4- la réglementation n'a pas contribué en général de façon substantielle à la PTF. En effet, si nous excluons l'impact de 1968 à 1975, ce facteur n'a que très peu modifié la structure de l'indice.

5.2.5 Elasticités de substitution entre les facteurs

Afin de compléter l'analyse de toute l'information pouvant être extraite de la fonction de coût, nous avons calculé les élasticités de substitution entre les facteurs de production. Dans un premier temps, nous avons utilisé les équations (3.35) et (2.29) dans le but de comparer les élasticités de substitution entre L et E sous l'hypothèse d'équilibre partiel par rapport aux élasticités calculées au niveau optimal du facteur quasi-fixe. Ces résultats sont présentés au tableau 5.10. Nous concluons dans les deux cas que le travail et l'énergie sont de bons substituts.

D'autre part, nous avons calculé les élasticités partielles de substitution entre le capital et les facteurs variables au tableau 5.11. A l'instar de la plupart des résultats obtenus pour les industries réglementées, nous remarquons que le travail et le capital sont de bons substitués. Par contre, nous observons des modifications entre le capital et l'énergie. Ces deux facteurs sont graduellement devenus de très mauvais substitués. En particulier, les événements du début des années 70 associés à la crise énergétique semblent avoir considérablement modifié la structure de substitution entre ces facteurs.

Tableau 5.10 Elasticités de substitution entre le travail et l'énergie

Année	Eq. partiel	Eq. statique	Année	Eq. partiel	Eq. statique
1945	1.1337	0.5669	1964	1.1789	0.9329
1946	1.1476	0.6955	1965	1.1895	0.9859
1947	1.1294	0.5330	1966	1.1899	0.8785
1948	1.1255	0.8972	1967	1.1938	0.9698
1949	1.1328	0.4973	1968	1.1839	0.7573
1950	1.1405	0.7181	1969	1.1972	0.7666
1951	1.1613	0.8144	1970	1.1969	0.7948
1952	1.1542	0.7751	1971	1.2201	0.9015
1953	1.1425	0.7418	1972	1.2002	0.9295
1954	1.1467	0.8458	1973	1.2096	0.9109
1955	1.1575	0.9350	1974	1.2305	0.9173
1956	1.1612	0.9714	1975	1.1753	0.8534
1957	1.1561	0.9432	1976	1.1192	0.7950
1958	1.1659	0.9484	1977	1.0889	0.7137
1959	1.1847	0.9626	1978	1.0905	0.8252
1960	1.2203	0.9583	1979	1.0764	0.6844
1961	1.2534	1.0988	1980	1.0809	0.6708
1962	1.2260	0.9678	1981	1.0697	0.7000
1963	1.2108	0.9840	1982	1.0720	0.7792

Tableau 5.11 Elasticités de substitution entre le capital et les facteurs variables (eq. statique).

Année	σ_{kl}	σ_{ke}	Année	σ_{kl}	σ_{ke}
1945	1.1449	1.0335	1964	0.7235	0.5616
1946	1.2656	1.0034	1965	0.7366	0.5543
1947	1.5003	1.5443	1966	0.6780	0.6146
1948	1.4299	1.3095	1967	0.6940	0.5872
1949	1.1715	1.2705	1968	0.5246	0.6296
1950	1.1534	0.9456	1969	0.4961	0.6531
1951	0.9424	0.6387	1970	0.5055	0.6147
1952	0.9281	0.6405	1971	0.6157	0.5860
1953	0.8403	0.4619	1972	0.6811	0.4983
1954	0.9325	0.6140	1973	0.6749	0.4982
1955	0.8765	0.5847	1974	0.6699	0.5189
1956	0.8478	0.5479	1975	0.6744	0.3603
1957	0.8219	0.5592	1976	0.6693	0.1556
1958	0.7995	0.5807	1977	0.6421	-0.0184
1959	0.7576	0.6299	1978	0.7288	-0.0746
1960	0.7294	0.7097	1979	0.6327	-0.0853
1961	0.7869	0.6387	1980	0.6170	-0.0613
1962	0.7216	0.6751	1981	0.6541	-0.1716
1963	0.7449	0.6045	1982	0.7071	-0.2177

Tableau A.1 Electricité générée et capacité des centrales thermiques

Année	Electricité générée (000,000 Kwh)			Ratios importants		Indice de la Production
	Therm.	Hydro (1)	Total	Pct/Psp	Pct/Pctt	
1944	420.2	17687.0	18107.2	0.0232	0.4682	1.0000
1945	405.0	17587.9	17992.9	0.0225	0.4454	0.9638
1946	434.5	18593.5	19028.0	0.0228	0.4604	1.0340
1947	437.9	19059.3	19497.2	0.0246	0.4230	1.0421
1948	484.7	17684.3	18133.0	0.0267	0.4016	1.1535
1949	607.4	18286.4	18893.8	0.0321	0.4177	1.4455
1950	653.1	19444.3	20097.4	0.0325	0.4061	1.5543
1951	643.6	20878.0	21521.6	0.0299	0.3830	1.5317
1952	523.1	22651.7	23174.8	0.0226	0.3256	1.2449
1953	610.2	23660.7	24270.9	0.0251	0.3414	1.4522
1954	617.4	22936.0	23553.4	0.0262	0.3082	1.4693
1955	1024.0	23525.5	24549.5	0.0417	0.2983	2.4369
1956	1111.7	24661.1	25772.8	0.0431	0.2525	2.6456
1957	1597.9	24808.5	26406.4	0.0605	0.2914	3.8027
1958	1538.8	27585.7	29124.5	0.0528	0.3218	3.6621
1959	2025.8	27627.7	29653.5	0.0683	0.3836	4.8210
1960	2264.3	28962.8	31227.0	0.0725	0.3854	5.3886
1961	2493.3	27155.5	29648.8	0.0841	0.3530	5.9636
1962 ²	2699.5	22680.8	25380.3	0.1064	0.2511	6.4243
1963 ²	3059.6	8445.1	11504.7	0.2659	0.1988	7.2813
1964	3770.5	8864.5	12635.0	0.2984	0.2093	8.9731
1965	4184.2	9133.4	13317.5	0.3142	0.1808	9.9576
1966	4470.9	12342.6	16813.5	0.2659	0.1853	10.6399
1967	4456.9	12025.5	16482.4	0.2704	0.1558	10.6066
1968	5531.1	12277.9	17809.0	0.3106	0.1512	13.1630
1969	6252.7	12702.1	18954.8	0.3299	0.1695	14.8803
1970	7342.2	13181.6	20523.8	0.3577	0.1705	17.4731
1971	8196.9	12870.9	21067.8	0.3891	0.1619	19.5071
1972	9270.5	20226.5	29497.0	0.3143	0.1693	22.0621
1973	8559.1	26017.6	34576.7	0.2475	0.1332	20.3691
1974	9136.4	34601.0	43737.4	0.2089	0.1445	21.7430
1975	10038.2	40766.8	50804.9	0.1976	0.1534	23.8891
1976 ³	11305.0	46968.2	58273.2	0.1940	0.1509	26.9037
1977 ³	12035.2	51307.8	63343.0	0.1900	0.1333	28.6416
1978 ³	13557.8	54916.0	68473.8	0.1980	0.1428	32.2651
1979 ³	10838.4	47432.8	58271.2	0.1860	0.1065	25.7934
1980 ³	11525.5	49134.8	60660.3	0.1900	0.1066	27.4286
1981 ³	12274.1	50994.6	63268.7	0.1940	0.1132	29.2101
1982 ³	14957.5	60585.3	75542.8	0.1980	0.1320	35.5961

1

2

3

4

5

6

Tableau A.1 (suite)

Année	Capacité (000 Kw)						Ratio
	Therm.	E/C(%)	Hydro(1)	E/C(%)	Total	E/C(%)	Cct/Ctot
1944	165.2	29.0	3641.8	56.0	3807.0	54.9	0.0201
1945	163.9	28.2	3588.3	56.0	3752.2	54.9	0.0201
1946	164.7	30.1	3593.0	59.1	3757.7	57.9	0.0199
1947	151.9	32.9	3407.2	64.0	3559.1	68.8	0.0187
1948	179.2	30.9	3455.1	58.3	3634.3	56.6	0.0211
1949	205.4	33.8	3688.9	56.6	3894.3	55.5	0.0226
1950	208.6	35.7	3821.1	58.1	4029.7	56.0	0.0210
1951	255.5	28.8	4017.4	59.3	4272.9	57.5	0.0237
1952	243.1	24.6	4239.0	59.7	4572.1	57.9	0.0206
1953	253.7	27.5	4678.6	57.7	4932.3	56.2	0.0194
1954	286.3	24.6	4524.5	57.9	4810.8	55.9	0.0206
1955	391.9	29.8	4600.6	58.4	4992.5	56.1	0.0274
1956	452.9	28.0	4676.6	60.2	5129.5	57.4	0.0286
1957	495.3	36.8	4929.6	57.5	5424.9	55.6	0.0288
1958	543.9	32.3	4757.4	66.2	5301.3	62.7	0.0293
1959	709.8	32.5	5014.1	62.9	5723.9	59.1	0.0336
1960	714.8	36.2	5171.3	63.9	5886.1	60.6	0.0310
1961	723.7	39.3	5203.4	59.6	5927.1	57.1	0.0300
1962 ²	739.2	41.7	4303.3	60.2	5024.5	57.5	0.0296
1963 ²	754.3	46.3	1805.0	53.4	2559.3	51.3	0.0287
1964	813.3	52.9	1777.8	56.9	2591.1	55.7	0.0301
1965	915.9	52.2	2088.8	49.9	3004.7	50.6	0.0312
1966	980.9	57.9	2412.9	58.4	3293.8	58.6	0.0286
1967	1167.4	43.6	2591.6	53.0	3759.0	50.1	0.0354
1968	1198.3	52.7	2647.5	52.7	3845.8	56.3	0.0334
1969	1344.7	53.1	2653.1	54.7	3997.8	54.1	0.0340
1970	1655.8	50.6	2653.0	56.7	4308.8	54.4	0.0387
1971	1674.0	55.9	3603.2	40.8	5277.2	45.6	0.0359
1972	1788.7	59.2	4654.9	49.6	6443.6	52.3	0.0358
1973	1887.6	51.8	5693.9	52.2	7581.5	52.1	0.0347
1974	1894.4	55.1	7600.9	52.0	9495.3	52.6	0.0329
1975	2085.4	54.9	7555.4	61.6	9640.8	60.2	0.0340
1976 ³	2296.3	56.2	7072.1	57.3	9368.4	57.0	0.0348
1977 ³	2406.1	57.1	8070.4	57.4	10476.5	57.3	0.0341
1978 ³	2668.4	58.0	8916.3	57.5	11584.7	57.6	0.0363
1979 ³	2170.6	57.0	9061.3	57.1	11231.9	57.1	0.0281
1980 ³	2196.5	59.9	9314.3	57.7	11510.8	58.1	0.0268
1981 ³	2304.5	60.8	9313.5	57.7	11618.0	58.3	0.0275
1982 ³	2767.4	61.7	9287.6	57.8	12055.0	58.7	0.0324

7

8

9

10

11

12

13

Tableau A.1 (suite et fin)

SOURCE: Stat. Can., 57-202: 1@3, 7 @ 12: 1944-45 : tableau 14
1946-52 : tableau 12
1953 : tableau 10
1954 : tableau 9

1@3 : 1955-60 : tableau 3
1961-75 : tableau 2

7-9-11 : 1955-60 : tableau 2
1961-75 : tableau 1

NOTES: (1) Nous avons modifié les observations de 1944 à 1955 afin de prendre en considération la modification du champ d'observation en 1956. Sur la base des comparaisons publiées par Statistique Canada (57-202, 1956, tableau 1), la production et la capacité ont été divisé dans un rapport 70-30 pour les services privés et les établissements industriels respectivement.

(2) Des changements importants sont survenus dans la production et la capacité des centrales hydroélectriques en raison de la nationalisation de l'industrie en Colombie-Britannique en 1962 et au Québec en 1963.

(3) Les données selon le genre de propriété n'étant plus publiées à partir de 1976, nous avons évalué les observations par extrapolation.

Tableau A.2 Formation de la série de quantité du capital

Année	Investissements bruts			Indices de prix		Série de capital		
	Const.	Mac.-out	Total	Const.	Mac.-out.	Const. (1)	Mac.-out (2)	Total
	(000,000)\$			(1971 = 100)		(000,000)\$ de 1971		
1944 ³	N/D	N/D	N/D	31.3	60.2	2256.0	477.7	2733.8
1945	N/D	N/D	N/D	31.5	57.9	2249.2	462.2	2711.4
1946	N/D	N/D	N/D	33.4	57.0	2302.7	450.2	2752.9
1947	N/D	N/D	N/D	39.1	67.7	2411.3	463.1	2874.4
1948	N/D	N/D	N/D	44.3	72.7	2608.8	512.1	3120.9
1949	N/D	N/D	N/D	46.2	74.5	2930.8	596.9	3527.7
1950	N/D	N/D	N/D	48.5	81.8	3319.5	705.6	4025.1
1951	N/D	N/D	N/D	53.9	90.2	3740.7	824.0	4564.7
1952 ³	N/D	N/D	N/D	57.5	89.7	4225.1	956.2	5181.3
1953	348.0	186.8	534.8	59.2	91.5	4707.3	1112.6	5819.9
1954	287.9	159.2	447.1	58.4	91.9	5082.6	1230.2	6312.8
1955	307.0	137.8	444.8	59.8	94.2	5468.9	1315.0	6783.9
1956	449.4	201.0	650.4	62.8	102.5	6047.8	1445.3	7493.1
1957	559.8	247.1	806.9	63.5	106.3	6778.2	1605.5	8383.7
1958	496.3	186.7	683.0	63.6	94.9	7389.0	1721.9	9110.9
1959	387.4	189.4	576.8	64.7	98.7	7803.1	1827.7	9630.8
1960	371.3	163.9	535.2	65.3	92.7	8176.6	1913.1	10089.7
1961	412.9	159.4	572.3	64.9	80.1	8608.4	2016.4	10624.8
1962	440.7	144.9	585.6	66.5	84.8	9055.9	2086.5	11142.4
1963	459.0	156.3	615.3	68.4	86.0	9500.6	2163.9	11664.5
1964	588.0	166.6	754.6	70.2	89.7	10100.7	2241.4	12342.1
1965	727.2	215.3	942.5	73.7	94.0	10834.9	2358.3	13193.2
1966	786.4	361.5	1147.9	78.1	96.5	11570.9	2615.0	14185.9
1967	875.3	396.7	1272.0	81.7	92.2	12353.0	2914.5	15267.5
1968	888.4	449.8	1338.2	84.5	85.5	13095.6	3294.9	16370.5
1969	856.1	554.8	1410.9	89.6	85.0	13723.7	3782.9	17506.6
1970	1057.4	561.5	1618.9	95.6	95.7	14486.7	4180.5	18667.2
1971	1079.1	678.5	1757.6	100.0	100.0	15203.6	4650.0	19853.6
1972	1135.2	628.3	1763.5	106.4	101.5	15890.4	5036.5	20926.9
1973	1416.7	840.1	2256.8	116.6	105.6	16708.1	5580.2	22288.3
1974	1699.5	1069.9	2769.4	139.1	122.3	17512.2	6176.0	23688.2
1975	2660.8	1316.4	3977.2	159.0	146.1	18747.9	6769.0	25516.9
1976	2654.2	1598.6	4252.8	172.7	154.7	19816.1	7463.9	27280.0
1977	3158.1	1752.1	4910.2	184.1	168.2	21036.1	8132.4	29168.5
1978	3760.9	2208.7	5969.6	198.0	188.4	22409.6	8898.1	31307.7
1979	4120.6	2277.5	6398.1	218.9	206.6	23731.8	9555.6	33287.4
1980	3997.9	2145.6	6143.5	244.2	225.8	24775.6	10028.0	34803.6
1981	4414.3	2949.2	7363.5	273.9	251.4	25767.8	10699.7	36467.5
1982	5291.3	3320.7	8612.0	295.7	272.8	26913.0	11382.0	38295.0

14

15

16

17

18

19

20

21

Tableau A.2 (suite et fin)

SOURCE: Stat. Can., 61-205 : 14 @ 16 : 1953-59 : tableau 3
1960-82 : tableau 4

Stat. Can., 13-568 : 2e édition : 17-18 : p. 267.

