

# Vers une mesure de la progressivité technologique A Measure of Technological Progressiveness

Marcel Simoneau

Volume 58, numéro 3, juillet–septembre 1982

Le progrès technologique

URI : <https://id.erudit.org/iderudit/601024ar>

DOI : <https://doi.org/10.7202/601024ar>

[Aller au sommaire du numéro](#)

Éditeur(s)

HEC Montréal

ISSN

0001-771X (imprimé)

1710-3991 (numérique)

[Découvrir la revue](#)

Citer cet article

Simoneau, M. (1982). Vers une mesure de la progressivité technologique. *L'Actualité économique*, 58(3), 283–302. <https://doi.org/10.7202/601024ar>

Résumé de l'article

In this paper, the technological progress is measured by the relative change in total unit costs when input prices are constant and when the scale of production is optimal, that is where marginal cost intersects with average cost. The conceptual framework for a measurement of technological change is presented in the first section. Optimal scale and minimum average cost are therein illustrated, to elaborate, afterwards, on the decomposition of technical change in three major components. The approach to analyze the time pattern of substitution possibilities is given attention to as well as the analysis of heterotheticity and of various types of technological biases. The second section deals briefly with the econometrics of technology estimation on a sectoral basis. The technology is modelled through a "translog" cost function, that proves to be a second order approximation of any cost function. It is worthwhile to point out that this function may exhibit timevarying substitution elasticities as well as variable returns to scale. A brief discussion of the data used follows. The methodology was applied to Electrical and Chemical product industries, at the three digits level. In the third section, the empirical results are analyzed. They allowed to characterize the substitution profile, the scale and technological biases. They lead, also, to a decomposition analysis of technological change in three major components: efficiency effect, scale effect and bias effect. The analysis was related to 16 subsectors in the Canadian manufacturing, over the period 1961-1976.

## VERS UNE MESURE DE LA PROGRESSIVITÉ TECHNOLOGIQUE\*

Le but de cette étude est de fournir un cadre d'analyse du progrès technologique et de ses différences caractéristiques. Nous pensons que l'intérêt d'une telle étude provient d'une modélisation générale de la technologie, où les élasticités de substitution et les rendements à l'échelle sont variables et où les facteurs de production analysés ne se limitent pas uniquement aux facteurs travail et capital. En fait l'approche proposée se veut une généralisation des démarches de Messieurs Forsund et Hjalmarsson (1979) et de Monsieur W.E.G. Salter (1960). En outre, l'analyse était menée au niveau des secteurs industriels de trois et quatre chiffres de l'industrie canadienne de la fabrication.

Avec le développement de la théorie de la dualité, l'on a spécifié des fonctions de production et des fonctions de coût relativement générales, qui se voulaient une approximation de toute fonction, différentiable deux fois. Ces formulations plus générales permettaient la prise en compte de rendements à l'échelle variables et de possibilités de substitution inter-facteur pouvant varier dans le temps. Il était dès lors possible de modéliser un ensemble varié de technologies. Dans un tel cadre, on peut assimiler le progrès technologique à une variation des coûts unitaires quand les prix sont constants et les rendements à l'échelle égaux à l'unité<sup>1</sup>.

Ce résultat sera la pierre angulaire de notre analyse. Ainsi mesurerons-nous le progrès technologique par le changement du coût moyen quand les prix des facteurs sont constants et la production, optimale. Toutefois, l'on peut arguer que le progrès technologique ne se situe pas seulement au niveau des processus de production, mais également dans la modification des produits. Mais cependant, dans la mesure

---

\* Tous nos remerciements à MM. P. Hanel, M. Fuss, E.R. Bernt ainsi qu'à un commentateur anonyme pour leurs précieux commentaires. De toute évidence, le présent article n'engage que l'auteur, dissociant en conséquence de toute responsabilité le conseil économique du Canada pour les erreurs subsistantes.

1. Marcel Simoneau, *Mesure de la progressivité technologique et analyse de ses caractéristiques sectorielles*, Communication au 21<sup>e</sup> Congrès de la Société canadienne de Science économique, Sherbrooke, avril 1981, p. 4.

où la modification des produits se traduit par un changement dans les coûts de production, notre mesure révèle implicitement cet effet. Les données disponibles n'ont pu permettre une démarcation non équivoque entre ces deux types de progrès technologique.

Nous exposerons, dans une première section, le cadre conceptuel dans lequel s'inscrit notre mesure du changement technologique. Nous y illustrerons la notion de production optimale et de coût moyen minimum, avant de procéder à une décomposition du progrès technologique en trois effets principaux. Nous élaborerons ensuite la démarche qui permet un examen du profil de substitution et l'analyse de l'homothéticité et du biais technologique.

La seconde partie esquissera rapidement l'estimation économétrique de la technologie sur une base sectorielle. À cette fin, nous utiliserons une fonction de coût de type « translog », qui constitue une approximation de second ordre de toute fonction de coût. Nous y discuterons également des données utilisées.

Dans une troisième section, nous examinerons, pour les sous-secteurs de l'industrie canadienne des produits électriques et des produits chimiques, le profil de substituabilité, le niveau d'hétérothéticité et le degré de biais technologique. Pour ces mêmes sous-secteurs, nous traiterons de la décomposition du progrès technologique en trois effets principaux : effet d'efficacité, effet d'échelle et effet de biais.

