

# Rendements d'utilisation et consommation d'énergie au Québec

## Energy consumption in Québec

Thuan-Van Truong and The-Hiep Nguyen

Volume 56, Number 1, janvier–mars 1980

URI: <https://id.erudit.org/iderudit/600891ar>

DOI: <https://doi.org/10.7202/600891ar>

[See table of contents](#)

Publisher(s)

HEC Montréal

ISSN

0001-771X (print)

1710-3991 (digital)

[Explore this journal](#)

Cite this article

Truong, T.-V. & Nguyen, T.-H. (1980). Rendements d'utilisation et consommation d'énergie au Québec. *L'Actualité économique*, 56(1), 97–110.  
<https://doi.org/10.7202/600891ar>

Article abstract

The concept of useful energy consumption has been used by some authors by weighting observed energy consumptions. It is argued in this paper that the weights should not be the regression parameter estimates of the GNP on various forms of energy consumptions as they are now, but they should be the mechanical use efficiency of each energy form. A number of functional forms of the GNP are then obtained, all very good from the econometric viewpoint. Finally, it is pointed out that the rate of substitution between different forms of energy does depend on the functional form of the GNP

## RENDEMENTS D'UTILISATION ET CONSOMMATION D'ÉNERGIE AU QUÉBEC

Il est légitime de présumer l'existence d'une relation entre le revenu d'une collectivité et sa consommation d'énergie. Depuis longtemps, plusieurs études ont vérifié cette relation par deux procédés classiques, qui sont la coupe instantanée et la chronique. Dans les deux cas, la proportionnalité entre la consommation d'énergie et le revenu national apparaît clairement et les études statistiques entre les grandeurs elles-mêmes font apparaître une corrélation élevée<sup>1</sup>. Dans une étude effectuée il y a plus de dix ans sur l'efficacité globale des utilisations de l'énergie dans les économies avancées, Adams et Miovic ont trouvé ce qu'ils ont qualifié de « paradoxe » : pour la plupart des nations industrialisées, l'élasticité de la consommation d'énergie par rapport au produit national brut, élasticité communément appelée coefficient énergétique, est inférieure à l'unité, alors qu'il semble bien que la croissance économique des nations, fondée sur le développement industriel, est de plus en plus intensive en énergie<sup>2</sup>. Est-ce à dire que l'on ne doit plus se fier à cette apparence trompeuse, ou que l'on doit procéder à une révision méthodologique de l'évaluation de la consommation d'énergie ? La réponse apportée par Adams et Miovic eux-mêmes à cette question se dédouble : d'une part, sur le plan des faits, il faut davantage d'études basées sur un échantillon plus large et sur des périodes plus représentatives ; d'autre part, sur le plan des méthodes, il faut pondérer les consommations *apparentes*, c'est-à-dire les consommations mesurées et observées, pour ne retenir que des consommations *utiles*<sup>3</sup>. En d'autres termes, on ne doit se fier qu'au coefficient énergétique *réel*.

En effet, toujours selon Adams et Miovic, au cours d'une période donnée de substitution rapide d'une forme d'énergie à une autre, le parc

---

1. Voir, par exemple, E.S. Mason (1955), L.G. Brookes (1971).

2. F. Gerard Adams et Peter Miovic (1968). Si  $E$  est la consommation d'énergie et  $Y$  le produit national brut, le coefficient énergétique est  $\eta = d \log E / d \log Y$  pour  $E = kY^\eta$ .

3. Pour d'autres approches proposées, voir, entre autres, Ralph Turvey et A.R. Nobay (1968).

des appareils d'équipement utilisateurs se transforme rapidement et, par conséquent, son efficacité s'élève. Il faut dès lors *estimer* les efficacités relatives des différentes formes d'énergie à partir d'une fonction de production dans laquelle l'agrégat énergétique est considéré comme un input séparable des autres :

$$Y = \min \{ \alpha EU, f(L, K) \}$$

où :

$Y$  = produit national brut ou volume de production d'un secteur industriel donné de l'économie, exprimé en termes monétaires.

$EU$  = énergie utile

$L$  = travail

$K$  = capital

$\alpha$  = coefficient de proportionnalité constant.