NOTES: (1) Comprend les bâtiments et les travaux de génie.

(2) Comprend les machines, outillages et autres biens-capitaux.

(3) Les séries de 1944 à 1952 ont été construites à partir de données publiées par Statistiques Canada (13-568, pp. 183-187) pour l'industrie de l'énergie électrique et l'industrie de distribution du gaz combinées. Nous avons établi la part du capital de l'industrie électrique en examinant la proportion des investissements dans chacune des industries entre 1953 et 1982. Ainsi, nous avons posé que l'industrie de l'énergie électrique compte pour 92% de capital en construction et 95.9% du capital en machinerie et outillage.

Tableau A.3 Prix du capital et taux de rendement permis

Structure comptable (en millions de dollars)								
Année	DLT (1)	Capital	Sur- plus	Equité	DLT + EQ	DLT DLT+EQ	EQ DLT+EQ	Bénéfice net
						%	%	
1944	420.4	343.0	88.7	431.7	852.1	49	51	33.6
1945	410.2	327.6	94.4	422.0	832.2	49	51	31.3
1946	400.0	360.6	61.0	421.6	821.6	49	51	31.7
1947	416.1	367.3	66.3	433.6	849.7	49	51	30.9
1948	468.4	369.7	74.9	444.6	913.0	51	49	29.0
1949	465.2	343.8	65.1	408.9	874.1	53	47	28.1
1950	496.4	355.5	65.6	421.1	917.5	54	46	31.4
1951	513.7	364.5	72.1	436.6	950.3	54	46	36.1
1952	503.8	357.6	83.7	441.3	945.1	53	47	36.8
1953	545.8	413.4	87.2	500.6	1046.4	52	48	44.9
1954	545.7	422.3	100.9	523.2	1068.9	51	49	40.9
1955	590.9	466.2	123.0	589.2	1180.1	50	50	45.7
1956	644.6	484.2	116.3	600.8	1245.4	52	48	48.2
1957	778.7	535.5	144.7	680.2	1458.9	53	47	52.2
1958	831.4	551.1	166.8	717.9	1549.3	54	46	55.3
1959	887.5	566.7	187.1	753.8	1641.3	54	46	57.6
1960	900.6	570.6	208.7	779.3	1679.9	54	46	58.3
1961	1121.7	359.1	282.0	641.1	1762.8	64	36	61.4
1962	520.4	363.8	241.7	605.5	1125.9	46	54	47.7
1963	312.4	159.8	141.6	301.4	613.8	51	49	25.0
1964	311.1	135.1	135.4	270.5	581.6	53	47	21.3
1965	331.1	138.0	134.8	272.8	603.9	55	45	22.9
1966	324.8	174.6	159.1	333.7	658.5	49	51	25.6
1967	362.6	204.6	170.8	375.4	738.0	49	51	30.8
1968	397.6	261.9	181.1	443.0	840.6	47	53	32.7
1969	549.6	261.3	198.2	459.5	1009.1	54	46	34.3
1970	775.3	270.3	207.9	478.2	1253.5	62	38	37.0
1971	985.9	270.6	198.0	488.6	1474.5	67	33	42.6
1972	1150.4	268.1	260.1	528.2	1678.6	69	31	51.5
1973	1142.3	284.6	240.3	524.9	1667.6	69	31	55.9
1974	1228.8	327.8	292.1	619.9	1848.7	67	33	73.5
1975	1247.1	412.0	342.6	754.6	2001.7	62	38	102.5
1976	1358.5	564.1	402.2	966.3	2324.8	58	42	105.0
1977	1427.7	692.8	448.7	1141.5	2569.2	56	44	137.3
1978	1430.3	791.4	506.1	1297.5	2727.8	52	48	167.8
1979	858.3	770.3	457.2	1227.5	2086.0	41	59	155.8
1980	973.9	1093.7	518.0	1611.7	2086.0	38	62	175.3
1981	1171.0	1319.1	515.0	1934.1	310.1	38	62	231.1
1982	1516.5	1541.8	747.5	2289.3	3805.8	40	60	278.0
	23	24	25	26	27	28	29	30

Tableau A.3 (suite)

Année	Taux intérêt dette	Taux rend. Equité(2)	Taux composé (3)	Taux rend. permis	Prix du capital	Indice du rendement permis
	(en pourcentage)					
1944	3.45	2.59	3.01	7.78	0.089	1.0000
1945	3.40	2.55	2.97	7.46	0.088	0.9589
1946	3.35	2.51	2.92	7.52	0.091	0.9666
1947	3.25	2.44	2.84	7.13	0.105	0.9165
1948	3.24	2.43	2.84	6.52	0.118	0.8380
1949	3.23	2.42	2.85	6.87	0.123	0.8830
1950	3.19	2.39	2.82	7.46	0.132	0.9589
1951	3.22	2.42	2.85	8.27	0.146	1.0630
1952	3.32	2.49	2.92	8.34	0.154	1.0720
1953	3.43	2.57	3.02	8.97	0.161	1.1273
1954	3.50	2.63	3.07	7.82	0.160	1.0051
1955	3.57	2.68	3.13	7.76	0.165	0.9974
1956	3.69	2.77	3.25	8.02	0.177	1.0308
1957	3.94	2.96	3.48	7.67	0.185	0.9859
1958	4.08	3.06	3.61	7.70	0.182	0.9897
1959	4.35	3.26	3.85	7.64	0.191	0.9820
1960	4.58	3.44	4.02	7.48	0.194	0.9614
1961	4.74	3.56	4.32	9.58	0.193	1.2314
1962	4.86	3.65	4.21	7.88	0.197	1.0129
1963	4.97	3.73	4.36	8.29	0.205	1.0656
1964	5.13	3.85	4.53	7.87	0.214	1.0116
1965	5.32	3.99	4.72	8.39	0.229	1.0784
1966	5.57	4.18	4.86	7.67	0.245	0.9859
1967	5.74	4.31	5.01	8.20	0.255	1.0540
1968	6.03	4.52	5.23	7.38	0.264	0.9486
1969	6.29	4.72	5.57	7.46	0.284	0.9589
1970	6.65	4.99	6.02	7.74	0.318	0.9949
1971	6.94	5.21	6.37	8.72	0.342	1.1208
1972	7.24	5.43	6.68	9.75	0.369	1.2532
1973	7.54	5.66	6.96	10.65	0.409	1.3689
1974	8.01	6.01	7.35	11.86	0.498	1.5244
1975	8.52	6.39	7.71	13.58	0.588	1.7455
1976	8.92	6.69	7.98	10.87	0.647	1.3972
1977	9.19	6.89	8.18	12.03	0.701	1.5463
1978	9.41	7.06	8.28	12.93	0.764	1.6620
1979	9.73	7.30	8.30	12.69	0.843	1.6311
1980	10.05	7.54	8.49	10.88	0.949	1.3985
1981	10.85	8.14	9.17	11.95	1.111	1.5360
1982	11.60	8.70	9.86	12.14	1.254	1.5604
	31	32	33	34	35	36

Tableau A.3 (suite et fin)

SOURCE: Ministère du Revenu , Taxation Statistics:

23 @ 25,30 : 1944-46 : tableau G	1953 : tableau 7
1947-50 : tableau H	1954 : tableau 6
1951-52 : tableau B	1955 : tableau 4

Statistique Canada, 57-202:

23 @ 25 : 1956-59 : tableau 14	1964-80 : tableau 13
1960 : tableau 13	1981-82 : tableau 9
1961-63 : tableau 12	
30 : 1956-59 : tableau 15	1964-80 : tableau 14
1960 : tableau 14	1981-82 : tableau 10
1961-63 : tableau 13	

Banque du Canada, Revue Mensuelle:

31 : 1978-82 : tableau 20

Statistique Canada, 11-516:

31 : 1944-82 : série J-479

NOTES: (1) Dette à long terme

(2) Correspond à 75% du taux sur la dette. Ce ratio est basé sur la correspondance historique entre le taux d'intérêt en vigueur et la dividende versé (voir Moody's Public Utility Manual)

$$(3) \text{ Taux composé} = \frac{(28) \times (31)}{100} \quad / \quad \frac{(29) \times (32)}{100}$$

Tableau A.4 Heures travaillées et rémunération de la main-d'oeuvre

Année	Production(1)		Administration		Total			
	Nombre	hrs/sem.	Nombre	hrs/sem	Nombre	mas.	H-H	Taux
		(2)		(3)		sal.	(4)	horaire
						(000)\$	(000)	\$
1944	4879	47.9	2677	44.2	9182	16809	17601.4	0.955
1945	5045	47.8	2674	44.1	9401	17046	17953.8	0.949
1946	5487	47.0	2933	43.3	10249	18756	19244.4	0.975
1947	5680	46.8	2997	43.2	10570	23071	19764.7	1.167
1948	6251	46.5	3225	42.9	11559	26850	21451.2	1.252
1949	6352	46.5	3502	42.9	11971	26026	22280.2	1.213
1950	5973	44.3	3637	40.9	11601	29736	20667.9	1.439
1951	5739	44.0	4082	40.6	11734	33234	20912.3	1.589
1952	5921	42.6	4540	39.3	12534	38521	21532.8	1.789
1953	6018	41.2	4785	38.0	12809	36080	21488.6	1.679
1954	6150	41.2	4351	38.0	10501	36785	20935.9	1.757
1955	6253	40.9	4415	37.7	10668	39395	21109.7	1.866
1956	6368	40.8	4303	37.6	10671	41608	21080.3	1.974
1957	6426	40.7	4290	37.5	10716	43532	21120.7	2.061
1958	6437	40.5	4808	37.4	11245	48003	22025.9	2.179
1959	5997	40.0	4758	36.9	10755	49284	20772.5	2.373
1960	6147	40.3	4353	37.2	10500	49221	20958.8	2.348
1961	6045	40.4	4460	37.3	10505	51588	20528.8	2.513
1962	5574	40.2	3852	37.1	9426	47061	18349.2	2.565
1963	3212	40.1	1364	37.0	4556	22889	8963.5	2.554
1964	2928	40.1	1333	37.0	4261	21775	8336.7	2.612
1965	2915	40.2	1386	37.1	4101	22522	8028.2	2.805
1966	3059	40.0	1462	36.9	4521	25765	8815.4	2.923
1967	3206	39.8	1460	36.7	4666	29428	9054.0	3.250
1968	2788	39.8	1470	36.7	4258	28231	8245.5	3.424
1969	2751	39.9	1461	36.8	4212	30778	8176.4	3.764
1970	2770	39.9	1485	36.8	4255	34347	8258.6	4.159
1971	2717	39.8	1483	36.7	4200	34818	8128.1	4.284
1972	2771	39.8	1536	36.7	4307	38713	8332.9	4.646
1973	2314	39.8	1209	36.7	3523	35186	6823.4	5.517
1974	2720	39.7	1246	36.6	3966	45777	7679.4	5.961
1975	2758	39.7	1334	36.5	4092	53116	7909.2	6.716
1976	2701 ^a	39.5	1445 ^a	36.5	4156	62452	7989.9	7.816
1977	2987 ^a	39.5	1608 ^a	36.4	4595	71875	8825.9	8.144
1978	2935 ^a	39.5	1580 ^a	36.4	4515	77974	8672.2	8.995
1979	3342 ^a	39.5	1800 ^a	36.3	5142	99965	9921.4	10.076
1980	3387 ^a	39.4	1823 ^a	36.3	5210	113718	9981.1	11.393
1981	3521 ^a	39.2	1896 ^a	36.2	5417	132846	10333.0	12.857
1982	3057 ^a	39.0	1646 ^a	36.2	4703	127536	8940.5	14.265
	37	38	39	40	41	42	43	44

SOURCE: Stat. Can., 57-202 : 37-39-41 : 1944-45 : tableau 7
 1946-51 : tableau 6
 1952-53 : tableau 7
 1954 : tableau 6
 42 : 1944-45 : tableau 6
 1946-51 : tableau 5
 1952-53 : tableau 4
 1954 : tableau 3
 37-39-41-42 : 1955 : tableau 11
 1956-59 : tableau 13
 1960 : tableau 12
 1961-63 : tableau 11
 1964-80 : tableau 12
 1981-82 : tableau 18

Travail Canada, Taux de Salaire, Traitements et heures de travail:

38-40 : 1944 : tableau XI(1)	1959-65 : tableau 88
1945-52 : tableau V(15)	1966-69 : tableau 91
1953-54 : tableau XIII	1970-73 : tableau 92
1955 : tableau 89	1974-82 : tableau 13
1956-58 : tableau 92	

NOTES: (1) 1944-53: comprend les ouvriers affectés à la construction. Statistique Canada ayant abandonné cette comptabilisation à partir de 1954, nous avons ajusté les observations de 1944 à 1953 sur la base de la comparaison entre 1953 et 1954.

(2) 1944-73 : moyenne pour l'industrie des services privés et publics.

1974-82 : moyenne pour l'ensemble des industries de services.

(3) Données disponibles à partir de 1975 seulement. Les moyennes de 1944 à 1974 ont été estimées à partir du rapport moyen de (38) et (40) entre 1975 et 1982 et en posant ce rapport constant ($\mu = 0.9223$, $\sigma = 0.003$).

(4) Heures-Hommes travaillées = moyennes/semaine X 50 semaines X nombre d'employés.

(5) Estimées à partir du rapport (37)/(39) entre 1944 et 1975.