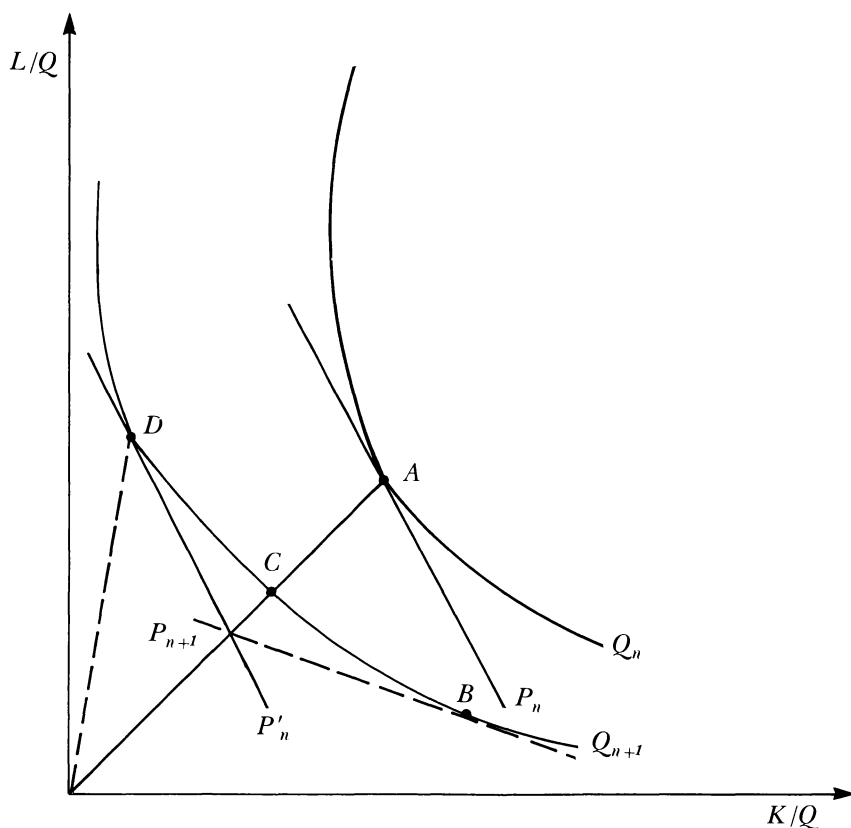
#### I- CADRE CONCEPTUEL DE MESURE DU PROGRÈS TECHNOLOGIQUE

Suivant Salter [1960], l'on mesure le changement technologique par la variation des coûts unitaires entre deux périodes, quand les techniques utilisées à chaque période sont celles qui minimisent les coûts unitaires, les prix des facteurs demeurant inchangés. Graphiquement, le problème se présente de la façon suivante dans une technologie à deux facteurs.

On porte en ordonnée le coefficient travail-production ( $L/Q$ ) et on abscisse le rapport capital-travail ( $K/Q$ ). Les isoquants  $Q_n$  et  $Q_{n+1}$  déterminent les coefficients des facteurs en période  $n$  et  $n+1$  la production entre les deux périodes étant inchangée. Les droites  $P_n$  et  $P_{n+1}$  expriment les rapports de prix en période  $n$  et  $n+1$ , pendant que la droite  $P_n'$  constitue un déplacement parallèle de la droite  $P_n$ . Il faut bien noter ici l'optimalité des points  $A$ ,  $B$  et  $D$ , puisque tous trois se situent au point de tangence de la droite des rapports de prix et de l'isoquant, ce qui implique une minimisation des coûts unitaires. Au graphique 1, le progrès technique est mesuré dès lors par le changement dans l'utilisation des facteurs, quand leurs prix demeurent inchangés entre deux périodes, soit le sentier  $A-D$ . Mais le passage du point  $A$  au point  $D$  sous-tend trois effets : un

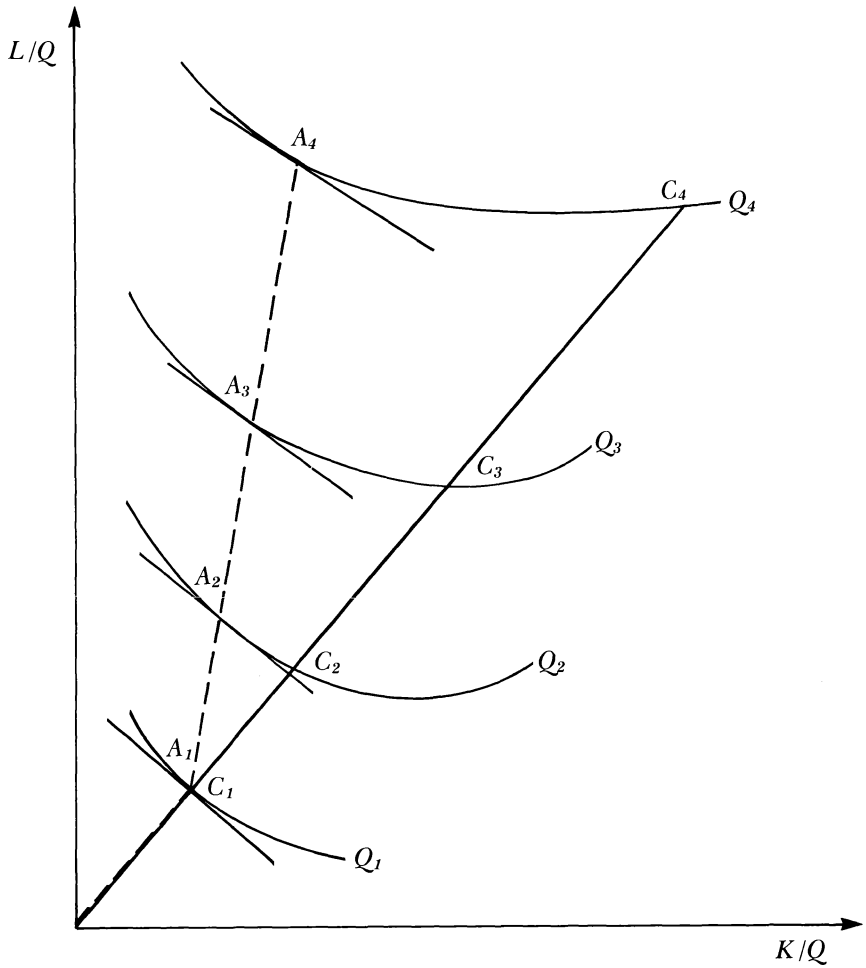
## GRAPHIQUE 1

ÉVOLUTION DU PROGRÈS TECHNIQUE DANS UNE TECHNOLOGIE À DEUX FACTEURS



effet équiproportionnel, un changement du rapport capital-travail et une modification de l'élasticité de substitution. Le premier est représenté par le segment  $A-C$ , et les deux autres par l'arc  $C-D$ . L'on peut introduire les économies d'échelle de façon similaire, en comparant les isoquants à divers niveaux d'output. Le graphique 2 illustre l'effet d'échelle, c'est-à-dire l'utilisation de chaque facteur consécutive à un accroissement du niveau de production à une période donnée. On note donc un effet équiproportionnel le long du sentier  $C$  et le biais d'échelle ou degré d'hétérothéticité le long du sentier  $A$ . Le premier effet crée un mouvement proportionnel de l'utilisation de chaque facteur pendant que le second institue une modification du rapport des facteurs. Si l'on compare les points  $A_1$  et  $A_2$ , la droite  $A_1C_2$  désigne l'effet équiproportionnel, tandis que l'arc  $A_2C_2$  représente le biais d'échelle. Donc, le progrès technique sous-tendra trois effets principaux : un effet

GRAPHIQUE 2  
EFFET D'ÉCHELLE DANS UNE TECHNOLOGIE À DEUX FACTEURS



équiproportionnel, un effet d'échelle et un effet de biais, ce dernier conjuguant un changement du rapport des facteurs et de l'élasticité de substitution entre eux. L'effet d'échelle est représenté au graphique 2, pendant que les deux autres sont illustrés au graphique 1. Cependant, ces effets ne peuvent être mesurés indépendamment, sans une connaissance a priori de la fonction de production.