On postule ainsi la proportionnalité entre l'input énergie agrégée et le produit national brut et l'impossibilité de substitution entre l'agrégat énergétique, d'une part, et les inputs travail et capital, d'autre part. On définit par la suite l'agrégat énergétique :

$$EU = e_c h_c C + e_g h_g G + e_p h_p P + e_e h_e E$$

où :

$C$  = consommation apparente de charbon mesurée en tonnes,

$G$  = consommation apparente de gaz mesurée en mètres cubes,

$P$  = consommation apparente de pétrole mesurée en tonnes,

$E$  = consommation apparente d'électricité mesurée en kilowatt-heures.

Les  $h$  représentent les coefficients respectifs d'équivalence calorifique charbon de ces différentes formes d'énergie et sont connus :  $h_c = 1$ ,  $h_g = 1.3$ ,  $h_p = 1.4$  et  $h_e = 0.123$  ( $10^{-3}$ ). Les  $e$ , inconnus, désignent les coefficients d'efficacité relative. On aura donc à estimer empiriquement les valeurs de  $e$  à partir de la fonction de production utilisant les valeurs connues de  $h$  :

$$Y = a (h_c C) + a (h_g G) + a (h_p P) + a (h_e E) + \varepsilon$$

où  $a_i = \alpha e_i$ ,  $\alpha$  étant le même pour tous les termes de l'équation et  $\varepsilon$  une variable aléatoire. On obtiendra dès lors l'agrégat énergétique  $EU$  qui, en raison des substitutions entre formes d'énergie au cours des années, ne retient que les consommations d'énergie *utiles*, c'est-à-dire les quantités effectivement utilisées dans les installations énergétiques, quantités mesurées évidemment dans la même unité (tonnes - équivalent - charbon, tec). Le modèle d'Adams et Miovic, ayant le double avantage d'être simple et opératoire, a été vérifié par plusieurs auteurs. A titre d'exemple, Brookes (1972) a trouvé, sur la base d'un échantillon de 22 pays et de la période 1950-65, que le coefficient énergétique peut être

ajusté par une courbe asymptotique tendant vers l'unité à partir de valeurs élevées. Plus récemment, Girod (1977) critiquant, entre autres, l'adjonction des quantités  $E$  à côté des quantités  $C$ ,  $G$  et  $P$ , propose le modèle non linéaire du type suivant <sup>4</sup> :

$$Y = k (cC + gG + pP)^a \cdot E^b$$

dans lequel  $c$ ,  $g$  et  $p$  traduisent les  $a_i$  dans le modèle d'Adams et Miovic et  $k$  l'incidence de tous les autres inputs. Girod postule ainsi la substitution « parfaite » entre différentes formes de l'énergie thermique et accorde une place particulière à l'énergie mécanique qui est supposée satisfaite par l'électricité seule.

A l'aide des données statistiques de 1961-1978 tirées de *Les statistiques de l'énergie au Québec, 1958-78*, par la Direction des études et prévisions du Québec (pour les quantités physiques d'énergie consommée) et de *The Provincial Economies, 1961-78 Data*, par le Conference Board (pour toutes les autres données), les lignes qui vont suivre montreront que la démarche *méthodologique* entreprise par tous ces auteurs est fort critiquable et proposeront une meilleure formulation du problème.

1) *Des consommations apparentes aux consommations utiles*

Pour évaluer l'activité productrice du Québec, on se sert du produit intérieur brut (PIB). Si ce dernier est exprimé en millions de dollars constants de 1971 et si les quantités physiques d'énergie consommée sont exprimées en 10<sup>12</sup> BTU (British Thermal Unit), on aura la relation linéaire suivante <sup>5</sup> :

$$Y = 2623.299 + 3.186 C + 48.786 G + 7.043 P + 39.136 E$$

(1.40)      (0.22)      (2.23)      (4.17)      (5.31)

avec :  $R^2 = 0.993$ ,  $F = 532$  et  $Pr > F = 0.0001$ .

Ces deux régressions suffisent pour montrer que le choix des unités intervient de façon significative dans la formulation du problème. Toutefois, dans l'esprit de la méthodologie adoptée par Adams et Miovic, les coefficients sont des coefficients de pondération ; on retient, par conséquent la seconde équation.