Tableau A.5 Consommation et prix de l'énergie

Année	Charbon							
	Bitumineux				Sous- Bitumineux		Lignite	
	Canadien (1)		Importé		Q (tonnes)	C.Ener. (BTU)	Q (tonnes)	C.Enr. (BTU)
	Q(ton- nes)	C.Ener. (BTU)	Q(ton- nes)	C.Ener. (BTU)				
(000)	(par lb)	(000)	(par lb)	(000)	(par lb)	(000)	(par lb)	
1944	527.8	11957	0.7	12812	-	-	257.6	6623
1945	543.7	11957	0.6	12812	-	-	251.1	6623
1946	559.6	11957	5.1	12812	-	-	218.1	6623
1947	584.6	11957	10.8	12812	-	-	224.5	6623
1948	855.0	11957	27.2	12812	-	-	69.0	6623
1949	1026.9	11957	61.6	12812	-	-	63.9	6623
1950	937.7	11957	98.7	12812	-	-	89.2	6623
1951	754.3	11957	96.1	12812	-	-	222.4	6623
1952	883.6	11957	130.0	12812	-	-	294.0	6623
1953	796.8	11957	851.8	12812	-	-	323.2	6623
1954	894.5	11957	483.1	12812	-	-	186.1	6623
1955	920.9	11957	217.1	12812	-	-	201.5	6623
1956	691.1	11608	469.4	12213	208.9	8757	225.8	6828
1957	670.2	11791	722.3	12305	281.9	8290	307.6	7001
1958	576.2	11885	316.6	12275	290.3	8272	471.9	7039
1959	569.0	12044	195.8	12168	278.9	9098	375.4	6631
1960	698.7	11996	117.9	12368	255.1	8330	774.5	6550
1961	691.7	12705	259.1	12417	232.4	8462	1070.2	6576
1962	883.2	12538	1249.2	12675	488.7	8305	1104.0	6720
1963	1068.2	12783	2392.2	13106	733.0	8187	956.8	6594
1964	1205.8	12679	2710.8	13297	1128.2	8069	1119.7	6623
1965	1461.2	12548	3553.9	13211	1522.2	8121	1184.4	6722
1966	1659.1	12788	3410.1	13281	1724.8	8060	1084.8	6640
1967	892.9	11931	4138.3	13295	1953.4	8166	1128.8	6620
1968	1720.9	12745	5349.9	13273	2537.2	8018	1490.8	6672
1969	1599.1	12818	16386.8	13108	2613.1	7975	1274.7	6528
1970	983.2	12419	18062.0	12796	3370.1	7976	2784.2	6668
1971	1059.0	12646	19256.6	12512	4060.6	7992	2837.2	6665
1972	1072.4	12232	18372.0	12708	4544.5	8019	2777.9	6610
1973	1205.7	11039	17270.2	12876	4641.6	7923	3482.6	6670
1974	1140.2	11007	17402.3	12812	5214.1	8008	3245.9	6626
1975	1420.3	10339	17331.1	12789	6039.3	7989	3475.1	6478
1976	1686.5	10294	18207.8	12779	6759.2	7955	4444.3	6581
1977	1146.0	11996	19515.8	12824	8615.2	7960	5242.1	6573
1978	974.9	11620	19902.8	12773	8827.2	8086	5067.9	6453
1979	2366.1	11487	19536.7	12828	10286.0	8116	5224.2	6407
1980	3676.1	11605	17704.3	12676	9212.5	7798	4613.4	6581
1981	4154.4	11662	18014.1	12789	9951.9	7731	5030.1	6507
1982	4089.7	11631	18715.8	12742	11496.1	7732	6141.5	6523

45

46

47

48

49

50

51

52

Tableau A.5 (suite)

Année	Produits du gaz			Produits du pétrole (3)				
	Gaz (2) fabri- qué	Gaz		Gaso- line (2)	Mazout			
		naturel	C.Enr.		Léger		Lourds	
	Q (pi ³)	Q (pi ³)	(BTU)	Q (gal- lons)	Q (gallons)	C.Enr. (BTU)	Q (gallons)	C.Enr. (BTU)
(10 ⁶)	(10 ⁶)	(/pi ³)	(000)	(000)	(gal.)	(000)	(gal.)	
1944	9634.1	1120	1016	42.5			29418	17607
1945	9636.1	2001	"	46.6			19181	"
1946	10124.0	-	"	76.3	inclus		26238	"
1947	11278.8	1356	"	46.1	dans		29705	"
1948	14242.9	1740	"	36.1	mazout lourd		30279	"
1949	13731.2	2392	"	77.3	<-----		30279	"
1950	14459.9	5293	"	73.9			36376	"
1951	10227.9	6514	"	6.7			36619	"
1952	7261.4	4766	"	10.7			35344	"
1953	8051.0	6581	"	15.6			40863	"
1954	6539.0	9585	"	82.9			45804	"
1955	1112.7	13402	"	30.1			61122	"
1956	-	16333	991	-	685	163421	34441	184254
1957	-	22126	1004	-	788	167887	29871	177369
1958	-	27896	1007	-	931	168262	43436	184300
1959	-	37808	1011	-	658	169951	51350	180094
1960	-	37941	1014	-	2154	169783	58344	180633
1961	-	41253	1015	-	2813	169932	73010	178813
1962	3032.8	43650	1010	-	7444	165348	71566	181804
1963	-	47108	1019	-	2309	164960	69846	181610
1964	-	44129	1025	-	2630	165223	107101	181742
1965	-	59601	1029	-	3359	166651	159728	180929
1966	-	64275	1025	-	6738	156914	169579	181704
1967	-	67553	1019	-	11631	168340	252859	179652
1968	-	79737	1014	-	13315	159289	388297	181048
1969	-	58848	1034	-	19914	160598	367667	181248
1970	-	70726	1014	-	39455	159178	331991	181629
1971	-	70332	1017	-	25088	160916	370215	181409
1972	-	103129	1021	-	14948	159592	358986	181490
1973	-	145554	1020	-	15188	161776	367685	181342
1974	-	120721	1018	-	9428	164149	409173	181073
1975	-	142334	1015	-	12051	163053	433425	181720
1976	-	113830	1011	-	24311	165580	614045	179543
1977	-	101253	1055	-	22617	165857	606670	179643
1978	-	83902	1007	-	12832	165578	656011	179443
1979	-	73491	998	-	13313	163507	610999	179241
1980 ^a	-	66179	1023	-	14269	165084	556629	179997
1981	-	47166	1031	-	22850	164457	371100	179752
1982	-	38704	1036	-	19909	164773	407370	179951

53

54

55

56

57

58

59

60

Tableau A.5 (suite)

Produits du pétrole (suite\fin)							
Année	Huiles diesel		Pétrole Brut		Total (4)		
	Q (gal.)	C.Ener. (BTU)	Q (gal.)	C.Ener. (BTU)	Valeur	Consomma- tion(BTU)	Prix BTU
	(000)	(gal.)	(000)	(gal.)	(000)\$	(10E12)	
1944			-	-	5444	24.79	0.220
1945			-	-	5058	24.17	0.209
1946		inclus	-	-	5592	23.57	0.237
1947		dans	-	-	6628	26.67	0.248
1948		mazout	-	-	8384	32.72	0.256
1949		lourd	-	-	10107	38.94	0.260
1950			-	-	10398	41.54	0.251
1951			-	-	10920	39.10	0.279
1952			-	-	13340	41.24	0.324
1953			-	-	19667	61.05	0.322
1954			-	-	16888	55.68	0.303
1955			-	-	17050	54.92	0.311
1956	13256	165275	23995	161996	20348	62.98	0.323
1957	10054	165000	26942	183893	23733	76.82	0.309
1958	8018	166839	-	-	19645	70.51	0.279
1959	10637	165823	-	-	19285	77.87	0.248
1960	11053	165579	157	161000	21332	85.31	0.250
1961	11118	165327	296	158487	24673	99.31	0.248
1962	10247	165236	162	166000	37237	137.58	0.271
1963	25248	165485	108	"	54388	190.02	0.302
1964	25840	164492	222	"	60515	205.13	0.295
1965	27167	164765	288	"	77529	266.53	0.291
1966	32831	164671	236	"	80206	278.48	0.288
1967	32154	164423	230	"	97113	323.60	0.300
1968	32512	165214	189	"	116098	405.14	0.287
1969	33719	164575	262	"	119571	403.04	0.297
1970	37099	164481	367	"	139879	466.10	0.300
1971	33928	164396	1214	"	175290	509655	0.344
1972	38020	164504	738	"	187381	527.84	0.355
1973	40741	164223	2310	"	201164	558.52	0.360
1974	490.5	164587	202	"	259066	547.93	0.473
1975	59149	163218	133	"	402822	593.18	0.679
1976	59718	164486	-	-	607726	649.71	0.935
1977	49874	163437	-	-	757691	700.27	0.082
1978	46048	163280	-	-	837430	695.64	1.204
1979	45132	163183	-	-	978593	725.36	1.349
1980	59728	161589	-	-	1155901	665.94	1.736
1981	41655	163449	-	-	1325190	665.94	2.048
1982	42227	163955	-	-	1590614	698.75	2.276

61

62

63

64

65

66

67

Tableau A.6 Indices des prix et des quantités utilisées dans les centrales thermiques (1944=1)

Année	Déflateur IPG(1)	Indices de prix (en termes réels)			Indices de quantités		
		K	L	E	K	L	E
1944	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
1945	1.0320	0.9577	0.9634	0.9226	0.9900	0.9894	0.9282
1946	1.0580	0.9650	0.9646	1.0202	0.9944	1.0758	0.9357
1947	1.1110	1.0681	1.1002	1.0179	1.9777	1.0868	0.9727
1948	1.1800	1.1275	1.1107	0.9898	1.1966	1.4038	1.1309
1949	1.2470	1.1118	1.0186	0.9492	1.4502	1.7536	1.3995
1950	1.3260	1.1250	1.1362	0.8608	1.5357	1.6443	1.4516
1951	1.4220	1.1520	1.1703	1.9706	1.5311	1.2898	1.2898
1952	1.5090	1.1500	1.2414	0.9775	1.9359	1.1899	1.1555
1953	1.5950	1.1328	1.1023	0.9193	2.0560	1.3226	1.7965
1954	1.6810	1.0721	1.0945	0.8217	2.3661	1.3435	1.4786
1955	1.7640	1.0532	1.1078	0.8020	3.3767	2.1557	1.4105
1956	1.8260	1.0918	1.1319	0.8058	3.8927	2.2261	1.3698
1957	1.8570	1.1194	1.1622	0.7581	4.3974	3.1289	1.9276
1958	1.8840	1.0900	1.2113	0.6738	4.8545	2.8491	1.9539
1959	1.9020	1.1322	1.3062	0.5929	5.8878	3.4742	2.5736
1960	1.8950	1.1537	1.2977	0.6012	5.6924	3.7206	2.8316
1961	1.8890	1.1485	1.3930	0.5992	5.8028	4.2265	3.0191
1962	1.9050	1.1612	1.4098	0.6471	5.9979	4.7781	2.9752
1963	1.9290	1.1942	1.3862	0.7136	6.0823	5.8360	3.0822
1964	1.9510	1.2361	1.4019	0.6889	6.7524	6.0907	3.6965
1965	1.9710	1.3081	1.4904	0.6724	7.4861	6.1752	4.1486
1966	1.9990	1.3773	1.5310	0.6563	7.3850	5.7389	4.4442
1967	2.0320	1.4142	1.6728	0.6728	9.8300	5.9938	4.3434
1968	2.0670	1.4384	1.7345	0.6361	9.4445	6.2696	5.2768
1969	2.1130	1.5167	1.8655	0.6397	10.8105	6.6033	5.8845
1970	2.1610	1.6577	2.0153	0.6326	13.1222	7.2331	6.8425
1971	2.2060	1.7444	2.0334	0.7102	12.9458	7.7423	7.1049
1972	2.2610	1.8379	2.1516	0.7153	13.6266	6.4116	7.6933
1973	2.3620	1.9466	2.2861	0.6947	14.0670	4.1352	6.4050
1974	2.5130	2.2291	2.4839	0.8571	14.1820	3.9273	6.8205
1975	2.6780	2.4732	2.6260	1.1551	15.7693	3.8259	7.8383
1976	2.8640	2.5415	2.8578	1.4878	17.2583	3.7948	8.4416
1977	3.0780	2.5625	2.7705	1.6013	18.0800	4.1055	8.0425
1978	3.3210	2.5892	1.6514	1.6514	20.6633	4.2038	8.5576
1979	3.6260	2.6183	2.9097	1.6948	17.0104	4.5179	6.6553
1980	4.0070	2.6661	2.9794	1.9734	16.9500	4.6428	6.1118
1981	4.4410	2.8161	3.0314	2.1007	18.2449	4.9077	6.3078
1982	4.8730	2.8969	3.0653	2.1279	22.5234	4.3339	7.9453

68

69

70

71

72

73

74

Tableau A.6 (suite et fin)

SOURCE: Stat. Can., 11-516F : 68: 1944-1975 : série K-33

Banque du Canada, Revue Mensuelle : 68 : 1976-82 : tableau 63.

NOTE: (1) Indice des prix de gros basé sur une moyenne mobile.

Tableau A.7 Parts des facteurs de production et coûts totaux
dans les centrales thermiques

Année	Coûts (en termes réels)		Parts des facteurs dans les coûts				
	CVT(1)	CT(2)	Parts dans CVT		Parts dans CT		
			L	E	K	L	E
1944	1.0000	1.0000	.1327	.8673	.5278	.0627	.4095
1945	0.9098	0.8692	.1455	.8545	.5488	.0657	.3855
1946	0.9339	0.9657	.1426	.8574	.5117	.0696	.4187
1947	0.9338	1.1074	.1560	.8440	.4856	.0802	.4342
1948	1.0870	1.1778	.1757	.8243	.4884	.0899	.4217
1949	1.1725	1.3892	.1707	.8293	.4406	.0955	.4640
1950	1.1293	1.3316	.1862	.8138	.4432	.1037	.4531
1951	1.1468	1.2386	.1920	.8080	.4900	.0979	.4121
1952	1.0283	1.1756	.1668	.8332	.4601	.0900	.4498
1953	1.2544	1.6558	.1190	.8810	.3880	.0728	.5392
1954	1.1396	1.2488	.1563	.8437	.4825	.0809	.4366
1955	1.3807	1.2981	.2442	.7558	.5561	.1084	.3355
1956	1.5015	1.2917	.2589	.7411	.5938	.1052	.3010
1957	1.9140	1.7500	.2758	.5683	.1191	.1191	.3127
1958	2.0507	1.5998	.2863	.7137	.6361	.1055	.2629
1959	2.5941	1.9257	.3128	.6872	.6495	.1096	.2409
1960	2.7309	2.1172	.3027	.6973	.5339	.1108	.2553
1961	2.8998	2.3504	.3325	.6675	.6288	.1234	.2478
1962	2.6231	2.5639	.3487	.6513	.5385	.1609	.3006
1963	2.9579	2.9812	.3602	.6398	.5241	.1714	.3045
1964	3.1473	3.3419	.3391	.6609	.4986	.1700	.3314
1965	3.3119	3.6408	.3355	.6645	.4809	.1742	.3449
1966	3.2713	3.6958	.3155	.6845	.4665	.1683	.3651
1967	3.8130	3.8668	.3446	.6554	.5211	.1650	.3139
1968	4.3339	4.3339	.3330	.6670	.5278	.1573	.3149
1969	5.3205	4.8995	.3337	.6663	.5622	.1451	.2897
1970	7.0342	5.6890	.3401	.6499	.1681	.1299	.2520
1971	7.3255	6.4656	.3232	.6768	.5832	.1347	.2821
1972	7.3844	6.6037	.2773	.7227	.5777	.1171	.3052
1973	6.1452	5.1135	.2454	.7546	.6071	.0964	.2965
1974	6.2253	6.3649	.2034	.7966	.5172	.0982	.3846
1975	7.9841	9.1860	.1462	.8548	.0789	.4467	.4644
1976	10.4101	12.3321	.1167	.8833	.4406	.0653	.4941
1977	10.4760	12.6788	.1191	.8809	.4285	.0608	.5034
1978	11.0029	13.8371	.1142	.8858	.4062	.0678	.5260
1979	8.0755	11.5274	.1514	.8486	.3259	.1020	.5720
1980	8.7598	12.2953	.1492	.8508	.3372	.0989	.5639
1981	9.8435	13.4665	.1466	.8534	.3540	.0947	.5513
1982	12.4653	16.4261	.1073	.8927	.3778	.0668	.5554

75

76

77

78

79

80

81

Tableau A.7 (suite et fin)

NOTES: (1) coût variable total = $w_L X_L + w_E X_E$

(2) coût total = $w_K X_K + w_L X_L + w_E X_E$

ANNEXE B: GRAPHIQUES DES SERIES IMPORTANTES

Figure B.1	Indice de la production
Figure B.2	Indice de la capacité
Figure B.3	Indice de la quantité de capital
Figure B.4	Indice de la quantité de travail
Figure B.5	Indice de la quantité d'énergie
Figure B.6	Indice du prix réel du capital
Figure B.7	Indice du prix réel du travail
Figure B.8	Indice du prix réel de l'énergie
Figure B.9	Indice du taux de rendement permis
Figure B.10	Indice du coût du capital
Figure B.11	Indice du coût du travail
Figure B.12	Indice du coût de l'énergie
Figure B.13	Indice du coût total
Figure B.14	Indice du coût variable total
Figure B.15	Part du capital dans CT
Figure B.16	Part du travail dans CT
Figure B.17	Part de l'énergie dans CT
Figure B.18	Part du travail dans CVT
Figure B.19	Part de l'énergie dans CVT