On peut montrer<sup>2</sup> que, sous des conditions assez générales, la fonction de coût et la fonction de production constituent une représentation équivalente de la technologie.

Soit donc une fonction de coût de type «translog»<sup>3</sup>, capable de représenter toute fonction de coût différentiable deux fois. Selon cette spécification, la variation relative du coût moyen, exprimée sous forme discrète, s'écrit :

$$d \ln \left( \frac{C}{Q} \right) = \sum_i \frac{1}{2} \left( \frac{\partial C}{\partial p_i} \frac{p_i}{C_{1T}} + \frac{\partial C}{\partial p_i} \frac{p_i}{C_{1T0}} \right) (\ln p_{it} - \ln p_{i0}) \quad (1)$$

$$+ \left[ \frac{1}{2} \left( \frac{\partial C}{\partial Q} \frac{Q}{C_{1T}} + \frac{\partial C}{\partial Q} \frac{Q}{C_{1T0}} \right) - 1 \right] (\ln Q_t - \ln Q_0)$$

$$+ \left[ \frac{1}{2} \left( \frac{\partial C}{\partial t} \frac{1}{C_{1T}} + \frac{\partial C}{\partial t} \frac{1}{C_{1T0}} \right) \right] (T - T_0)$$

où :

$C$  : coût total

$Q$  : niveau de production

$p_i$  : vecteur de prix des inputs

$T$  : tendance linéaire approximant l'état de la technologie.

Si l'on accepte l'hypothèse de concurrence parfaite sur le marché des facteurs et celle de minimisation des coûts, le lemme de Shephard<sup>4</sup> stipule que  $\partial c / \partial p_i = X_i$ . Les élasticités  $(\partial c / \partial p_i) (p_i / c)$  de la relation (1) peuvent donc s'interpréter comme les parts relatives de chaque facteur, qui s'écrivent selon la spécification translogarithmique de la façon suivante :

$$s_{it} = \frac{p_i X_i}{C} = \frac{\partial \ln C}{\partial \ln p_i} = \alpha_i + \sum_j \alpha_{ij} \ln p_{jt} + \alpha_{Q_i} \ln Q_t + \alpha_{\theta_i} \cdot T \quad (2)$$

Selon la micro-économie conventionnelle, le coût moyen est minimum à son intersection avec le coût marginal. Ce qui implique que l'élasticité du coût par rapport à la production est unitaire au niveau du coût moyen

2. W.E. Diewert, « An application of the Shephard Duality Theorem: A Generalized Leontief Production Function », *Journal of Political Economy*, vol. 79, n° 3, mai-juin 1971, pp. 481-501.

3. Pour une définition générale de la fonction de coût translog, voir A.D. Woodland [1976].

4. Voir W.E. Diewert [1971].

minimum. La production correspondant au coût moyen minimum est dite optimale. Pour le calcul de la production optimale, il suffit de poser  $(\partial c/\partial Q)(Q/c) = 1$  et de résoudre par rapport à  $Q$ .

Dans ces conditions, la variation du coût moyen minimum à prix constants ne sera mesurée que par le troisième terme de la relation (1). Notre mesure du progrès technique s'écrira alors :

$$\begin{aligned}
 H_t \equiv \frac{(C/Q)^*_t}{(C/Q)^*_{t_0}} = & \exp \left[ \alpha_\theta + \sum \alpha_{\theta_i} \ln p_{it_0} + \alpha_{\theta_0} \ln Q^*_{t_0} \right. \\
 & \left. + \frac{1}{2} \alpha_{\theta\theta} (T + T_0) \right] (T - T_0) \\
 & \cdot \exp \left[ \frac{1}{2} \alpha_{\theta_0} (\ln Q^*_t - \ln Q^*_{t_0}) \right] (T - T_0) \\
 & \cdot \exp \left[ \frac{1}{2} \sum_i \alpha_{\theta_i} (\ln p_{it} - \ln p_{it_0}) \right] (T - T_0) \quad (3)
 \end{aligned}$$

La relation (3) permet une décomposition du changement technologique. Le premier terme désigne l'effet d'efficacité (équi-proportionnel). Il mesure essentiellement un déplacement parallèle de la fonction de coût. Le deuxième terme représente l'effet d'échelle, alors que le troisième constitue l'effet de biais. L'importance de ce dernier effet laissera entrevoir de profondes variations dans les possibilités de substitution interfacteurs avec l'inauguration de nouvelles techniques de production.

Nous avons jusqu'à maintenant mesuré le progrès technologique par l'évolution du coût moyen minimum. Cependant, ce dernier reflète implicitement les possibilités de substitution entre les différents facteurs, le niveau d'hétérothéticité et les diverses sortes de biais technologiques. Une façon d'étudier les possibilités de substitution dans une technologie donnée est d'analyser les élasticités de substitution  $\sigma_{ij}$  entre les divers facteurs et les élasticités-prix  $\eta_{ii}$  propres à chaque facteur. Dans le cas d'une fonction de coût translog<sup>5</sup>, l'on obtient :

$$\sigma_{ij} = \frac{\alpha_{ij}}{S_i \cdot S_j} + 1 \quad i \neq j$$

Les élasticités-prix s'écrivent :

$$\eta_{ii} \equiv \frac{\partial X_i}{\partial p_i} \frac{p_i}{X_i} = \frac{\alpha_{ii}}{S_i} + S_i - 1$$

5. H.P. Binswanger, « The Measurement of Technical Changes Biases with Many Factors of Production », *American Economic Review*, décembre 1974, pp. 964-976.

On peut également caractériser la technologie industrielle par la direction de l'hétérothéticité, ou si l'on veut le biais d'échelle. Ce concept implique une variation dans la part relative de chaque facteur, consécutive à une poussée de l'échelle de production. Ce qui est mesuré par le paramètre  $\alpha_{qi}$  de la relation (2). D'autre part, on analyse le biais technologique par le paramètre  $\alpha_{\theta i}$  de la même relation. Ainsi le progrès technologique sera neutre vis-à-vis du facteur  $i$  si  $\alpha_{\theta i}$  est (statistiquement) nul et non neutre en regard du facteur  $j$ , lorsque  $\alpha_{\theta j}$  est  $\geq 0$ . Ce qui permettra une meilleure caractérisation du progrès technologique sur une base industrielle.