Si l'on suit maintenant la démarche entreprise par Adams - Miovic, Brookes et Girod et on utilise les *valeurs estimées* des coefficients de régression obtenus ci-dessus pour pondérer les consommations apparentes de façon à obtenir les consommations utiles, la formulation de Girod

$$Y = k (0.031 C + 0.487 G + 0.070 P)^a (0.391 E)^b$$

4.  $E$ ,  $C$ ,  $G$  et  $P$  représentent désormais  $b_e E$ ,  $b_c C$ ,  $b_g G$  et  $b_p P$ , c'est-à-dire des quantités physiques d'énergie mesurée en tec.

5. Les valeurs absolues des tests statistiques  $t$  sont entre parenthèses.

conduit, sous la forme logarithmique, aux résultats suivants :

$$\begin{aligned} \log Y = & 2.155 + 0.376 \log (0.031 C + 0.487 G + 0.070 P) \\ & (14.07) \quad (5.95) \\ & + 0.477 \log (0.391 E) \\ & (7.57) \end{aligned}$$

avec :  $R^2 = 0.990$ ,  $F = 1672$  et  $\text{Pr} > F = 0.0001$ .

Il est évident que si l'on n'avait pas pondéré  $E$  par un coefficient  $e$ , le terme constant de l'équation précédente aurait été changé. Toutefois, pour rendre la formulation plus symétrique par rapport aux différentes formes d'énergie, la pondération  $e$  s'avère nécessaire. Dès lors, on constate que d'un point de vue économétrique, le modèle de Girod semble être satisfaisant, même s'il n'explique pas pour autant la place privilégiée accordée à la consommation d'électricité dans la formation du PIB. En effet, après avoir souligné que l'électricité a occupé et occupe encore une place particulière par rapport aux autres formes d'énergie thermique, Girod fait remarquer que « l'hypothèse implicite de substituabilité « parfaite » dans le plan  $(C, G, P, E)$  est vraisemblablement fautive » et milite alors en faveur d'une séparation entre  $((C, G, P)$ , d'une part, et  $E$ , de l'autre<sup>6</sup>. La substituabilité entre trois combustibles fossiles restant toujours « parfaite », vient simplement s'ajouter la complémentarité entre ceux-ci et l'électricité. Toutefois, il faut se hâter de souligner qu'en dehors de la formulation proposée par ces trois auteurs, il existe aussi d'autres formulations possibles, plusieurs étant excellentes du point de vue économétrique. En voici un bref exemple :

$$\begin{aligned} \log (Y/POP) = & 0.335 + 0.819 \log \{ (0.031 C + 0.487 G \\ & (16.59) \quad (40.90) \\ & + 0.070 P + 0.391 E) / POP \} \end{aligned}$$

avec :  $R^2 = 0.990$ ,  $F = 1672$  et  $\text{Pr} > F = 0.0001$ .

Cette équation exprime évidemment la relation entre le logarithme du PIB per capita et le logarithme de la consommation totale d'énergie utile per capita. On voit donc clairement que le modèle théorique d'Adams et Miovic, qui utilise, pour la première fois, le concept d'énergie utile, permet tout au moins d'éliminer le paradoxe constaté par ces deux auteurs eux-mêmes, paradoxe qui veut que, dans un secteur ou dans une économie où la croissance est intensive en énergie, l'élasticité de la consommation d'énergie par rapport au produit intérieur brut ne peut qu'être supérieure à l'unité. De son côté, la formulation de Girod qui est basée sur le même concept d'énergie utile et qui présente elle aussi des résultats économétriques satisfaisants, ne réussit toutefois pas à justifier

6. Girod (1977, p. 622).

convenablement la place privilégiée accordée à l'électricité : on verra plus loin que la substitution est « parfaite » entre *toutes* les formes d'énergie utile. Aussi indique-t-on que d'autres formes fonctionnelles existent et sont également satisfaisantes du point de vue économétrique. Mais d'abord, il faut trancher la question de la pertinence de la démarche méthodologique entreprise par *tous* ces auteurs.

2) *Rendements d'utilisation et formes fonctionnelles*

Ce qui précède indique clairement que lorsqu'on pondère les consommations d'énergie apparentes pour obtenir les consommations d'énergie utile, cette méthode conduit à des formes fonctionnelles très acceptables au point de vue économétrique. Mais lorsque les coefficients de pondération proviennent de la régression du produit intérieur brut  $Y$  sur les consommations apparentes, c'est-à-dire lorsqu'ils sont obtenus à partir de

$$Y = cC + gG + pP + eE,$$

il est difficile de concevoir que ce même produit intérieur brut  $Y$  puisse revêtir une autre forme fonctionnelle, celle de Girod par exemple :

$$Y = k (cC + gG + pP)^{\alpha} E^{\beta}.$$

Donc, bien que l'idée de pondérer les consommations apparentes pour n'utiliser que les consommations utiles dans les problèmes d'estimation de  $Y$  soit bonne, les coefficients de pondération tels qu'ils sont présentés par Adams et Miovic et utilisés par d'autres auteurs ne semblent pas du tout justifiés du point de vue méthodologique.