FIGURE B.1 INDICE DE LA PRODUCTION

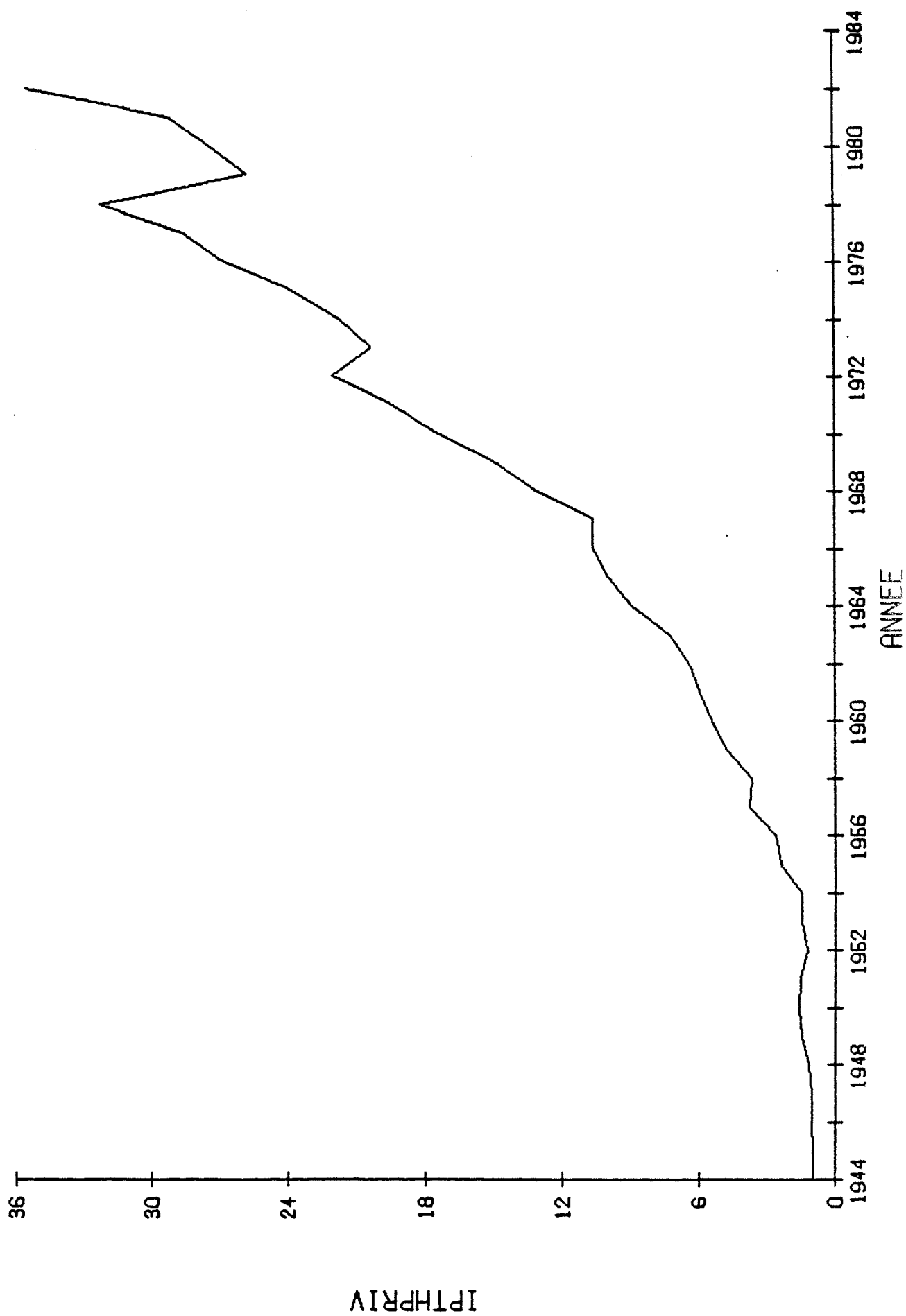


FIGURE B.2 INDICE DE LA CAPACITE

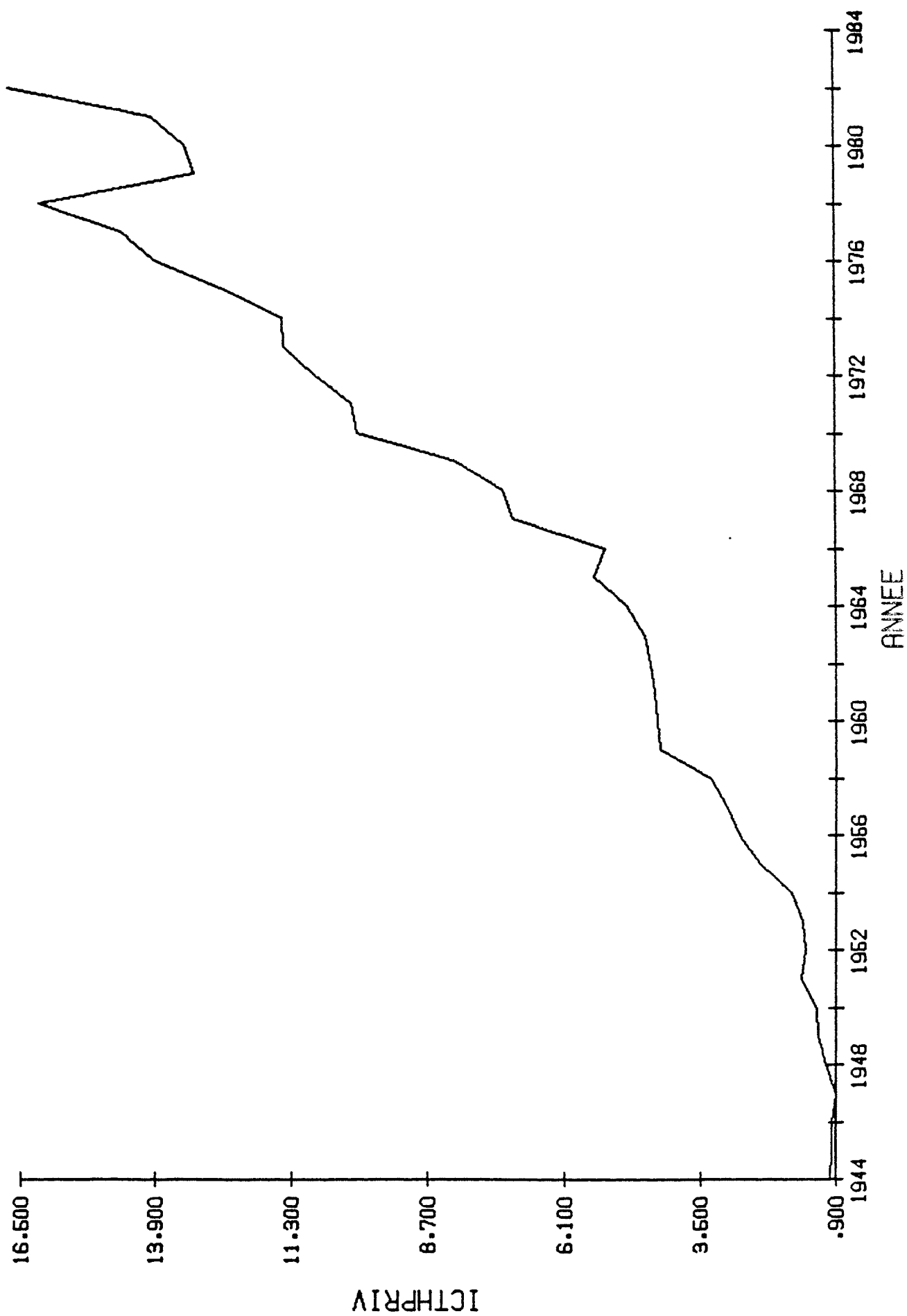


FIGURE B.3 INDICE DE LA QUANTITE DE CAPITAL



FIGURE B.4 INDICE DE LA QUANTITE DE TRAVAIL

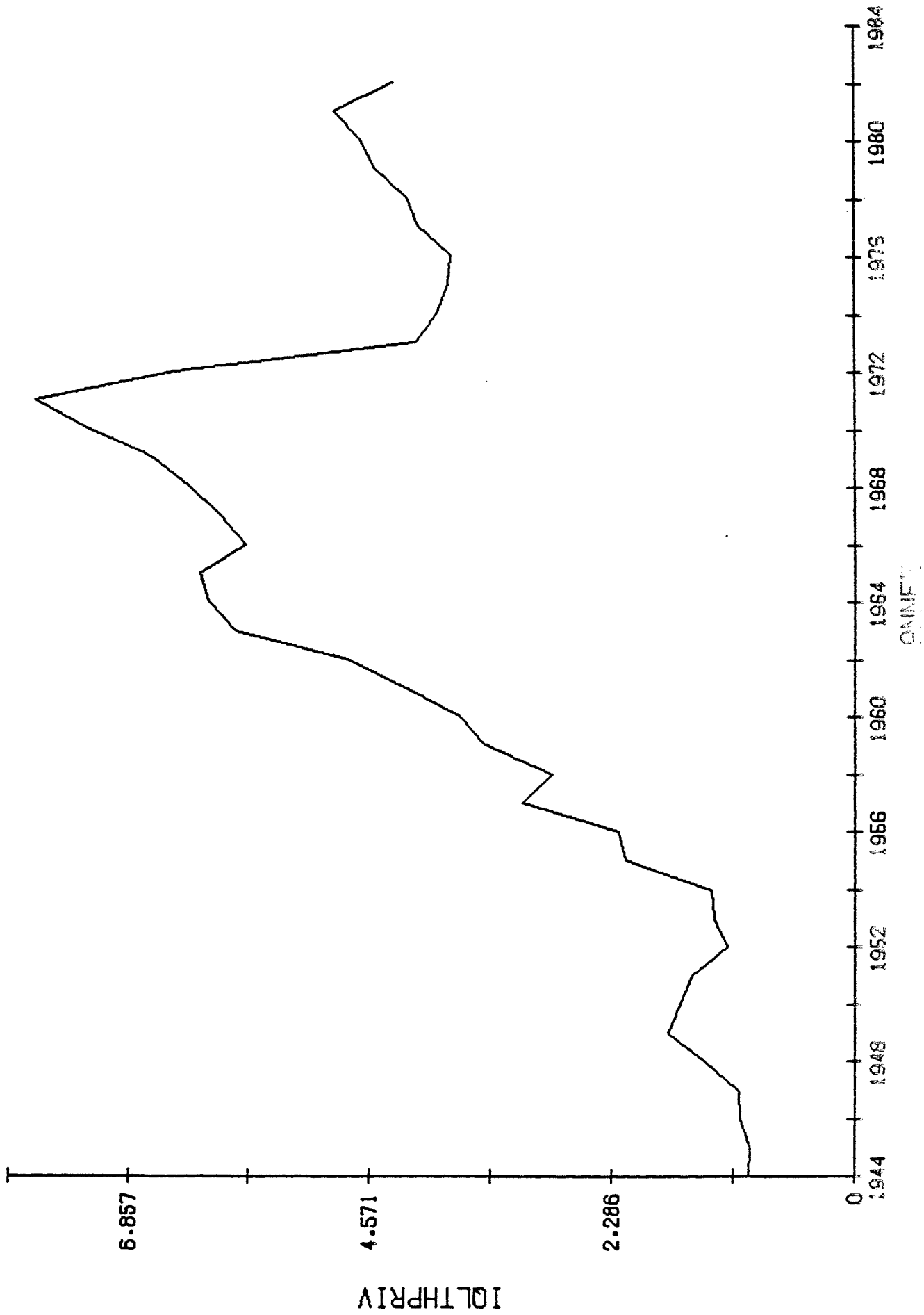


FIGURE B.5 INDICE DE LA QUANTITE D ENERGIE