Nous avons, au cours de cette section, tenté de circonscrire le cadre de notre mesure du progrès technologique. Nous proposons une fonction de coût translog, qui permettait de modéliser un ensemble varié de technologies, tant par la structure de substituabilité et d'hétérothéticité que par la présence éventuelle de biais technologique.

## II- CADRE ÉCONOMÉTRIQUE ET DONNÉES UTILISÉES

Notre propos, au cours de cette section, sera de discuter de l'estimation d'une fonction de coût translog introduite dans la section précédente et de caractériser les variables utilisées. Si l'on adjoint à la fonction de coût translog les parts relatives de chaque facteur, l'on obtient le système suivant :

$$s_{it} = \alpha_i + \sum_j \alpha_{ij} \ln p_{jt} + \alpha_{qi} \ln Q_t + \alpha_{\theta i} \cdot T \quad (4)$$

$$\begin{aligned} \ln C_t &= \alpha_0 + \sum_i \beta_i \ln p_{it} + \alpha_q \ln Q_t + \alpha_\theta \cdot T \\ &+ \frac{1}{2} \sum_i \sum_j \alpha_{ij} \ln p_{it} \cdot \ln p_{jt} \\ &+ \sum_i \alpha_{iq} \ln p_{it} \ln Q_t + \sum_i \alpha_{i\theta} \ln p_{it} \cdot T + \frac{1}{2} \alpha_{qq} (\ln Q_t)^2 \\ &+ \alpha_{q\theta} \ln Q_t \cdot T + \frac{1}{2} \alpha_{\theta\theta} T^2 \quad i=1,2,\dots,n \quad (5) \end{aligned}$$

sous les contraintes

$$\sum_i \alpha_i = \sum_i \beta_i = 1$$

$$\sum_i \alpha_{ij} = 0$$

$$\sum_i \alpha_{qi} = \sum_i \alpha_{iq} = 0$$

$$\sum_i \alpha_{\theta i} = \sum_i \alpha_{i\theta} = 0$$

(6)



et

$$\begin{aligned}
 \alpha_i &= \beta_i \\
 \alpha_{ij} &= \alpha_{ji} \\
 \alpha_{qi} &= \alpha_{iq} \\
 \alpha\theta_i &= \alpha_i\theta
 \end{aligned} \tag{7}$$

En utilisant une forme discrète du changement du coût moyen entre les périodes  $t$  et  $(t-1)$ , et en incorporant les contraintes (6), l'on obtient le système suivant:

$$s_{it} = \alpha_i + \sum_j \alpha_{ij} (\ln p_{jt} - \ln p_{jt}) + \alpha_{qi} \ln Q_t + \alpha\theta_i \cdot T \tag{8}$$

$$\begin{aligned}
 s_{ct} &= \alpha\theta + (\alpha_q - 1) (\ln Q_t - \ln Q_{t-1}) \\
 &+ \sum_i \alpha_{iq} \frac{(\ln p_{it} + \ln p_{i(t-1)}) (\ln Q_t - \ln Q_{t-1})}{2} \\
 &+ \alpha_{qq} \frac{(\ln Q_t + \ln Q_{t-1}) (\ln Q_t - \ln Q_{t-1})}{2} \\
 &+ \alpha_q\theta (T \cdot \ln Q_t - (T-1) \ln Q_{t-1}) \\
 &+ \sum_i \alpha_i\theta \frac{(\ln p_{it} + \ln p_{i(t-1)})}{2} + \alpha\theta\theta \frac{(T+(T-1))}{2} \\
 & \qquad \qquad \qquad i, j = 1, 2, \dots, n-1 \tag{9}
 \end{aligned}$$

sous les contraintes :

$$\begin{aligned}
 \alpha_i &= \beta_i \\
 \alpha_{ij} &= \alpha_{ji} \\
 \alpha_{qi} &= \alpha_{iq} \\
 \alpha\theta_i &= \alpha_i\theta
 \end{aligned} \tag{10}$$

où :

$$\begin{aligned}
 s_{ct} &= \ln \left( \frac{C}{Q} \right)_t - \ln \left( \frac{C}{Q} \right)_{t-1} - (\ln p_{xt} - \ln p_{x(t-1)}) \\
 &- \frac{1}{2} \sum_i (s_{it} + s_{i(t-1)}) (\ln p_{it} - \ln p_{i(t-1)})
 \end{aligned}$$

La variable  $p_x$  désignait le prix du facteur dont l'équation avait été retranchée du système (4)–(5). Dans notre cas, il s'agissait du prix de l'énergie. Nous avons donc estimé simultanément le système (8)–(9) par la méthode de Zellner<sup>6</sup> pour les sous-secteurs de l'industrie des produits électriques et des produits chimiques.

6. Voir H. Theil [1971] et A. Zellner [1962].

Mentionnons que notre analyse se situait au niveau le plus bas possible d'agrégation sectorielle, soit au niveau des secteurs à trois et quatre chiffres. Signalons, en outre, que notre étude s'étend sur la période 1961-1976, pendant que les données utilisées proviennent surtout des tableaux d'échanges inter-industriels et du recensement annuel des manufactures. Nous avons supposé au cours de cette section que notre champ d'observations permettait de représenter sans biais la technologie d'un secteur industriel donné.

Nous avons utilisé des données concernant cinq facteurs de production : capital, main-d'oeuvre à la production, main-d'oeuvre administrative, matériaux et énergie. La mesure du capital utilisée est le stock brut de mi-année en dollars de 1961 tiré d'un rapport préliminaire de Statistique Canada intitulé *Stocks de capital fixe dans les industries manufacturières à trois chiffres*. Le procédé par lequel l'on obtient ces estimations est une version modifiée de la méthode de « l'inventaire permanent ». Essentiellement, cette méthode consiste à obtenir une estimation fiable du stock initial de capital par activité économique et des dépenses d'investissement au cours des années suivantes ; ces deux composantes permettent de dériver le stock de capital pour une année donnée. Les éléments fondamentaux de la mesure sont les suivants : stock de capital initial par industrie, dépenses annuelles d'investissement en dollars courants, indices de prix d'investissement et estimation de la vie économique moyenne des immobilisations. Les données mises à notre disposition couvraient 126 sous-secteurs de l'industrie canadienne de la fabrication.