Afin de pallier à cette faiblesse, pour ne pas dire erreur conceptuelle, on se propose, dans la présente étude, de pondérer les consommations d'énergie apparentes observées et mesurées au Québec par des rendements d'utilisation techniques moyens afin d'obtenir les mesures de consommation d'énergie utile<sup>7</sup>. Avec cette nouvelle définition de l'énergie utile et avant de passer à la présentation des différentes formes fonctionnelles du PIB québécois, on note d'abord les nomenclatures des variables :

$PIB$  = produit intérieur brut du Québec

$POP$  = population du Québec

$PIBPC$  = produit intérieur brut per capita

$CU$  = consommation d'énergie *utile* en charbon

---

7. Les rendements d'utilisation techniques sont donnés à la page 30 de *Energie*, Québec (1979). Notons que les rendements du coke qui ne se trouvent pas dans cet ouvrage ont été substitués par les rendements du charbon pour les secteurs correspondants. Il y va de même pour les rendements du gaz qui ont été remplacés par ceux du gaz naturel. Enfin, les « pertes et ajustements » dans les différentes formes de consommation d'énergie ne sont pas comptés, leurs rendements étant nuls.

$$CUPC = CU/POP$$

$$LCUPC = \log (CUPC)$$

Substituant  $C$  dans  $CU$  par  $G$ ,  $P$  et  $E$ , on obtient les notations correspondantes pour le gaz, le pétrole et l'électricité

$$TU = CU + GU + PU + EU$$

$$TUPC = TU/POP$$

$$LTUPC = \log (TUPC).$$

*Première forme fonctionnelle.* — Le PIB est une fonction linéaire de différentes formes de consommation d'énergie

$$PIB = 1988.812 + .129 CU + .108 PU + .625 GU + .516 EU$$

(0.80)      (0.50)      (3.51)      (2.23)      (5.25)

avec :  $R^2 = 0.992$ ,  $F = 450.84$  et  $Pr > F = 0.0001$ .

Comme l'ordonnée à l'origine n'est pas significativement différente de zéro, elle peut être omise, ce qui conduit à :

$$PIB = .323 CU + .603 GU + .128 PU + .552 EU$$

(3.75)      (7.91)      (2.20)      (6.39)

avec :  $R^2 = 0.999$ ,  $F = 9053$  et  $Pr > F = 0.0001$ .

Avec le terme constant nul, une consommation nulle d'énergie implique un produit intérieur brut nul. Comme le PIB de n'importe quel pays est toujours positif, cela revient à dire que la consommation d'énergie ne pourrait pas être égale à zéro, même dans les économies les plus primitives. Toutefois, il est important de souligner que même si le *prix* à la consommation d'un BTU est toujours le même quelle que soit la forme d'énergie, les rendements d'utilisation *estimés* varient d'une forme à une autre. Ils sont de 0.63, 0.52, 0.11 et 0.13 pour le gaz, l'électricité, le pétrole et le charbon, respectivement. En d'autres termes, pour ce qui est de la formation du PIB, le gaz est la forme d'énergie la plus « noble » au Québec, précédant, dans l'ordre, l'électricité, le charbon et le pétrole.

D'autre part l'équation précédente, étant statistiquement très significative, suggère l'existence d'un système de prix égalisant la valeur des consommations d'énergie utile sous différentes formes et la valeur du PIB. Puisque le mécanisme des prix exprime, dans son langage, une croissance économique, une évolution des quantités de biens et services produits, distribués et consommés dans notre économie, il apparaît ainsi que ce système de prix exprime, dans le même langage, une structure économique : de période en période, la structure change et le système de prix se transforme. Dans l'ordre décroissant donc de ces prix relatifs, on a ceux du gaz, de l'électricité, du charbon et, enfin, du pétrole.