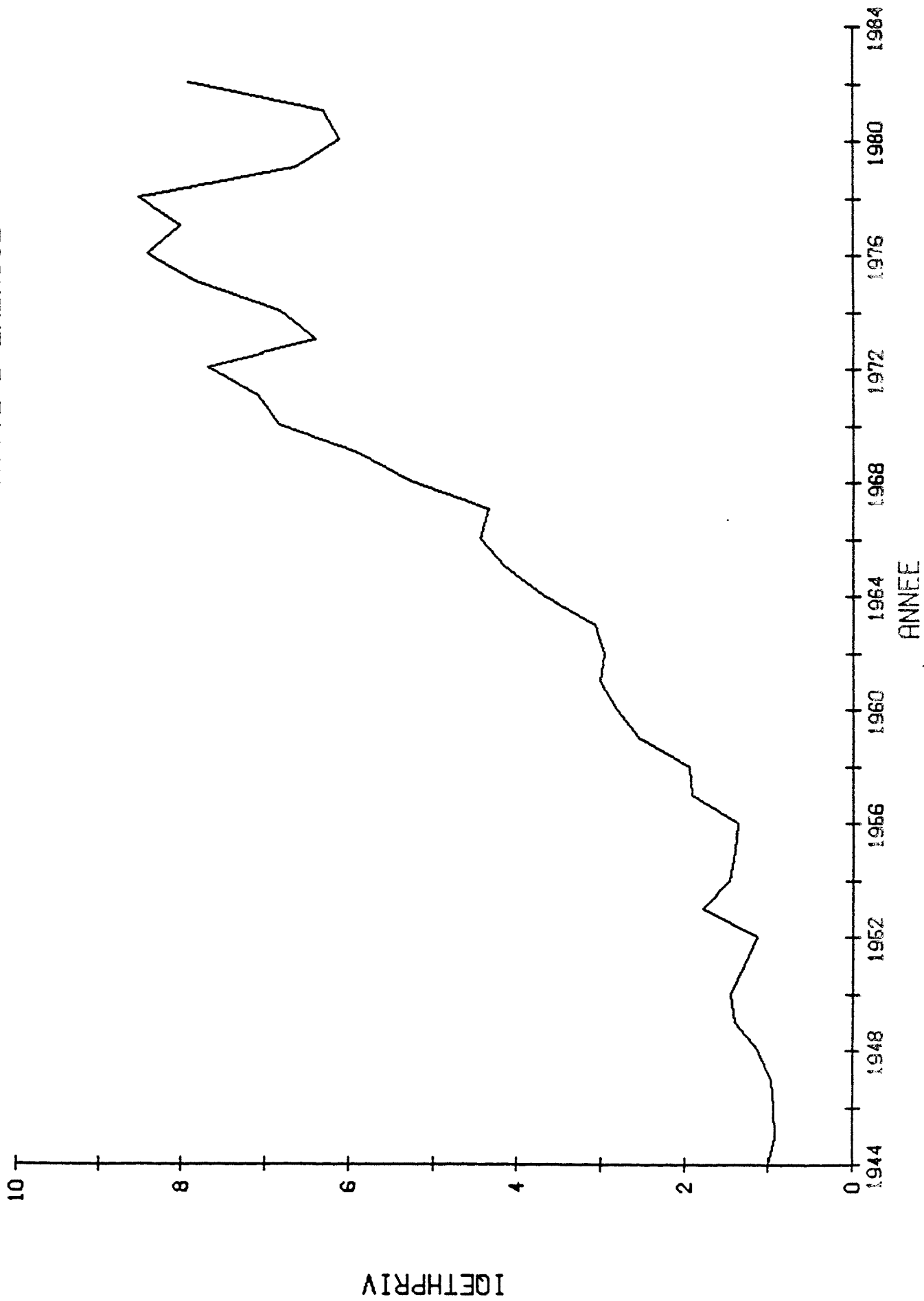


FIGURE B.6 INDICE DU PRIX REEL DU CAPITAL



FIGURE B.7 INDICE DU PRIX REEL DU TRAVAIL

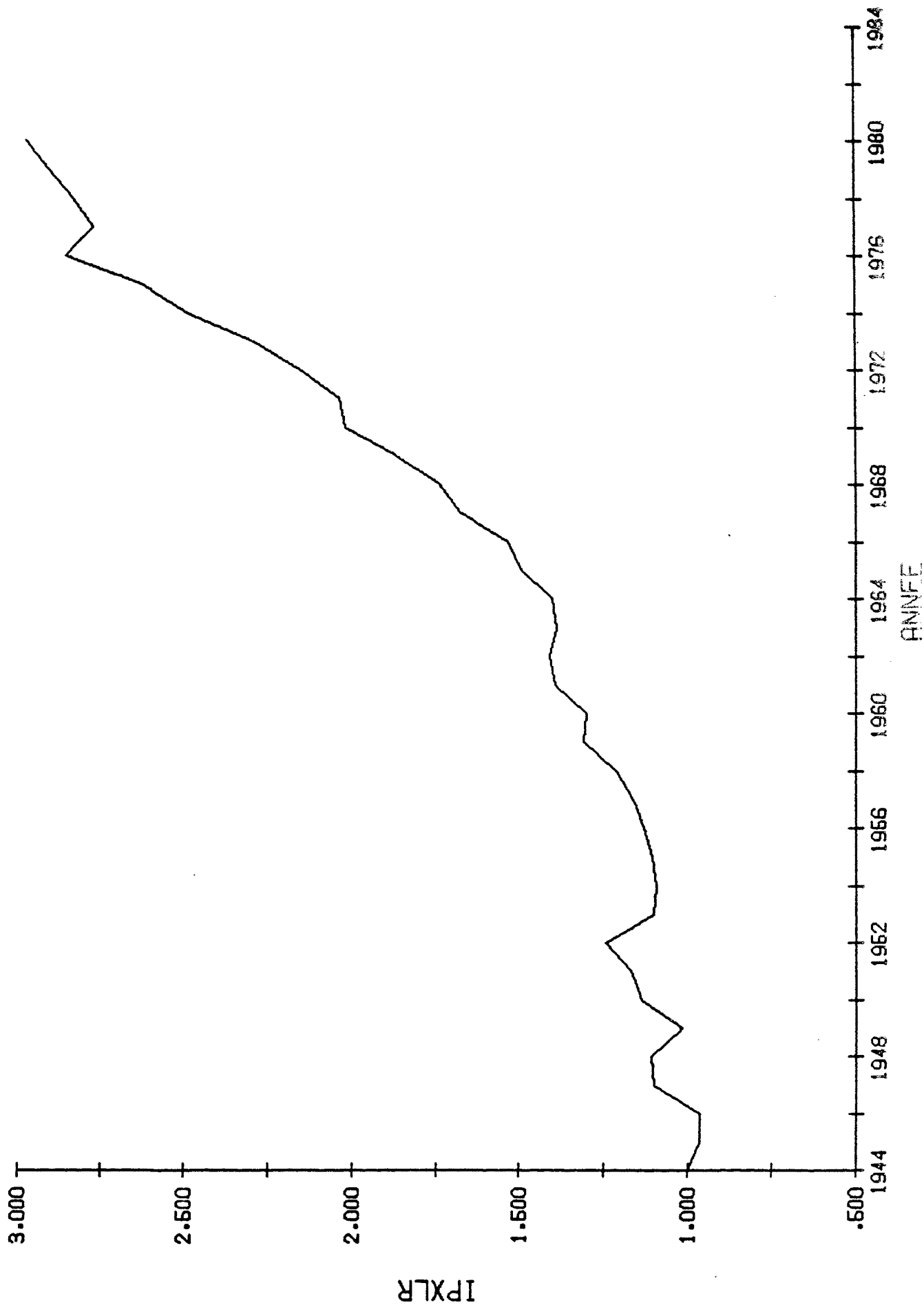


FIGURE B.8 INDICE DU PRIX REEL DE L ENERGIE

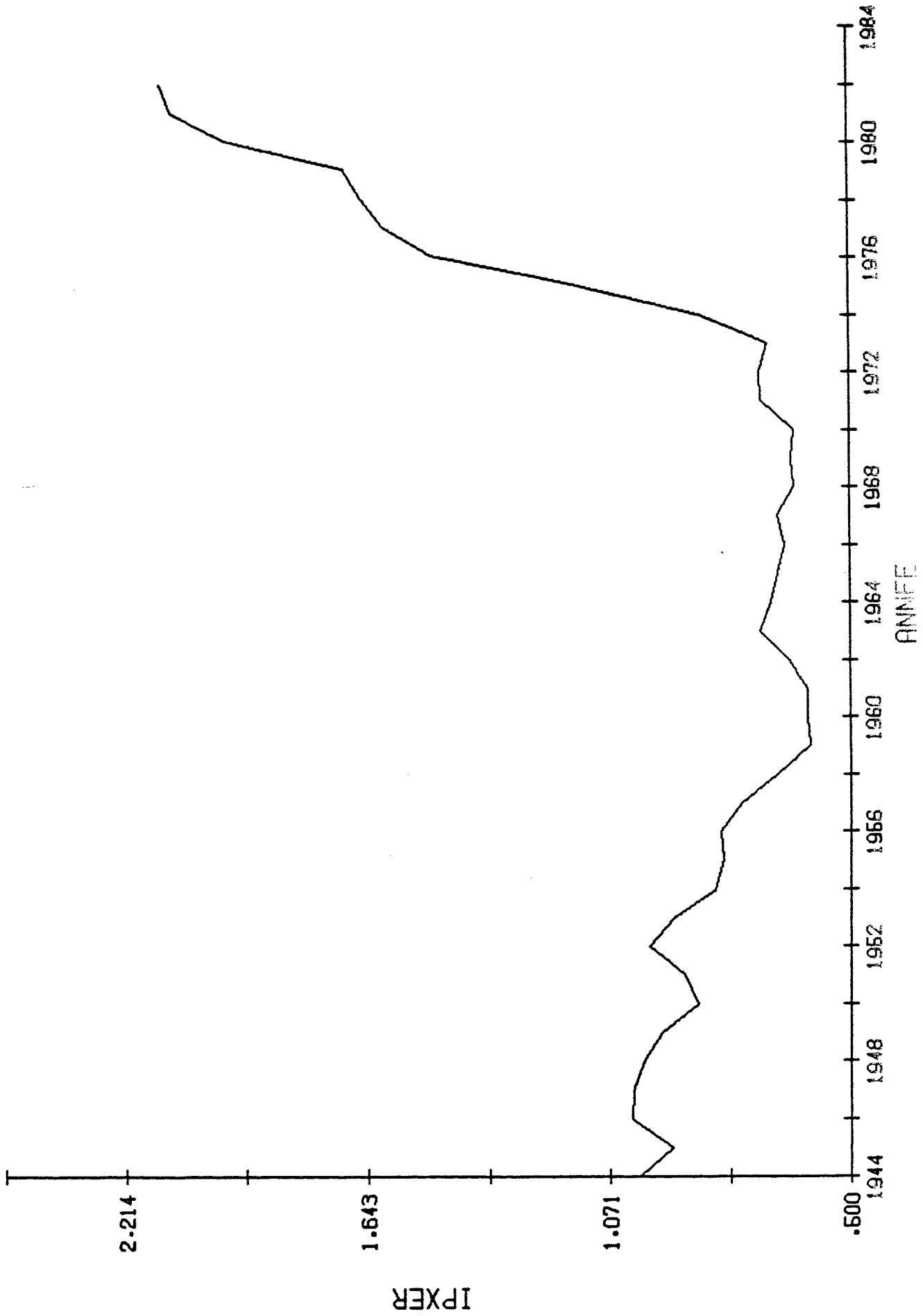


FIGURE B.9 INDICE DU RENDEMENT PERMIS