Le prix du capital était défini par les coûts non salariaux par unité de capital, ajustés par le taux d'utilisation de ce dernier. Les coûts non salariaux étaient mesurés par la valeur ajoutée, déduite des profits et de la masse salariale. Précisons, ici, que les tableaux d'échanges inter-industriels, mis à notre disposition, tant en dollars constants qu'en dollars courants, couvraient 192 industries et 100 types de biens. On a aussi pu disposer d'estimations des profits au niveau des secteurs à trois chiffres de l'industrie manufacturière, pendant que la valeur ajoutée et la masse salariale étaient tirées directement des tableaux d'échanges inter-industriels. Le taux d'utilisation du capital était calculé par une variante de la méthode utilisée à la Banque du Canada.

La main-d'oeuvre à la production était mesurée par le nombre total d'heures payées aux employés à la production, tandis que le prix de ce facteur était défini par le salaire horaire moyen. Ces données provenaient du recensement annuel des manufactures. Il en était de même du nombre d'employés administratifs et du salaire annuel moyen de ces derniers.

La quantité utilisée de matériaux était définie par les dépenses en matériaux en dollars constants et leur prix par le rapport entre les dépenses en dollars courants et en dollars constants. Le même type de calcul

était effectué dans le cas des dépenses énergétiques. Ces éléments étaient tirés directement des tableaux d'échanges inter-industriels. Signalons que les éléments des dépenses énergétiques étaient les suivants : charbon, gaz naturel, essence et fuel, produits divers du charbon et du pétrole, électricité et utilités diverses. Signalons que la production était mesurée par la production brute en dollars constants. Mentionnons qu'aucun ajustement ne fut apporté dans les changements qualitatifs des facteurs. Ceci peut se justifier de deux façons. D'une part, nos estimations sont faites au niveau des prix de chaque facteur et non au niveau des quantités utilisées de chaque facteur. D'autre part, dans la mesure où les changements de qualité se traduisent au niveau des prix, notre mesure en tient compte implicitement.

### III- PROFIL DU PROGRÈS TECHNOLOGIQUE

Nous décrirons, ici, les différents contours de la progressivité technologique dans les sous-secteurs de l'industrie canadienne des produits électriques et des produits chimiques. C'est ainsi que nous étudierons, tour à tour, profil de substitution, niveau d'hétérothécité et biais technologique, avant de traiter de la décomposition du changement technologique.

#### A- Profil de substitution

Tel que suggéré, dans la première partie, la fonction de coût translog permet de générer des élasticités de substitution variables. Ce qui permet de décrire l'évolution temporelle des possibilités de substitution interfacteurs, et donc une meilleure appréhension du changement technologique. Nous avons, en conséquence, estimé les élasticités de substitution de chaque secteur pour la période 1961-1976.

TABLEAU 1  
PRODUITS ÉLECTRIQUES  
PROFIL DE SUBSTITUTION

	C	V	N
$\sigma_{KL_1}$	4	1	3
$\sigma_{KL_2}$	4	0	4
$\sigma_{KM}$	3	3	2
$\sigma_{KN}$	0	2	6
$\sigma_{L_1L_2}$	0	3	5
$\sigma_{L_1M}$	6	0	2
$\sigma_{L_1N}$	1	0	7
$\sigma_{L_2M}$	7	1	0
$\sigma_{L_2N}$	0	0	8
$\sigma_{MN}$	0	2	6

Le tableau 1 présente un examen schématique du profil temporel de substitution pour les huit sous-secteurs de l'industrie des produits électriques : petits appareils électriques, gros appareils électriques, radios et téléviseurs ménagers, équipement de télécommunication, équipement électrique industriel, fabricants d'accumulateurs, fils et câbles électriques, produits électriques divers. Il se lit de la façon suivante. Prenons la troisième ligne. L'élasticité de substitution entre capital et matériaux ( $\sigma_{KM}$ ) était constante dans 3 secteurs, variable dans 3 et non significative dans 2. Les variables  $K, L_1, L_2, M$  et  $N$  désignent respectivement le capital, la main-d'oeuvre à la production, la main-d'oeuvre administrative, les matériaux et l'énergie.

L'industrie des produits électriques se caractérisait par une certaine fixité des possibilités de substitution. C'est ainsi que 4 élasticités de substitution s'étaient révélées invariantes dans les huit secteurs de l'industrie pour la période 1961-1976, pendant que 2 (capital-travailleurs à la production, matériaux — main-d'oeuvre administrative) étaient stationnaires dans 7 secteurs. Il ressortait que dans 5 secteurs sur huit l'ensemble des élasticités de substitution n'avait pas varié au cours de la période analysée. Le déplacement des possibilités de substitution s'instituait particulièrement au niveau du capital et des matériaux, et des deux types de main-d'oeuvre, comme en fait foi la deuxième colonne du tableau 1. Cette situation caractérisait, entre autres secteurs, celui des radios et des téléviseurs ménagers.

Nous présentons, au tableau 2, le profil temporel de substituabilité pour les sous-secteurs de l'industrie chimique, soit : engrais composés,

TABLEAU 2  
PRODUITS CHIMIQUES  
PROFIL DE SUBSTITUTION

	<i>C</i>	<i>V</i>	<i>N</i>
$\sigma_{KL_1}$	4	1	3
$\sigma_{KL_2}$	1	0	7
$\sigma_{KM}$	2	1	5
$\sigma_{KN}$	2	0	6
$\sigma_{L_1L_2}$	5	0	3
$\sigma_{L_1M}$	4	1	3
$\sigma_{L_1N}$	2	0	6
$\sigma_{L_2M}$	3	1	4
$\sigma_{L_2N}$	1	0	7
$\sigma_{MN}$	0	0	8

matières plastiques et résines synthétiques, médicaments et produits pharmaceutiques, peintures et vernis, savons et nettoyants, articles de toilette, produits chimiques industriels et produits chimiques divers.

L'invariance des possibilités de substitution apparaît nettement dans le secteur des produits chimiques à la lecture du tableau 2. L'on pouvait constater, en effet, que dans sept secteurs sur huit, l'ensemble des élasticités de substitution s'était révélé stationnaire au cours de la période 1961-1976. Ainsi, les élasticités de substitution capital-énergie et matériaux-énergie n'avaient pas varié pour l'ensemble des huit secteurs de l'industrie chimique, pendant que les élasticités capital-main-d'œuvre à la production et capital-matériaux ne bougeaient que dans un seul secteur, soit respectivement ceux des engrais composés et des articles de toilette. Comme on le voit, l'ensemble de l'industrie des produits chimiques partageait une invariance quasi-complète du profil de substitution des différents facteurs. On peut noter, effectivement, que sur une possibilité de 80 élasticités de substitution, seulement quatre épousaient une certaine variation au cours de la période 1961-1976.