*Deuxième forme fonctionnelle.* — On régresse maintenant le PIB

sur l'énergie totale utile consommée. Encore ici, le terme constant jugé non satisfaisant est enlevé. On obtient donc :

$$PIB = 0.295 (CU + GU + PU + EU) = 0.295 TU \quad (65)$$

avec :  $R^2 = 0.996$ ,  $F = 4245$  et  $Pr > F = 0.0001$ .

On voit aisément l'existence d'un prix moyen qui égalise la consommation totale utile de toutes les formes d'énergie et la valeur du PIB. Comme on devrait s'y attendre, ce prix moyen se situe entre le prix relatif (le plus bas) du pétrole et le prix relatif (le plus élevé) du gaz trouvés dans la forme fonctionnelle précédente.

*Troisième forme fonctionnelle.* — Le PIB per capita est maintenant la variable dépendante et la consommation totale d'énergie utile per capita, la variable indépendante. Toujours enlève-t-on le terme constant jugé non satisfaisant. On aura :

$$PIBPC = 0.294 TUPC \quad (67)$$

avec :  $R^2 = 0.996$ ,  $F = 4433$  et  $Pr > F = 0.0001$ .

Il apparaît, par cette forme et par la deuxième forme fonctionnelle, que le prix moyen (0.294) qui égalise la consommation totale utile per capita et le PIB per capita est sensiblement le même que le prix moyen (0.295) qui égalise la consommation totale utile et le PIB.

*Quatrième forme fonctionnelle.* — C'est la deuxième forme en logarithmes :

$$\log PIB = 0.888 \log TU \quad (623)$$

avec :  $R^2 = 0.999$ ,  $F = 10,000$  et  $Pr > F = 0.0000$ .

Comme on a pu le constater, le coefficient estimé de  $TU$  est près de 1. S'il était égal à 1, on retomberait sur la deuxième forme fonctionnelle. Il serait donc intéressant de tester l'hypothèse nulle d'après laquelle le paramètre  $\log TU$  est égal à 1 : on voit aisément lorsqu'il n'est pas significativement différent de 1.

*Cinquième forme fonctionnelle.* — C'est la quatrième forme en logarithmes :

$$\log (PIBPC) = -1.314 + 1.036 \log (TUPC) \quad (-6.86) \quad (12.86)$$

avec :  $R^2 = 0.911$ ,  $F = 165$  et  $Pr > F = 0.0001$ .

Si le coefficient estimé du logarithme de  $(TUPC)$  était égal à 1, l'équation aurait la forme suivante :

$$\log (PIBPC) = \log e^{-1.314} + \log (TUPC)$$



ou :

$$PIBPC = 0.268 TUPC.$$

On retrouve donc la troisième forme fonctionnelle avec un coefficient de 0.294, à moins qu'en testant l'hypothèse nulle on ne se retrouve avec une valeur égale à 1 pour le paramètre estimé, ce qui n'est pas le cas. Encore faut-il noter que la présente forme fonctionnelle soulève quelques difficultés d'interprétation. En effet, récrivons d'abord ce modèle :

$$\log (PIB/POP) = \log k + \alpha \log (TU/POP), \quad \alpha > 1$$

ou :

$$PIB = k (POP)^{1-\alpha} (TU)^\alpha, \quad \alpha > 1.$$

C'est bien une fonction Cobb-Douglas. Néanmoins, avec un  $\alpha > 1$ , le PIB se trouve à être une fonction décroissante de la population, ce qui est paradoxal. Maintenant, en laissant tomber le terme constant, on obtient

$$\log (PIBPC) = 0.485 \log (TUPC) \\ (42.52)$$

avec :  $R^2 = 0.990$ ,  $F = 1808$  et  $Pr > F = 0.0001$ .

On voit aisément que ce résultat correspond à la forme fonctionnelle suivante :

$$PIB = (POP)^{1-\alpha} (TU)^\alpha, \quad 0 < \alpha < 1.$$

On a donc une fonction Cobb-Douglas usuelle.

*Sixième forme fonctionnelle.* — Cette forme est du type proposé par Girod. Elle conduit aux résultats suivants :

$$\log PIB = 0.191 + 0.274 \log (CU + GU + PU) + 0.683 \log EU \\ (0.70) \quad (5.60) \quad (17.69)$$

avec :  $R^2 = 0.992$ ,  $F = 1007$  et  $Pr > F = 0.0001$ .