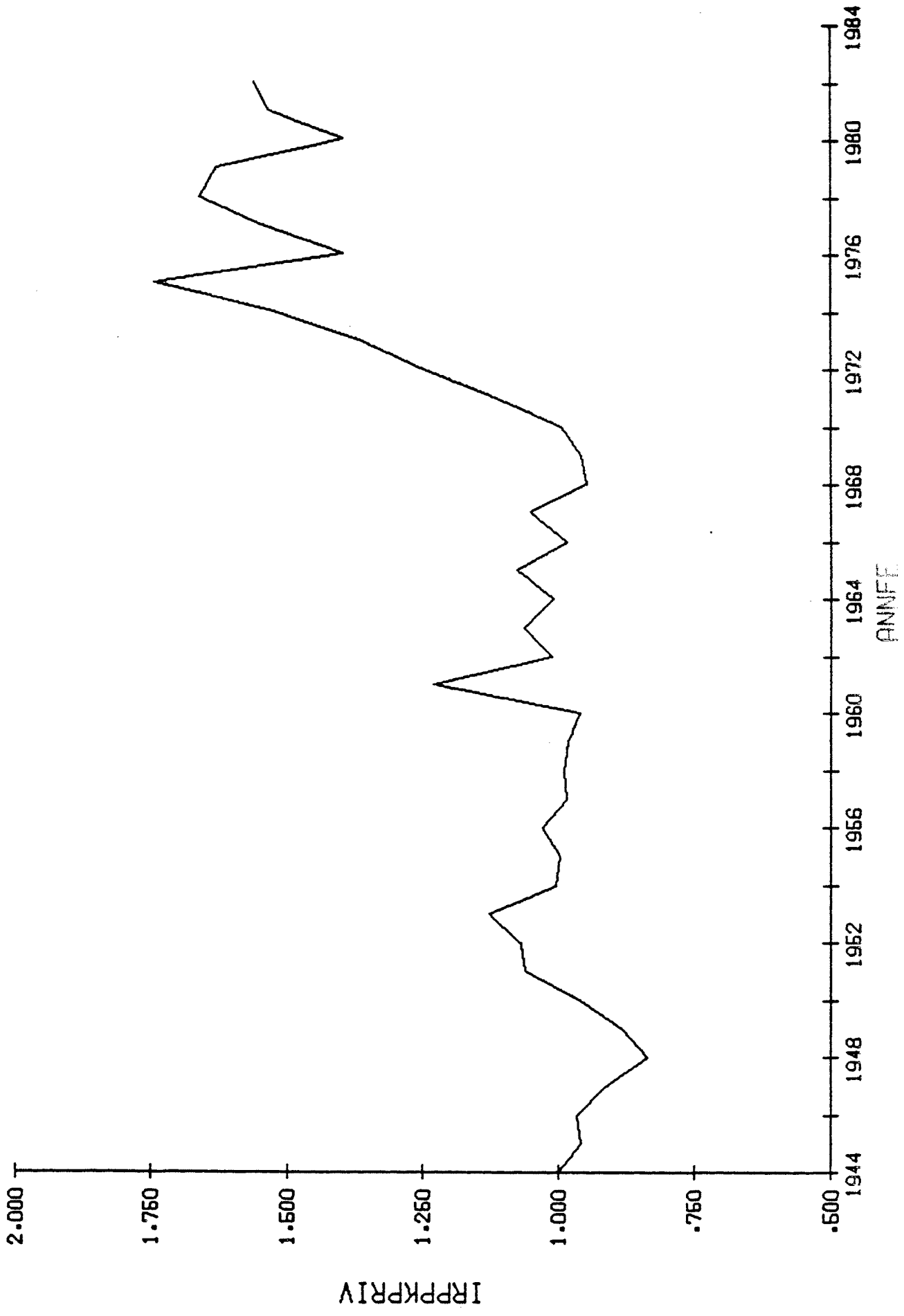


FIGURE B.10 INDICE DU COUT DU CAPITAL

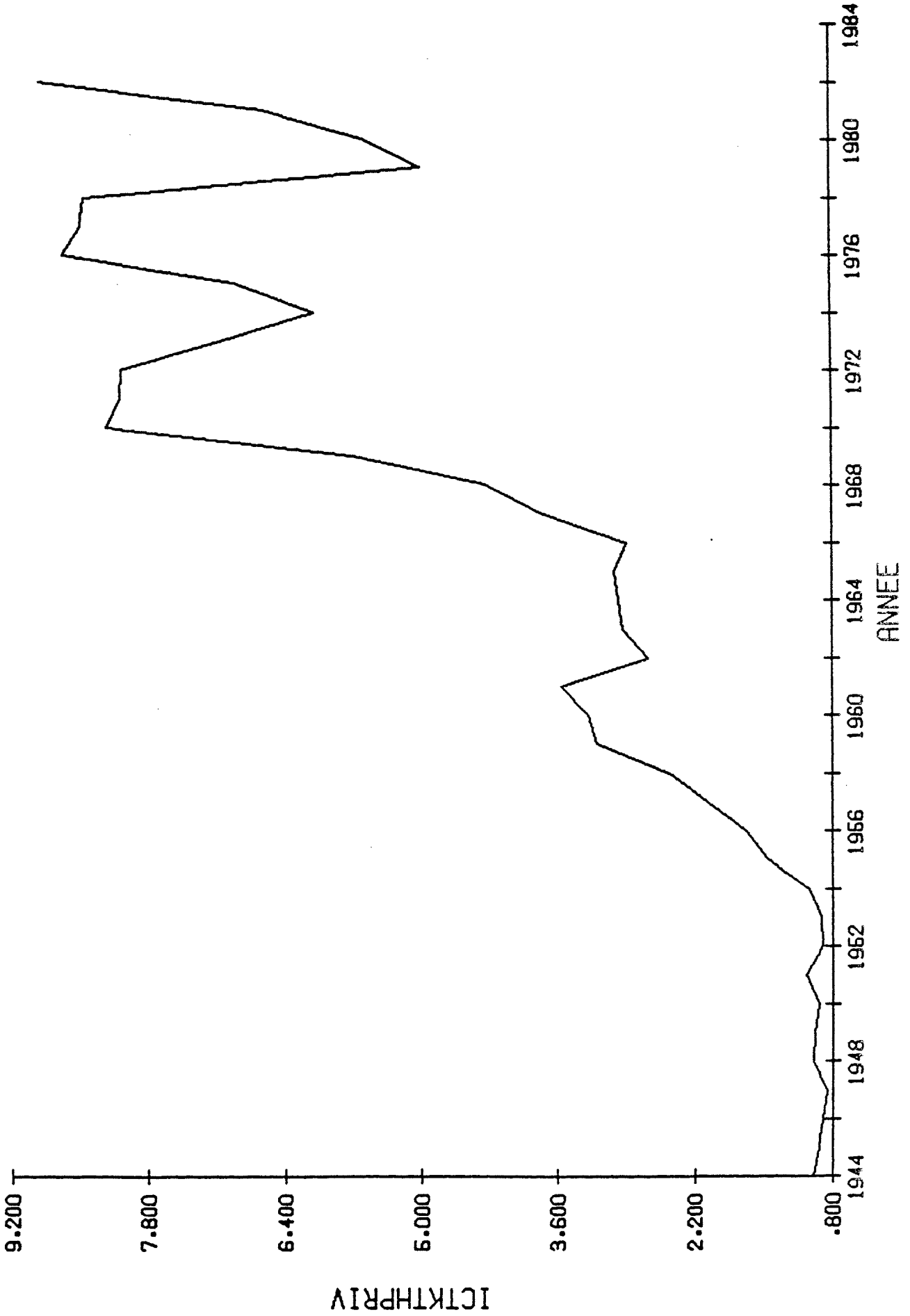


FIGURE B.11 INDICE DU COUT DU TRAVAIL

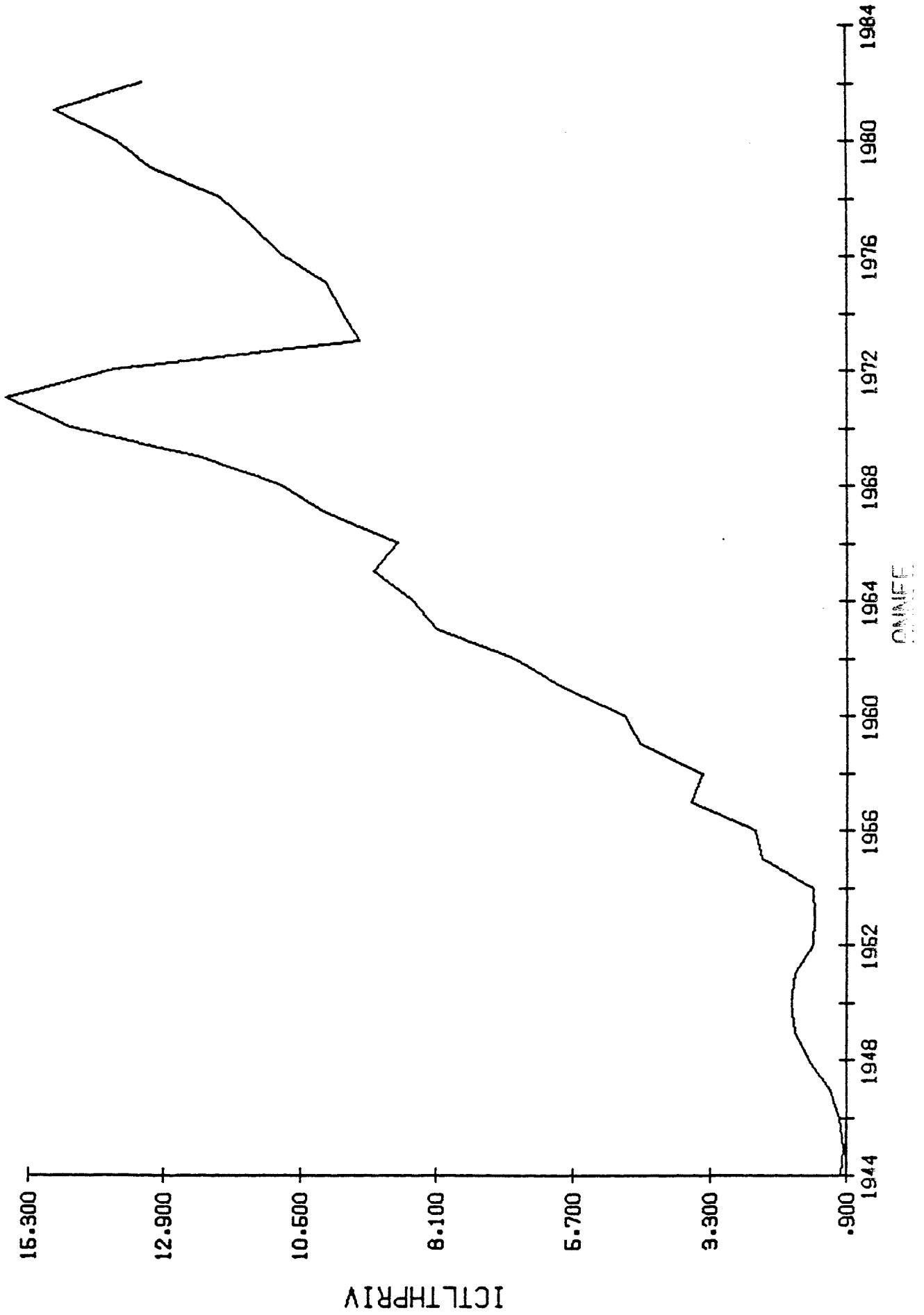


FIGURE B.12 INDICE DU COUT DE L ENERGIE

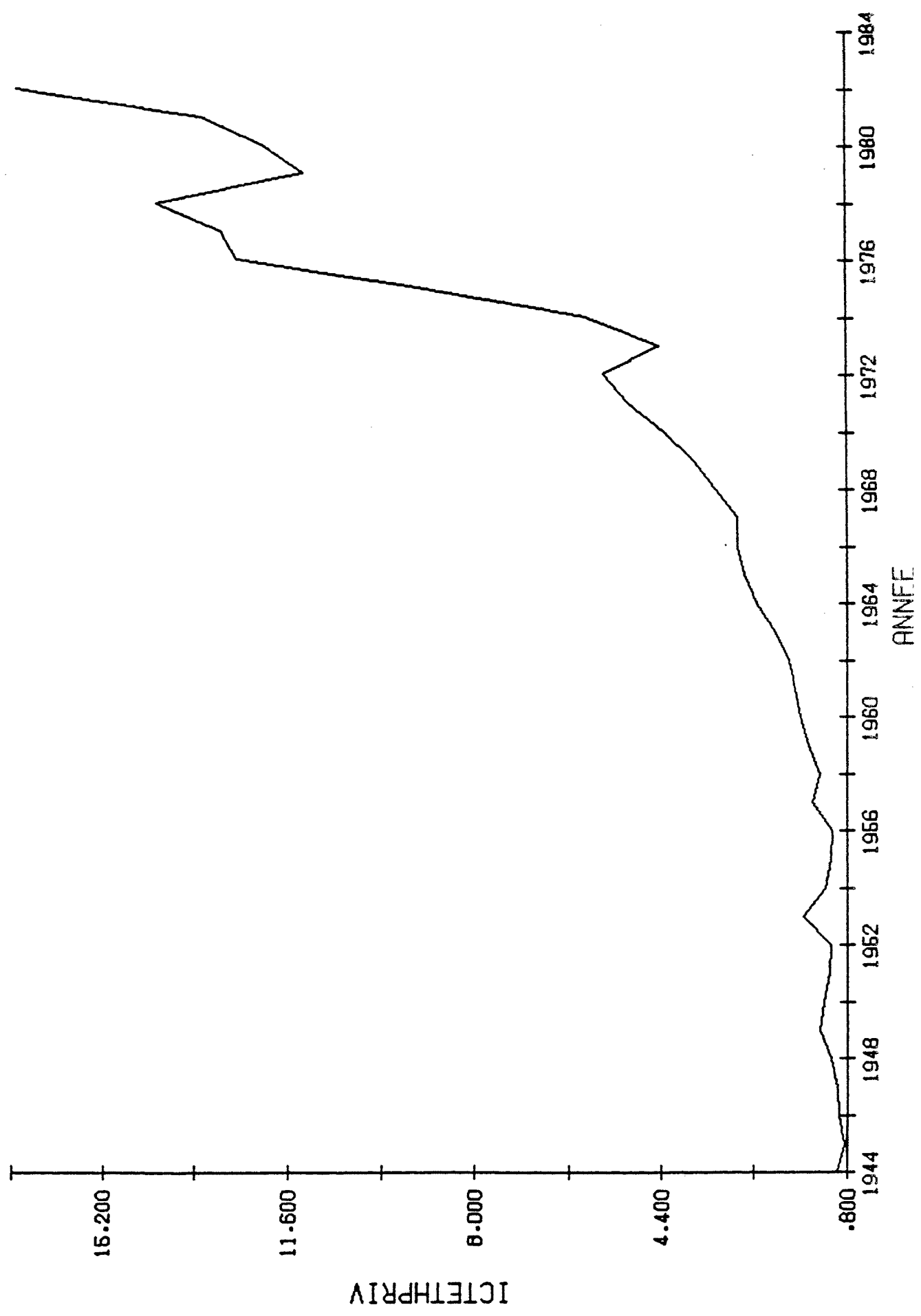
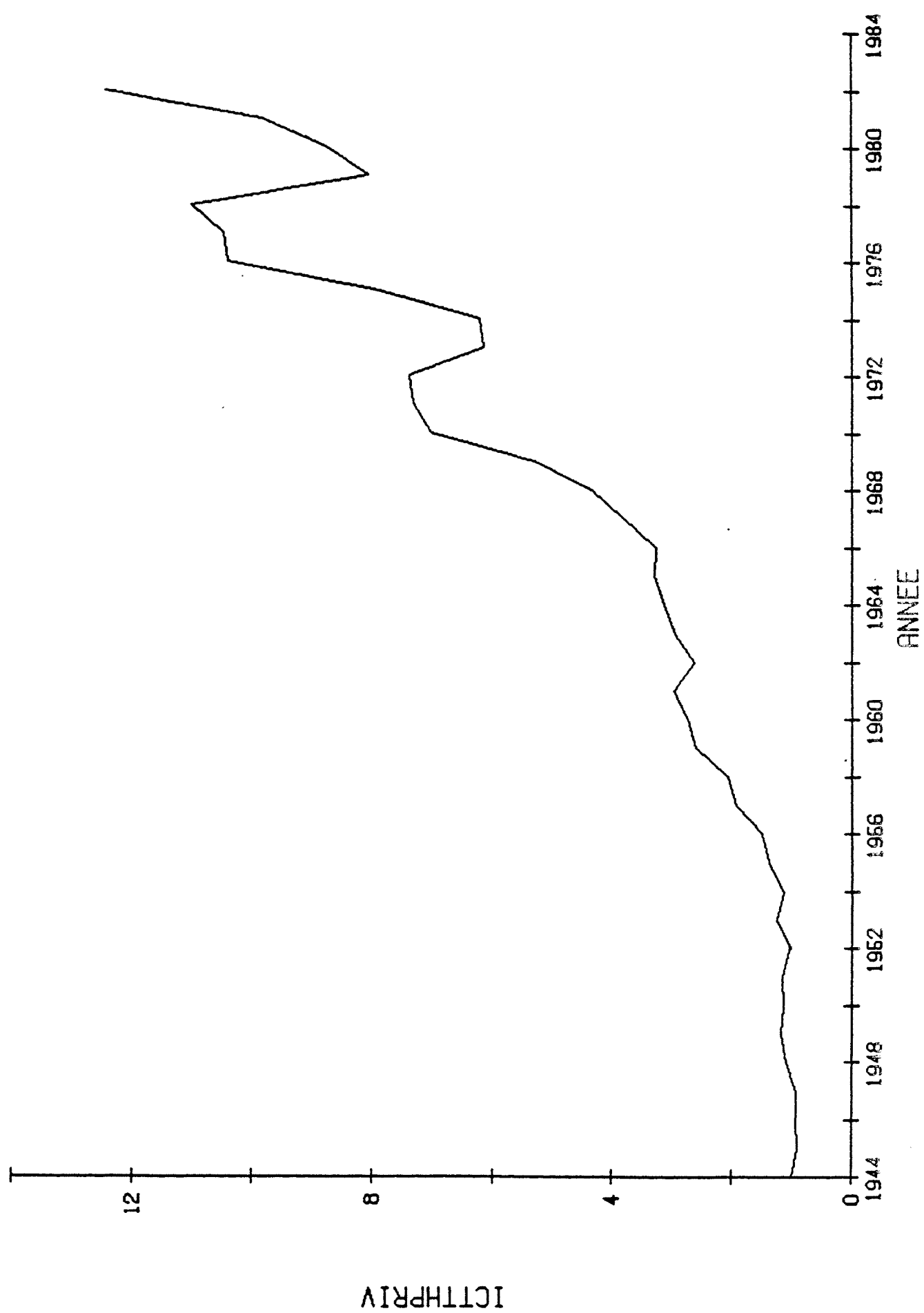