Il se dégage, de cette analyse, une invariance certaine des possibilités de substitution dans les industries des produits électriques et des produits chimiques. Cependant, dans certains secteurs de l'industrie des produits électriques, comme les radios et téléviseurs ménagers, équipement de télécommunications et fils et câbles électriques, l'on pouvait noter un déplacement des possibilités de substitution, entre autres pour capital-matériaux et les deux types de main-d'œuvre. Dans l'industrie des produits chimiques, le seul changement notable concernait la complémentarité accrue entre main-d'œuvre à la production et matériaux dans les produits chimiques industriels.

### *B- Hétérothéticité et biais technologique*

Nous caractériserons la technologie de l'industrie des produits électriques et des produits chimiques par l'analyse des paramètres d'hétérothéticité. Au cours de la première section, nous avons montré que les paramètres  $\alpha_{Q_i}$  définissaient l'incidence d'une variation de la production sur l'évolution des parts relatives de chaque facteur,  $(\partial s_i / \partial \ln Q)$ , soit la direction de l'hétérothéticité.

Le tableau 3 énumère le nombre de sous-secteurs, dans l'industrie des produits électriques et des produits chimiques, dont les paramètres d'hétérothéticité ont été nuls (N), positifs (B+) et négatifs (B-). Les symboles  $\alpha_{Q_K}$ ,  $\alpha_{Q_{L1}}$ ,  $\alpha_{Q_{L2}}$ ,  $\alpha_{Q_M}$  et  $\alpha_{Q_N}$  définissaient respectivement l'impact d'une augmentation de la production sur les parts relatives du capital, de la main-d'œuvre à la production, des employés administratifs, des matériaux et de l'énergie. Il ressort que dans l'industrie des produits électriques et des produits chimiques la structure productive était homothétique

TABLEAU 3  
PARAMÈTRES D'HÉTÉROTHÉTICITÉ

INDUSTRIE DES PRODUITS ÉLECTRIQUES					
	$\alpha_{QK}$	$\alpha_{QL1}$	$\alpha_{QL2}$	$\alpha_{QM}$	$\alpha_{QN}$
N	7	6	3	2	8
B+	0	0	0	6	0
B-	1	2	5	0	0
INDUSTRIE DES PRODUITS CHIMIQUES					
	$\alpha_{QK}$	$\alpha_{QL1}$	$\alpha_{QL2}$	$\alpha_{QM}$	$\alpha_{QN}$
N	6	2	4	2	7
B+	1	0	0	6	0
B-	1	6	4	0	1

vis-à-vis le capital et l'énergie. On constate en effet que dans le secteur des produits électriques, pour respectivement sept et huit secteurs, les parts du capital et de l'énergie se révélaient insensibles à une augmentation de la production. Dans le cas de la main-d'oeuvre à la production, cette situation se vérifiait dans six secteurs sur huit. D'autre part, le niveau de production exerçait une pression à la baisse de la part relative de la main-d'oeuvre administrative dans 5 secteurs de l'industrie des produits électriques, pendant que la demande relative de matériaux était en hausse dans six secteurs. *Ainsi donc, dans cette industrie, la structure productive était neutre en capital, énergie et main-d'oeuvre à la production, à intensité accrue en matériaux et utilisation réduite de la main-d'oeuvre administrative.* Ce qui était caractéristique en particulier du secteur des équipements en télécommunications.

Dans l'industrie des produits chimiques, l'on retrouve une structure homothétique vis-à-vis le capital et l'énergie. La part relative des matériaux croissait avec la poussée de l'échelle de production dans six secteurs, pendant que la demande relative de main-d'oeuvre (administrative et à la production) se ralentissait dans respectivement quatre et six secteurs. Le secteur des savons et nettoyeurs était caractéristique à cet égard.

Les paramètres  $\alpha_{\theta K}$ ,  $\alpha_{\theta L_1}$ ,  $\alpha_{\theta L_2}$ ,  $\alpha_{\theta M}$ ,  $\alpha_{\theta N}$ , déterminent l'effet de la technologie (représentée ici par une tendance linéaire) sur les parts respectives du capital, de la main-d'oeuvre (à la production et administrative), des matériaux et de l'énergie. Tel qu'expliqué dans la première section, ces paramètres permettent une caractérisation du biais technologique. Le tableau 4 épouse une interprétation similaire à celle du tableau précédent; il évalue globalement l'orientation du biais technologique. Il acquiert toute sa signification lorsque confronté au tableau 3. Dans l'analyse du biais technologique, la neutralité du capital et de l'énergie

TABLEAU 4  
MESURE DU BIAIS TECHNOLOGIQUE

INDUSTRIE DES PRODUITS ÉLECTRIQUES					
	$\alpha\theta_K$	$\alpha\theta_{L_1}$	$\alpha\theta_{L_2}$	$\alpha\theta_M$	$\alpha\theta_N$
N	7	4	0	2	8
B+	1	4	5	1	0
B-	0	0	3	5	0
INDUSTRIE DES PRODUITS CHIMIQUES					
	$\alpha\theta_K$	$\alpha\theta_{L_1}$	$\alpha\theta_{L_2}$	$\alpha\theta_M$	$\alpha\theta_N$
N	5	1	5	2	7
B+	1	6	2	0	1
B-	2	1	1	6	0

tend à demeurer, tant dans l'industrie des produits électriques que dans le secteur des produits chimiques.

Les résultats du tableau 4 font clairement ressortir que le progrès technique est utilisateur de main-d'oeuvre, et ce dans les deux industries analysées, au cours de cet article. On constate, en effet, un biais positif vis-à-vis la main-d'oeuvre à la production dans 4 secteurs de l'industrie des produits électriques et dans six secteurs de l'industrie chimique. Une situation semblable caractérise la main-d'oeuvre administrative, bien que l'on puisse noter une plus grande accentuation de la part relative de la main-d'oeuvre administrative dans l'industrie des produits électriques.

Dans le cas des matériaux, la progressivité technologique tendait à stimuler une réduction de leur part relative. Selon le tableau 4, le progrès technologique réduisait la part des matériaux dans 5 secteurs des produits électriques et dans six secteurs de l'industrie chimique. Un biais positif relatif à la part des matériaux n'était enregistré que dans le sous-secteur des gros appareils électriques. Donc, le biais technologique accélérât l'intensité du travail et amenuisait la part des matériaux, étant quasi-invariant sur les parts relatives du capital et de l'énergie.