Sans le terme constant, la même régression donne :

$$\log PIB = 0.298 \log (CU + GU + PU) + 0.676 \log EU \\ (8.91) \quad (18.46)$$

avec :  $R^2 = 0.999$ ,  $F = 10,000$  et  $Pr > F = 0.0000$ .

Il est facile de constater que si l'on préférerait la formulation générale de Girod, on devrait l'utiliser sans le terme constant. Mais une double question vient immédiatement à l'esprit. D'abord, si l'on devait toujours accorder une place privilégiée à l'énergie mécanique, pourrait-on trouver des formes fonctionnelles autres que celle proposée par Girod ? Ensuite, si l'on voulait toujours conserver la forme générale du modèle de cet auteur, ne pourrait-on pas effectuer d'autres agrégations en fonction du comportement de chaque source d'énergie ?

*Septième forme fonctionnelle.* — On essaie maintenant une autre forme sans terme constant :

$$PIB = 0.140 (CU + GU + PU) + 0.671 (EU)$$

(9.32) (18.49)

avec :  $R^2 = 0.999$ ,  $F = 15494$  et  $Pr > F = 0.0001$ .

Si on la divise par la population, on obtient :

$$(PIB/POP) = 0.140 \{(CU + GU + PU)/POP\} + 0.671 (EU/POP)$$

(9.13) (17.89)

avec :  $R^2 = 0.999$ ,  $F = 14317$  et  $Pr > F = 0.0001$ .

Ces deux exemples suffisent pour montrer que, si l'on tenait à accorder une place privilégiée à l'énergie mécanique assurée par l'électricité seule, on pourrait tout aussi bien utiliser les modèles linéaires du type proposé par Adams et Miovic. La véritable difficulté, comme on l'a souligné plusieurs fois, commence lorsqu'on doit débattre la question d'agrégation ou, en d'autres termes, de substitution et de complémentarité entre différentes sources d'énergie : le moment est venu de les aborder.

*Autres formes fonctionnelles.* — Commençons d'abord par procéder à certains regroupements des formes d'énergie. Si le gaz doit jouer un rôle particulier, on aura :

- $PIB = 0.232 (CU + PU + EU) + 1.084 GU$

(15.90) (5.99)

avec :  $R^2 = 0.998$ ,  $F = 4381$  et  $Pr > F = 0.0001$

- $\log PIB = 0.728 \log (CU + PU + EU) + 0.218 \log GU$

(25.69) (5.84)

avec :  $R^2 = 0.999$ ,  $F = 10,000$  et  $Pr > F = 0.0000$

- $(PIB/POP) = 0.236 \{(CU + PU + EU)/POP\}$

(16.25)

- $+ 1.034 (GU/POP)$

(5.64)

avec :  $R^2 = 0.998$ ,  $F = 4217$  et  $Pr > F = 0.0001$

- $\log (PIB/POP) = 0.537 \log \{(CU + PU + EU)/POP\}$

(105.92)

- $+ 0.270 \log (GU/POP)$

(12.16)

avec :  $R^2 = 0.999$ ,  $F = 7887$  et  $Pr > F = 0.0001$ .

Maintenant, si l'on accorde une place privilégiée au pétrole, on obtiendra :

$$\bullet \text{ PIB} = 0.531 (CU + GU + EU) + 0.132 PU$$

(14.29) (5.13)

avec :  $R^2 = 0.998$ ,  $F = 7078$  et  $\text{Pr} > F = 0.0001$

$$\bullet \log \text{ PIB} = 0.650 \log (CU + GU + EU) + 0.305 \log PU$$

(9.82) (4.78)

avec :  $R^2 = 0.999$ ,  $F = 100,000$  et  $\text{Pr} > F = 0.0000$

$$\bullet (PIB/POP) = 0.520 \{(CU + GU + EU)/POP\}$$

(13.58)

$$+ 0.138 (PU/POP)$$

(5.24)

avec :  $R^2 = 0.998$ ,  $F = 6650$  et  $\text{Pr} > F = 0.0001$

$$\bullet \log (PIB/POP) = -0.720 + 0.836 \log$$

(-13.10) (18.67)

$$\{(CU + GU + EU)/POP\} + 0.340 \log (PU/POP)$$

(10.20)

avec :  $R^2 = 0.987$ ,  $F = 581$  et  $\text{Pr} > F = 0.0001$ .