FIGURE B.13 INDICE DU COUT TOTAL



ICTTHPRIV

FIGURE B.14 INDICE DU COUT VARIABLE TOTAL

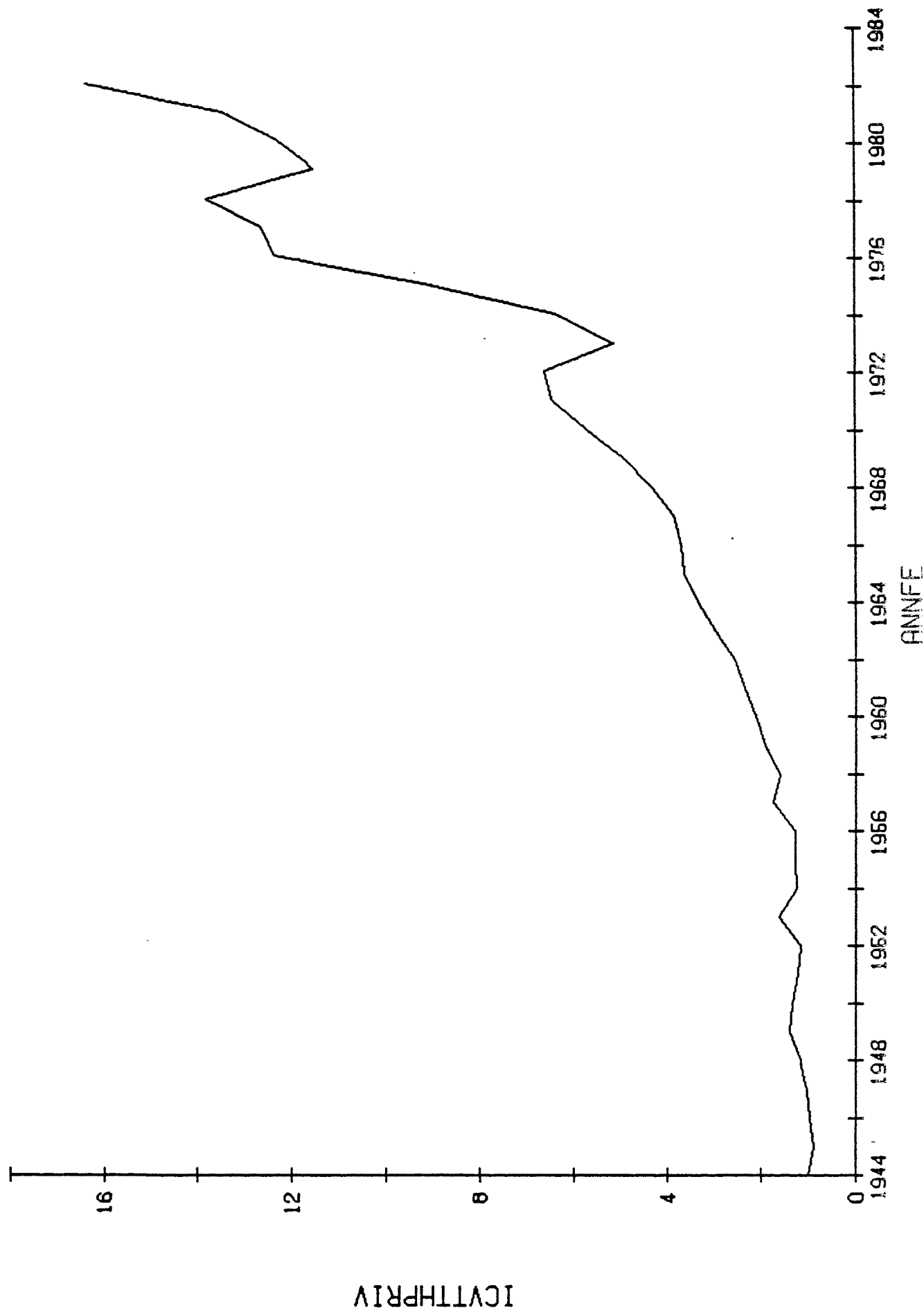


FIGURE B-15 PART DU CAPITAL DANS CT

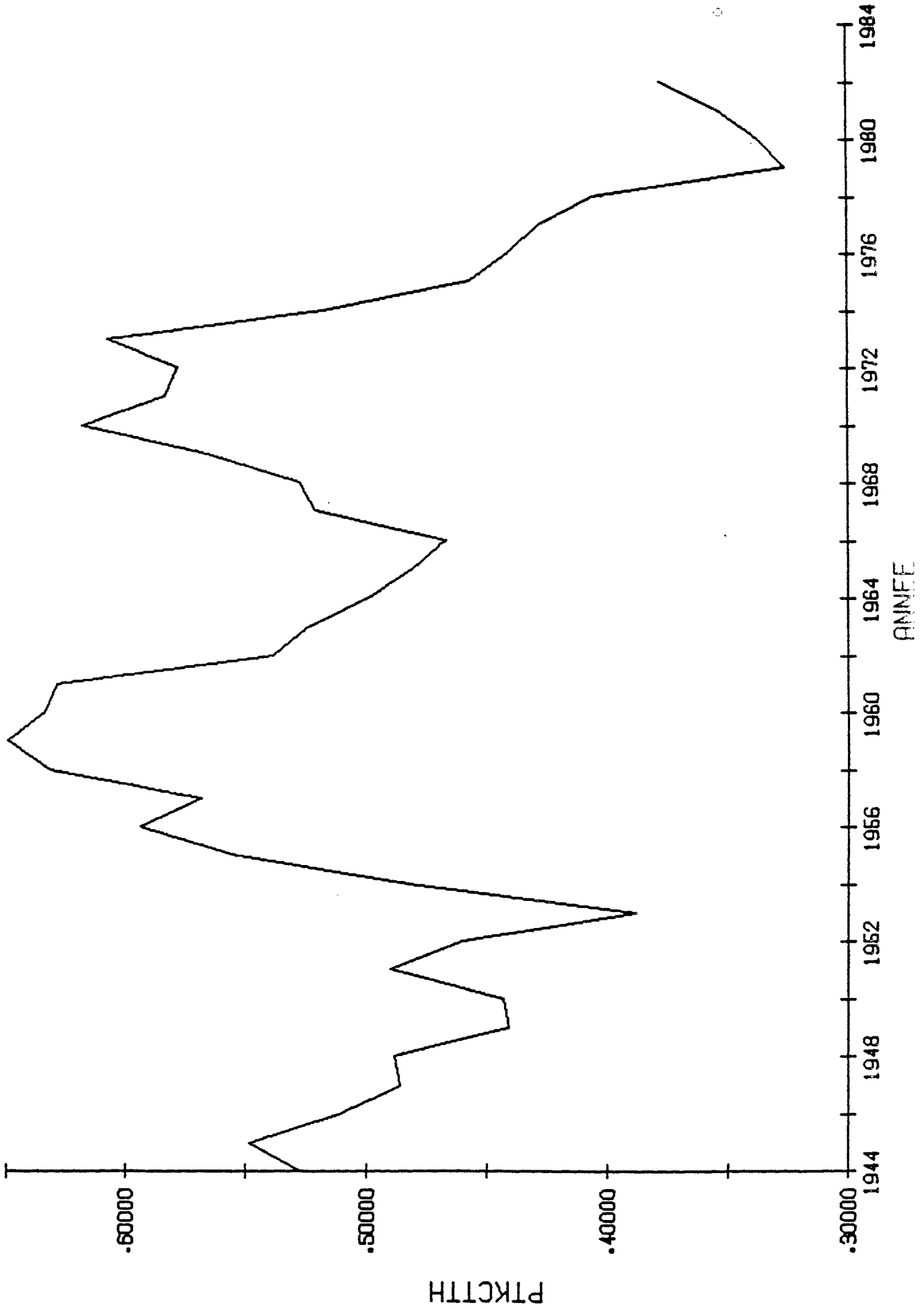


FIGURE B.16 PART DU TRAVAIL DANS CT

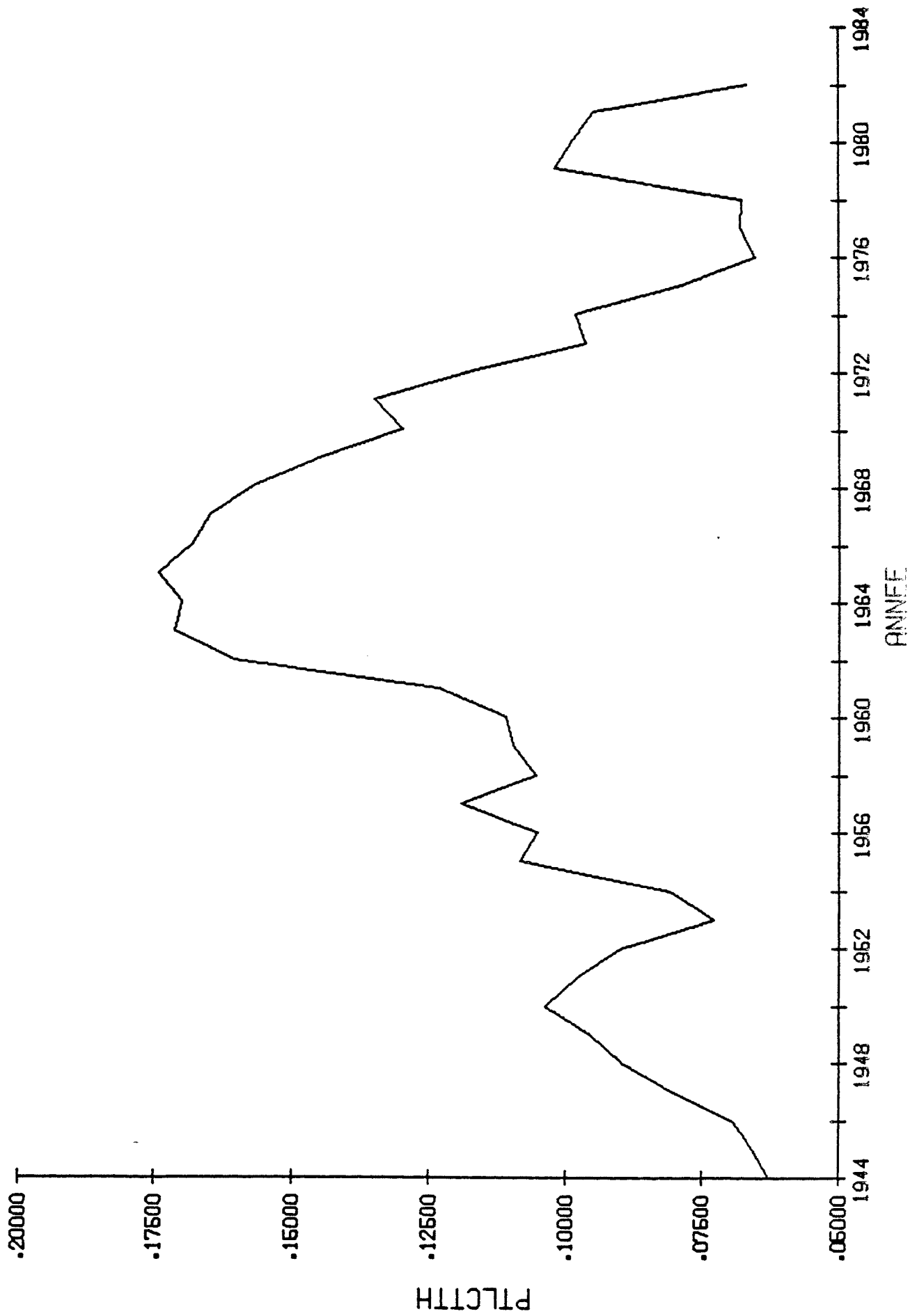


FIGURE B.17 PART DE L ENERGIE DANS CT

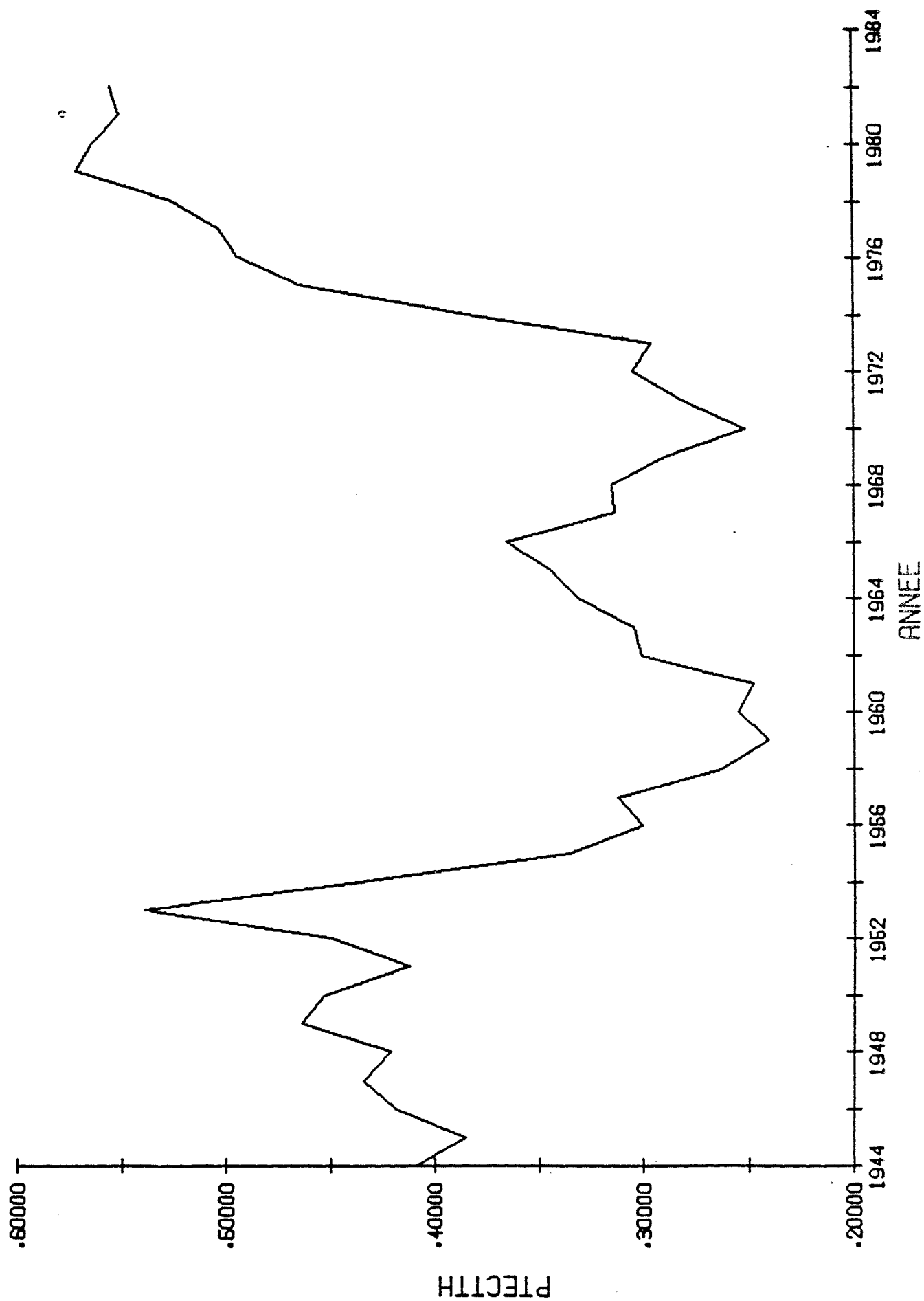


FIGURE B.18 PART DU TRAVAIL DANS CVT

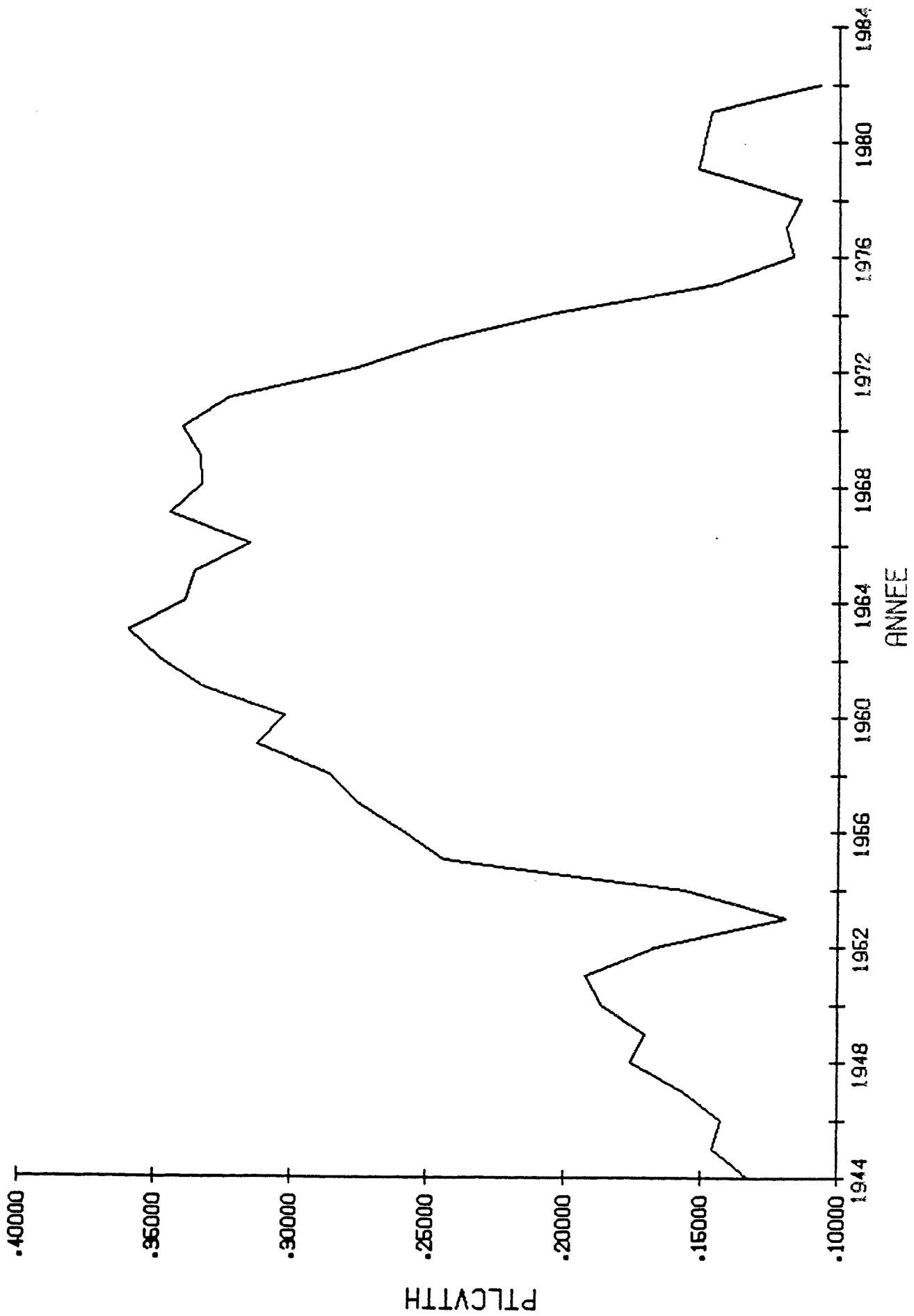
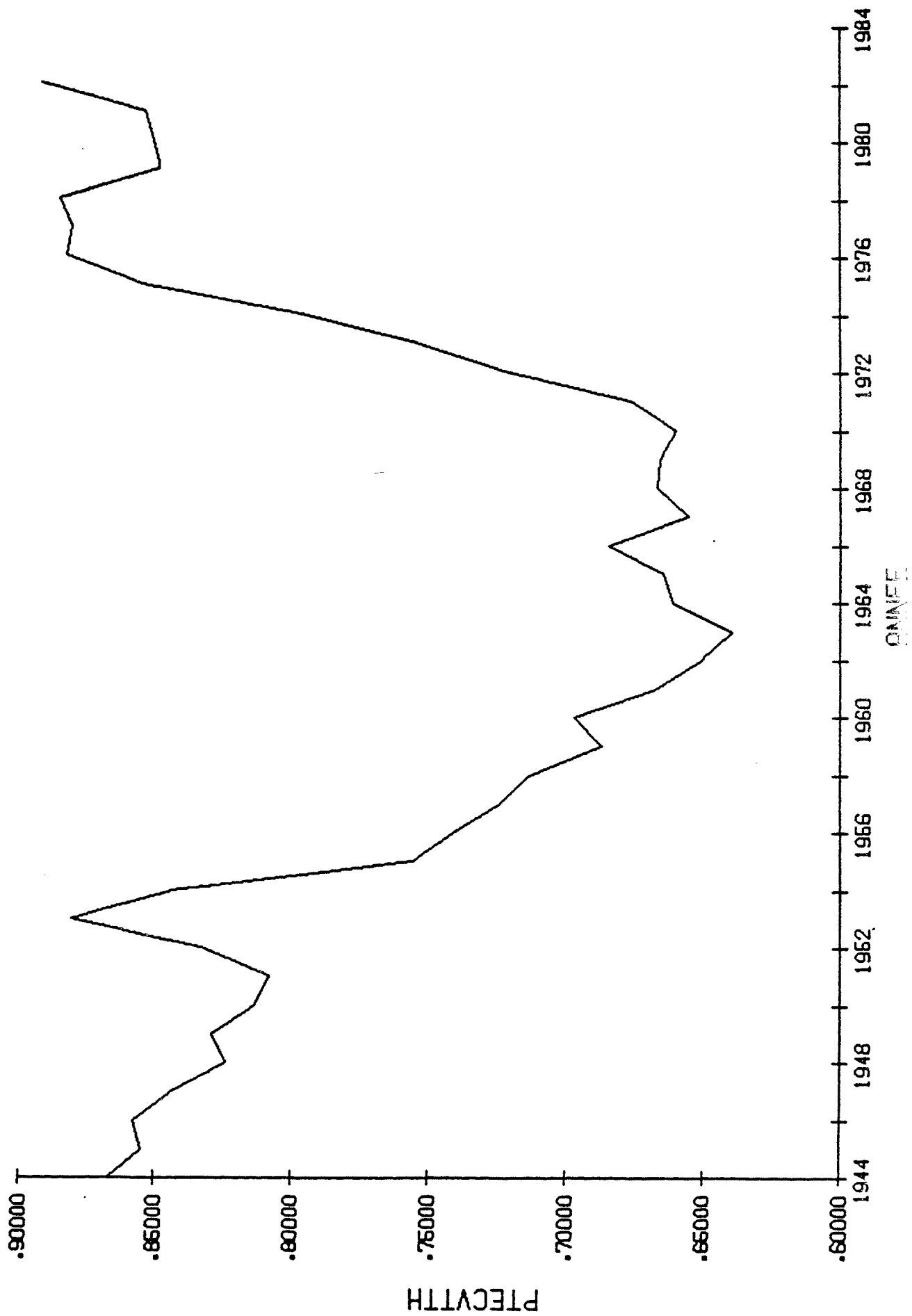