#### *C- Décomposition du changement technologique*

Rappelons que le changement technologique est mesuré par la variation du coût moyen, quand les prix sont constants et la production à son niveau optimal. Ce qui revient à préciser le profil temporel du coût moyen minimum.

L'on retrouve au tableau 5 la décomposition du coût moyen minimum sur une base annuelle pour les huit sous-secteurs de l'industrie des pro-

duits électriques, au cours de la période 1961-1976. Le tableau 5 se lit de la façon suivante. À titre d'illustration, prenons la ligne 3. La première colonne (*T*) définit la variation annuelle moyenne du coût moyen minimum pour le secteur 3 (radios et téléviseurs ménagers). Ainsi dans ce secteur, le coût moyen minimum se réduisait de 2,0 % par année au cours de la période 1961-1976. La deuxième colonne du tableau (*N*) se réfère au changement du coût moyen minimum quand la production optimale est inchangée et les parts relatives des facteurs constantes. La troisième colonne (*Q*) détermine la variation du coût moyen minimum associée à un déplacement de la production optimale, et la quatrième (*B*) décrit l'incidence d'un changement dans les parts relatives sur le coût moyen minimum.

De ces résultats, il ressort que dans les secteurs des radios et téléviseurs ménagers et des produits électriques divers, l'évolution de la technologie était la plus accentuée, avec une baisse d'environ 2 % par année du coût moyen minimum, tandis que dans les fils et les câbles électriques elle avait tendance à être stationnaire. Pour l'ensemble de l'industrie, l'abaissement du coût moyen minimum atteignait 1,4 % par année. L'effet production le plus important était noté dans les secteurs des petits appareils électriques et de l'équipement électrique industriel. Tel que l'indique la dernière colonne du tableau 5, l'effet de biais témoignait de peu d'importance dans l'industrie des produits électriques, sauf dans le secteur de l'équipement de télécommunications. La montée de la part relative des employés administratifs suggérait une automatisation accrue des processus.

De façon générale, l'avancement technologique manifestait peu de dynamisme dans l'industrie des produits électriques, comme en témoigne

TABLEAU 5  
DÉCOMPOSITION DU COÛT MOYEN MINIMUM  
PRODUITS ÉLECTRIQUES  
1961-1976  
(%)

	<i>T</i>	<i>N</i>	<i>Q</i>	<i>B</i>
1	-1,4	4,8	-6,6	0,4
2	-1,6	0,8	-2,5	0,1
3	-2,0	-0,4	-1,5	-0,1
4	-1,0	-1,6	-0,1	0,7
5	-1,8	1,0	-3,3	0,5
6	-1,7	-1,6	-0,1	0
7	-0,5	1,4	-1,8	-0,1
8	-2,1	-1,7	-0,1	-0,3



l'évolution du coût moyen minimum. De plus, la progressivité technologique épousait une certaine décélération dans tous les secteurs, sauf celui des accumulateurs. On y enregistrait, effectivement, une accélération de la baisse du coût moyen minimum : passant de  $-0,2\%$  en 1962 à  $-3,3\%$  en 1976. Cet affaissement de l'avancement technologique avait été particulièrement caractéristique du secteur des gros appareils électriques.

Le tableau 6 se prête à la même interprétation que le tableau précédent. Contrairement à la situation dans les produits électriques, le progrès technologique dans l'industrie des produits chimiques illustre de fortes divergences sous-sectorielles. Dans les engrais composés (1), la réduction du coût moyen minimum atteignait  $3,7\%$  sur une base annuelle, pendant que le secteur des produits chimiques industriels (7) ne connaissait qu'une réduction de  $0,4\%$  du coût moyen minimum, illustrant une technologie quasi-stationnaire.

L'effet de biais se révélait de peu d'importance dans l'industrie canadienne des produits chimiques. On ne pouvait discerner des changements importants dans les parts relatives des facteurs que dans le secteur des articles de toilette, alors qu'une intensité capitalistique accrue tendait à ressortir. L'effet-production s'avérait particulièrement important dans les articles de toilette et dans le secteur des « peintures et vernis ».

Il ressortait généralement que l'avancement technologique, tel que mesuré par l'évolution du coût moyen minimum, était en régression dans l'industrie des produits chimiques, sauf dans le secteur des engrais composés. En effet, la réduction du coût moyen optimal y atteignait  $2,9\%$  en 1962, en regard de  $4,7\%$  en 1976. Dans tous les autres secteurs, le progrès

TABLEAU 6  
DÉCOMPOSITION DU COÛT MOYEN MINIMUM  
PRODUITS CHIMIQUES  
1961-1976  
(%)

	<i>T</i>	<i>N</i>	<i>Q</i>	<i>B</i>
1	-3,7	-1,8	-1,7	-0,2
2	-1,8	0,2	-2,1	0,1
3	-1,3	1,3	-2,5	-0,1
4	-3,4	2,2	-5,6	0
5	-3,1	1,5	-4,7	0,1
6	-1,3	10,2	-12,3	0,8
7	-0,4	3,0	-3,4	0
8	-2,7	0,5	-3,3	0,1

technologique était en baisse, au cours de la période 1961-1976, en particulier dans les fibres plastiques et les produits pharmaceutiques.

Au cours de cette étude du changement technologique dans l'industrie des produits électriques et des produits chimiques, il est ressorti une stationnarité quasi-complète des modalités de substitution, particulièrement dans le secteur des produits chimiques. On pouvait noter, toutefois, un déplacement des possibilités de substitution entre capital et matériaux, et entre les deux types de main-d'oeuvre dans l'industrie des produits électriques.

Notre analyse du biais technologique a clairement montré une utilisation plus intensive du travail et une baisse de la demande relative de matériaux et une neutralité vis-à-vis le capital et l'énergie. L'on a pu également observer que le progrès technologique s'était révélé plus rapide dans l'industrie des produits chimiques. De façon générale, le progrès technologique s'était ralenti au cours de la période 1961-1976, et ce dans la plupart des secteurs, sauf pour les fabricants d'accumulateurs et les engrais composés. Ce déclin de l'avancement technologique était particulièrement caractéristique des secteurs des gros appareils électriques, des fibres plastiques et des produits pharmaceutiques. Il est finalement apparu que le progrès technologique ne déplaçait que marginalement les parts relatives de chaque facteur ; en d'autres mots, que l'effet de biais était non significatif dans la plupart des secteurs.