Quand le moment est venu de donner au charbon un rôle important qu'occupent tour à tour l'électricité, le gaz et le pétrole dans les régressions ci-dessus, les résultats sont quelque peu changés alors que les mêmes formes fonctionnelles sont utilisées. En général, le  $R^2$  reste élevé, toujours voisin de 0.90, mais les coefficients de régression ne sont pas toujours significativement différentes de zéro. La meilleure forme fonctionnelle est présentée ci-dessous :

$$\log (PIB/POP) = 0.442 \log \{(GU + PU + CU)/POP\}$$

(48.71)

$$- 0.166 \log (CU/POP)$$

(-7.18)

avec :  $R^2 = 0.998$ ,  $F = 5314$ ,  $\text{Pr} > F = 0.0001$ .

Le signe négatif du second paramètre s'explique par le fait que la consommation utile per capita du charbon est une fonction décroissante du temps. Voilà, en gros, pourquoi on est conduit, sur la base d'un ensemble de calculs statistiques, à préciser que l'énergie mécanique ne possède pas une place plus privilégiée que l'énergie thermique, du moins pour ce qui est du Québec durant la période 1961-1978. Il s'agit maintenant de renforcer, de façon formelle, l'hypothèse en question.

Conceptuellement, comme il a été souligné que le produit intérieur brut  $Y$  peut revêtir différentes formes fonctionnelles, il n'est donc pas difficile de montrer qu'à chaque forme correspond un taux de substitution qui lui est propre et qu'il n'est pas possible de comparer les taux de

substitution dérivés d'une forme avec ceux tirés d'une autre. On commence d'abord par définir le taux marginal de substitution entre agents énergétiques. Soit donc  $Y$ , le produit intérieur brut qui est une fonction de  $C$ ,  $G$ ,  $P$  et  $E$ , toujours en unités utiles :

$$Y = Y(C, G, P, E).$$

Le taux marginal de substitution d'une forme d'énergie  $C$  à la forme d'énergie  $G$  est donné par :

$$Y_{CG} = (\partial Y / \partial C) / (\partial Y / \partial G),$$

ce qui donne

$$Y_{CG} = 1 / Y_{GC}.$$

Cette définition peut être étendue à une forme d'énergie  $M$ , par exemple :

$$M = C + G \text{ ou } M = C + G + P$$

qui se substitue à une autre forme d'énergie  $E$  :

$$Y_{ME} = (\partial Y / \partial M) / (\partial Y / \partial E).$$

On peut maintenant obtenir facilement les résultats suivants.

- Si le produit intérieur brut  $Y$  est une fonction qui possède cette forme :

$$Y = k (C + G + P)^\alpha E^\beta$$

et si

$$M = C + G + P$$

alors

$$Y_{CE} = Y_{GE} = Y_{PE} = Y_{KE}.$$

En effet,

$$Y_{CE} = \frac{(\partial Y / \partial C)}{(\partial Y / \partial E)} = \frac{\alpha (C + G + P)^{\alpha-1} E^\beta}{\beta (C + G + P)^\alpha E^{\beta-1}}$$

ce qui donne

$$Y_{CE} = \frac{\alpha}{\beta} \cdot \frac{E}{C + G + P}.$$

Evidemment, en calculant les autres dérivées partielles, on obtient facilement les résultats annoncés.

De plus, si l'on écrit la relation précédente sous la forme

$$E = \frac{\beta}{\alpha} \cdot Y_{CE} (C + G + P),$$

on voit que le coefficient  $\beta Y_{CE} / \alpha$  peut être aisément estimé. Et comme les deux coefficients  $\alpha$  et  $\beta$  sont déjà estimés au préalable, ce raisonnement

conduit à l'estimation de  $Y_{CE}$  et donc des autres taux de substitution,  $Y_{GE}$ ,  $Y_{PE}$ ,  $Y_{KE}$ .

A titre d'exemple, on se rappelle que :

$$y = (CU + GU + PU)^{0.298} EU^{0.676}$$

Si l'on régresse  $EU$  sur  $(CU + GU + PU)$ , on aura :

$$EU = 0.408 (CU + GU + PU) \quad (25.85)$$

avec :  $R^2 = 0.975$ ,  $F = 667.96$  et  $Pr > F = 0.0001$ .