FIGURE B.19 PART DE L ENERGIE DANS CVT



CONCLUSION

L'analyse de la fonction de coût nous a permis de soulever et d'approfondir plusieurs concepts de la théorie économique de l'entreprise dans l'étude de l'industrie soumise à la réglementation. A la lumière des résultats obtenus, il est à notre avis évident que la fonction de coût est l'instrument le plus approprié à la disposition de l'économiste pour évaluer le processus de production sur une période et son évolution à travers le temps. En particulier, nous avons examiné l'influence du critère de taux de rendement permis sur le capital dans les décisions et le comportement de l'entreprise. De plus, considérant la popularité croissante de la notion de quasi-fixité, notamment pour le capital, nous avons incorporé cet aspect à l'analyse de la fonction de coût dans un cadre de réglementation. Nous avons ainsi déduit les propriétés de la fonction de coût total et variable par rapport aux facteurs quasi-fixes et ce, qu'ils soient soumis ou non à la réglementation. Nous avons par la même occasion étudié le cas des services privés d'électricité au Canada à l'aide d'une forme translog dans le but de démontrer empiriquement le potentiel de cette approche.

L'utilisation de cette fonction a des ramifications importantes sur plusieurs éléments susceptibles d'intéresser l'analyste ou le gestionnaire dans l'entreprise. D'une part, nous avons présenté une méthode permettant d'interpréter la croissance de la productivité totale des facteurs où différents effets peuvent être isolés. Nous avons montré que l'indice de productivité peut être décomposé en quatre effets distincts: i) les

rendements d'échelle, ii) le progrès technique, iii) les déséquilibres de long terme et iv) le biais de la réglementation. De cette analyse nous avons découvert que la PTF a progressé à un rythme d'environ 3% par année pour la période 1945-1982 dans les centrales thermiques des services privés d'électricité et que cette croissance est en grande partie due aux économies d'échelle substantielles dont l'industrie a profité. Parallèlement, comme la décomposition de la PTF nécessite la mesure du progrès technique, nous avons introduit une forme alternative de paramétrisation économétrique basée sur les retards de Koyck.

D'autre part, nous avons développé une méthode afin de pouvoir estimer les possibilités de substitution entre les facteurs de production. Ainsi, le calcul des élasticités de substitution dans le cas où il y a réglementation et des facteurs quasi-fixes doit prendre en considération la non-homogénéité linéaire de la fonction de coût par rapport aux prix des facteurs et la possibilité où l'équilibre statique n'est pas une hypothèse plausible.

L'étude des concepts associés à l'influence économique de la réglementation est loin encore d'avoir connu son dénouement. Par exemple, il n'existe actuellement que peu d'études sur l'aspect du comportement des services publics soumis à la réglementation. Plusieurs des arguments développés précédemment ne s'appliquent plus pour ce groupe d'entreprises ou d'industries. Une de ces différences importantes se situe au niveau même de l'hypothèse définissant l'objectif de l'entreprise. En effet, notre modèle stipule que l'entreprise tente de maximiser son profit défini par la différence entre ses revenus totaux et les coûts de production. Cette

hypothèse n'est évidemment pas appropriée comme spécification de l'objectif des services publics. Il est donc nécessaire de redéfinir ce critère selon le genre d'entreprise considérée: on pourra ainsi étudier le comportement sous des hypothèses telles la maximisation du revenu, de la taille de l'entreprise ou tout simplement la satisfaction de la demande globale à un coût minimal pour l'ensemble de l'économie. Chaque formulation de cette hypothèse de base a des conséquences lourdes sur une grande partie de la discussion et peut amener des développements très différents. A cet effet, malgré la richesse et la diversité des thèmes abordés dans ce travail, nous croyons que l'étude microéconomique de la réglementation demeure un domaine pouvant susciter un intérêt certain dans l'analyse économique et dont les implications sont plus que jamais au coeur du débat actuel.

ANNEXE A: TABLEAUX STATISTIQUES

- Tableau A.1 Electricité générée et capacité des centrales productrices (services privés).
- Tableau A.2 Formation de la série de quantité du capital (Industrie de l'Energie Electrique).
- Tableau A.3 Prix du capital et taux de rendement permis (services privés).
- Tableau A.4 Heures travaillées et rémunération de la main-d'oeuvre (services privés).
- Tableau A.5 Consommation et prix de l'énergie (services privés et publics).
- Tableau A.6 Indices des prix et des quantités utilisées dans les centrales thermiques (services privés).
- Tableau A.7 Parts des facteurs de production et coûts totaux dans les centrales thermiques (services privés).

BIBLIOGRAPHIE

- Allen, R.D.G. Mathematical Analysis for Economists. London, McMillan, 1962.
- Averch, Harvey et Leland L. Johnson. "Behavior of the Firm under Regulatory Constraint", American Economic Review, vol. 52, no. 5, 1962, pp. 1052-1059.
- Banque du Canada. Revue Mensuelle. Ottawa, numéros de janvier 1979 et janvier 1983.
- Baumol, W. et A. Klevorick. "Input Choice and Rate of Return Regulation: an Overview of the Discussion", Bell Journal of Economics, vol. 1, no. 2, 1970, pp. 162-190.
- Berndt, Ernst R. "Canadian Energy Demand and Economic Growth", dans Oil in the Seventies, Campbell Watkins et Michael Walker, eds. Vancouver, The Fraser Institute, 1977.
- et Melvyn A. Fuss. Productivity Measurement Using Capital Asset Valuation to Adjust for Variations in Utilization. Working Paper no. 8125, Institute for Policy Analysis, University of Toronto, 1981.
- et Mohammed S. Khaled, "Parametric Productivity Measurement and Choice among Flexible Functional Forms", Journal of Political Economy, vol. 87, no. 6, 1979, pp. 1220-1245.
- et David O. Wood. "Technology, Prices and the Derived Demand for Energy", The Review of Economics and Statistics, vol. 52, no. 3, 1975, pp. 259-268.
- et ----- . "The Specification and Measurement of Technical Change in U.S. Manufacturing", Advances in the Economics of Energy and Resources, vol. 4, 1982, pp. 199-221.
- Binswanger, H.P. "A Cost Function Approach to the Measurement of Factor Demand Elasticities and of Elasticities of Substitution", American Journal of Agricultural Economics, vol. 56, no. 2, 1974a, pp. 377-386.

- , "The Measurement of Technical Change Biases with Many Factors of Production", American Economic Review, vol. 64, no. 5, 1974b, pp. 964-976.
- Brown, Randall S. et Laurits R. Christensen. "Estimating Elasticities of Substitution in a Model of Partial Static Equilibrium: an Application to U.S. Agriculture, 1947 to 1974", dans Modeling and Measuring Natural Resource Substitution, Ernst R. Berndt et Barry C. Field, eds. Massachusetts, MIT Press, 1981.
- Caves, D.W. Laurits R. Christensen et J.A. Swanson. "Productivity Growth, Scale Economies, and Capacity Utilization in U.S. Railroads, 1955-74", American Economic Review, vol. 71, no. 4, 1981, pp. 994-1002.
- Christensen, Laurits R. et William H. Greene. "Economies of Scale in U.S. Electric Power Generation", Journal of Political Economy, vol. 84, no. 4, 1976, pp. 655-676.
- et Dale W. Jorgenson. "The Measurement of U.S. Real Capital Input, 1929-1967", The Review of Income and Wealth, vol. 15, no. 4, 1969, pp. 293-321.
- , ----- et Lawrence J. Lau. "Transcendental Logarithmic Production Frontiers", Review of Economics and Statistics, vol. 55, no. 1, 1973, pp. 28-45.
- Copeland, Thomas E. et Fred J. Weston. Financial Theory and Corporate Policy. Massachusetts, Addison-Wesley Publishing Company, 1983.
- Courville, Léon. "Regulation and Efficiency in the Electric Utility Industry", Bell Journal of Economics, vol. 5, no. 1, 1974, pp. 53-74.
- Cowing, Thomas G. "Duality and the Estimation of a Restricted Technology", dans Advances in Applied Microeconomics, V.K. Smith, ed. Greenwich, JAI Press Inc., 1982.
- Denny, M. Melvyn A. Fuss et Leonard Waverman. "The Measurement and Interpretation of Total Factor Productivity in Regulated Industries, with and Application to Canadian Telecommunications", dans Productivity Measurement in Regulated Industries, J.G. Cowing et R.E. Stevenson, eds. New-York, Academic Press, 1981.

- Diewert, W.E. "An Application of the Shephard Duality Theorem: a Generalized Leontief Production Function", Journal of Political Economy, vol. 79, no. 2, 1971, pp. 481-507.
- Fuss, Melvyn A. et Leonard Waverman. "Regulation and the Multiproduct Firm: the Case of Telecommunications in Canada", dans Studies in Public Regulation, Gary Fromm, ed. Massachusetts, MIT Press, 1977.
- Gould, J.P. et C.E. Ferguson. Microeconomic Theory. Homewood, Richard D. Irwin Inc., 1980.
- Hall, Bronwyn H. et Robert E. Hall. Time Series Processor, version 4.0. Montréal, Concordia University, 1982.
- Henderson, J.M. et R.E. Quandt. Microéconomie: Formulation Mathématique Élémentaire, Paris, Dunod, 1972.
- Johnston, J. Econometric Methods. New-York, McGraw-Hill, 2e édition, 1972.
- Jorgenson, Dale W. et Zvi Griliches. "The Explanation of Productivity Change", Review of Economic Studies, vol. 34, no. 3, 1967, pp. 249-283.
- Kopp, R.J. et Vernon K. Smith. "Neoclassical Modeling of Non-Neutral Technological Change: an Experimental Appraisal", Scandinavian Journal of Economics, vol. 85, no. 2, 1983, pp. 127-146.
- Maddala, G.S. Econometrics. New-York, McGraw-Hill, 1977.
- Mansfield, Edwin. Microeconomics: Theory and Applications. New-York, W.W. Norton, 1975.
- McFadden, Daniel. "Cost, Revenue, and Profit Functions", dans Production Economics: a Dual Approach to Theory and Applications, Melvyn A. Fuss et Daniel McFadden, eds. Amsterdam, North-Holland, 1979.
- Ministère des Approvisionnements et Services. Taux de Salaires, Traitements et Heures de Travail. Ottawa, différentes années.
- Ministère de l'Énergie, des Mines et des Ressources. L'Électricité, Hier, Aujourd'hui et Demain. Ottawa, 1976.

- . L'Energie au Canada. Ottawa, 1982.
- Ministère du Revenu National. Taxation Statistics. Ottawa, différentes années.
- Nelson, Randy A. "Regulation, Capital Vintage, and Technical Change in the Electric Utility Industry", Review of Economics and Statistics, vol. 66, no. 1, 1984, pp. 59-69.
- et Mark E. Wohar. "Regulation, Scale Economies, and Productivity in Steam-Electric Generation", International Economic Review, vol. 24, no. 1, 1983, pp. 57-79.
- Ouellette, Pierre et Pierre Lasserre. Mesure du Progrès Technique: Théories et Méthodes. Cahier de Recherche no. 8425, Centre de Recherche en Développement Economique, Université de Montréal, 1984.
- Protti, Gérard J. Canadian Electric Utility Industry Costs 1960-1990. Working Paper no. 78-4, Canadian Energy Research Institute, University of Calgary, 1978.
- Rao, P.S. et R.S. Preston. Inter-Factor Substitution and Total Factor Productivity Growth: Evidence from Canadian Industries. Discussion paper no. 242, CEC, Ottawa, 1983.
- Read, Ronald C. A Mathematical Background for Economists and Social Scientists. New-Jersey, Prentice-Hall, 1972.
- Savin, N.E. et Kenneth J. White. "The Durbin-Watson Test for Serial Correlation with Extreme Sample Sizes or Many Regressors", Econometrica, vol. 45, no 8, 1977, pp. 1989-1996.
- Shephard, R.W. Cost and Production Functions. New-Jersey, Princeton University Press, 1953.
- Spann, R.M. "Rate of Return Regulation and Efficiency in Production: an Empirical Test of the Averch-Johnson Thesis", Bell Journal of Economics, vol. 5, no. 1, 1974, pp. 38-52.

Statistique Canada. Statistiques Historiques du Canada. Publication no. 11-516F, 2e édition, 1975.

----- . Flux et Stocks de Capital Fixe, Historique 1936-1983. Publication no. 13-568, 1983.

----- . Statistique de l'Energie Electrique, volume II. Publication no. 57-202, différentes années.

----- . Statistique de l'Energie Electrique, volume III. Publication no. 57-206, différentes années.

----- . Consommation de Combustibles et d'Electricité Achetés. Publication no. 57-208, différentes années.

----- . Investissements privés et publics au Canada. Publication no. 61-205, différentes années.

Stevenson, R.E. "Measuring Technical Bias", American Economic Review, vol. 70, no. 1, 1980, pp. 1652-173.

Tornqvist, L. "The Bank of Finland's Consumption Price Index", Bank of Finland Monthly Bulletin, vol. 10, 1936, pp. 1-8.

Uzawa, H. "Production Functions with Constant Elasticities of Substitution". Review of Economic Studies, vol. 81, no. 4, 1962, pp. 291-299.

Varian, Hal R. Microeconomic Analysis. New-York, W.W. Norton, 2e édition, 1984.

Wills, John. "Technical Change in the U.S. Primary Metals Industry", Journal of Econometrics, vol. 10, no. 1, 1979, pp. 85-98.

Wonnacott, Ronald J. et Thomas H. Wonnacott. Econometrics. New-York, John Wiley and Sons, 1979.

Zellner, A. "An Efficient Method for Estimating Seemingly Unrelated Regressions and Tests for Aggregation Bias", Journal of the American Statistical Association, vol. 57, no. 3, 1962, pp. 585-612.