Marcel SIMONEAU,  
*Conseil économique du Canada*

## ANNEXE

Les résultats présentés dans cet article étaient extraits d'une étude couvrant 59 sous-secteurs de l'industrie canadienne de la fabrication et regroupés en six secteurs majeurs : aliments et boissons, textiles, métaux primaires, équipement de transport, produits électriques et produits chimiques.

Nous avons estimé pour chacun de ces sous-secteurs une fonction de coût translogarithmique pour la période 1961-1976. Ce qui permettait ensuite d'évaluer la production optimale et l'évolution du coût moyen minimum à prix constants. Pour mieux caractériser la technologie, les élasticités de substitution entre les cinq facteurs de production ont été calculées sur une base annuelle. Les paramètres d'hétérothécité et de biais technologiques étaient comparés sur une base sectorielle.

En guise d'illustration nous présentons la variation du coût moyen minimum pour les sous-secteurs suivants : engrais composés, produits chimiques industriels, gros appareils électriques et fabricants d'accumulateurs. Les résultats économétriques complets sont disponibles auprès de l'auteur.

TABLEAU a1  
VARIATIONS DU COÛT MOYEN MINIMUM  
ANNÉES CHOISIES  
(%)

Années	Produits électriques		Produits chimiques	
	Gros appareils électriques	Fabricants d'accumulateurs	Engrais composés	Produits chimiques industriels
1962	-3,7	-0,2	-2,9	-0,9
1964	-3,1	-0,7	-2,9	-0,8
1966	-2,4	-1,3	-3,2	-0,7
1968	-1,9	-1,7	-3,3	-0,6
1970	-1,3	-2,1	-3,3	-0,5
1972	-1,0	-2,2	-3,7	-0,4
1974	-0,4	-2,8	-4,4	-0,2
1976	—	-3,3	-4,7	—

## BIBLIOGRAPHIE

- AVERCH, H., JOHNSON, L.L., « Behaviour of the Firm under Regulatory Constraint », *American Economic Review*, vol. 52, n° 5, décembre 1962, pp. 1053-1069.
- BERNDT, E.R., CHRISTENSEN, L.R., « The Translog Function and the Substitution of Equipment, Structures and Labor in U.S. Manufacturing, 1929-1968 », *Journal of Econometrics*, I 1973, pp. 81-114.
- BERNDT, E.R., KHALED, M.S., *Parametric Productivity Measurement and Choice Among Flexible Functional Forms*, Discussion Paper No. 78-78, University of British Columbia, Department of Economics, août 1978.
- BERNDT, E.R., WOOD, D.O., « Engineering and Econometric Interpretations of Energy-Capital Complementarity », *American Economic Review*, juin 1979, pp. 342-354.
- BINSWANGER, H.P., « The Measurement of Technical Change Biases with Many Factors of Production », *American Economic Review*, décembre 1974, pp. 964-976.
- BROWN, M., *On the Theory and Measurement of Technological Change*, Cambridge, Cambridge Press, 1966.
- CORNWALL, R.R., « A Note on Using Profit Functions to Aggregate Production Functions », *International Economic Review*, vol. 14, n° 2, juin 1973, pp. 511-519.
- DI EWERT, W.E., « An Application of the Shephard Duality Theorem: A Generalized Leontief Production Function », *Journal of Political Economy*, mai-juin 1971, pp. 481-507.
- FORSUND, F.R., HJALMARSSON, L.H., « Frontier Production Functions and Technical Progress: A Study of General Milk Processing in Swedish Dairy Plants », *Econometrica*, vol. 47, n° 4, juillet 1979, pp. 883-900.
- FUSS, M., MCFADDEN, D., *Production Economics: A Dual Approach to Theory and Applications*, Amsterdam, North Holland Publishing Co., 1978.
- FUSS, M., *An Analysis of Intertemporal Efficiency Gains Through the Decomposition of Actual Average Cost*, Institute of Policy Analysis, University of Toronto, Mimeo, décembre 1979.
- KMENTA, J., GILBERT, R.F., « Small Sample Properties of Alternative Estimates of Seemingly Unrelated Regressions », *Journal of the American Statistical Association*, décembre 1968, pp. 1180-1200.
- MCLAREN, K.R., COOPER, R.J., « Intertemporal Duality: Application to the Theory of the Firm », *Econometrica*, vol. 48, n° 7, novembre 1980, pp. 1755-1762.
- MOOD, A.M., GRAYBILL, F.A., *Introduction to the Theory of Statistics*, New York, McGraw-Hill, 1963.

- NERLOVE, M., *Estimation and Identification of Cobb-Douglas Production Functions*, Amsterdam, North Holland Publishing Company, 1965.
- SALTER, W.E.G., *Productivity and Technical Change*, Cambridge, Cambridge University Press, 1960.
- SHEPARD, R.M., *Theory of Cost and Production Functions*, Princeton, Princeton University Press, 1970.
- SIMONEAU, M., *Mesure et analyse du changement technologique sur une base sectorielle*, Conseil économique du Canada, miméo, septembre 1979.
- SIMONEAU, M., *Caractérisation technologique de l'industrie canadienne des produits chimiques*, Conseil économique du Canada, miméo, juillet 1980.
- SIMONEAU, M., *Profil technologique de l'industrie de la fabrication*, rapport préliminaire, Conseil économique du Canada, mars 1981.
- SIMONEAU, M., *Mesure de la progressivité technologique et analyse de ses caractéristiques sectorielles*, Communication au 21<sup>e</sup> Congrès de la Société canadienne de Science économique, Sherbrooke, avril 1981.
- SOLOW, R., « Technical Change and the Aggregate Production Function », *Review of Economics and Statistics*, vol. 39, août 1957, pp. 312-320.
- THEIL, H., *Principles of Econometrics*, John Wiley & Sons Inc., 1971.
- TINSLEY, P.A., « On Ramps, Turnpikes and Distributed Lags Approximations of Optimal Intertemporal Adjustment », *Western Economic Journal*, décembre 1970, pp. 397-411.
- WALTERS, A.A., « Production and Cost Functions: An Econometric Survey », *Econometrica*, janvier-août 1963, pp. 1-66.
- WOODLAND, A.D., *Modelling the Production Sector of an Economy: A Selective Survey and Analysis*, Discussion Paper No. 76-21, Department of Economics, University of British Columbia, mai 1976.
- ZELLNER, A., « An Efficient Method of Estimating Seemingly Unrelated Regressions and Tests for Aggregation Bias », *Journal of the American Statistical Association*, juin 1962, pp. 348-368.