Par conséquent, le taux marginal de substitution du charbon à l'électricité est égal à :

$$Y_{CE} = 0.298 \times 0.408 / 0.676 = 0.180.$$

Maintenant, si le produit intérieur brut  $Y$  est une fonction de la forme :

$$Y = p_c CU + p_g GU + p_p PU + p_e EU$$

alors le taux marginal de substitution de la forme d'énergie  $CU$  à la forme d'énergie  $EU$ , par exemple, est clairement le prix relatif de  $CU$  par rapport au prix relatif de  $EU$ . A titre d'exemple, comme on se rappelle que :

$$Y = 0.328 CU + 0.603 GU + 0.128 PU + 0.552 EU,$$

le taux marginal de substitution du charbon utile à l'électricité utile, calculé à partir de cette forme fonctionnelle du produit intérieur brut, est :

$$Y_{CE} = 0.323 / 0.552 = 0.586.$$

Il est alors évident qu'on ne doit pas comparer le taux marginal de substitution dérivé de cette forme fonctionnelle avec celui précédemment obtenu. Ensuite, si le premier exemple montre que les taux marginaux de substitution du charbon, du gaz et du pétrole, pris séparément avec l'électricité sont égaux à celui de leur somme avec l'électricité, le deuxième exemple montre clairement que, par rapport à l'électricité, chacune des formes d'énergie qui reste a son propre taux marginal de substitution. De ce point de vue, l'idée de Girod d'utiliser deux ou plusieurs formes fonctionnelles de  $Y$ , par exemple (p. 629) :

$$Y = PZ = k \{ (A_c CH + A_g GZ + A_p PE)^a \cdot EL^b \}$$

peut conduire à de fausses interprétations.

### 3. Conclusion

On reconnaît l'originalité d'Adams et Miovic quand ces deux auteurs soulignent l'importance de l'utilisation du concept d'énergie utile au lieu

d'énergie apparente comme seules mesures valables de la consommation énergétique d'un secteur industriel ou d'une économie nationale. Toutefois, la concrétisation de cette idée telle que pratiquée par ces deux auteurs et, entre autres, par Brookes et Girod laisse à désirer. En effet, sur la plan méthodologique, comme les « coefficients d'efficience relative » sont estimés à partir d'un PIB considéré comme une relation linéaire des consommations apparentes de chaque forme d'énergie prise séparément, ces coefficients ne devraient pas être utilisés comme constants pour pondérer les consommations apparentes, transformant celles-ci en consommations utiles qui, elles, deviennent maintenant les composantes de ce même PIB dont la forme fonctionnelle n'est plus la même.

Par contre, les rendements d'utilisation techniques moyens utilisés comme coefficients de pondération s'avèrent non seulement aisés comme explication (un BTU utilisé dans la chaudière d'une locomotive n'entre pas entièrement dans la formation du produit national, seulement cette partie du BTU qui fait tourner les roues de la locomotive doit être comptée), mais s'avèrent aussi très fructueux conduisant à une multitude de formes fonctionnelles excellentes au point de vue économétrique. De plus, la place privilégiée que certains auteurs ont voulu réserver à l'énergie électrique ne semble pas du tout justifiée. La souplesse des rendements d'utilisation techniques permet en effet d'obtenir des formes agrégées ou désagrégées presque aussi bonnes les unes que les autres, et cette approche montre aussi que la substitution d'une forme d'énergie à une autre dépend de la forme fonctionnelle de départ. Pour une forme fonctionnelle du type Cobb-Douglas, il peut y avoir non seulement substitution « parfaite » entre chacune des énergies fossiles avec l'énergie mécanique, mais il peut aussi y avoir substitution « parfaite » entre l'énergie mécanique et chacune des formes d'énergie fossiles avec l'une ou l'autre des formes d'énergie fossiles qui restent.

Thuan-Van TRUONG  
et  
The-Hiep NGUYEN \*  
*Université Laval.*

---

\* L'ordre des noms d'auteurs a été déterminé par un coup de dés. Les auteurs tiennent à remercier le Laboratoire de recherche en sciences de l'administration (LRSA) de l'Université Laval pour son support financier. The-Hiep NGUYEN a aussi bénéficié d'une subvention du ministère de l'Éducation du Québec accordée au Groupe de recherche en économie de l'énergie (GREEN) au titre du programme FCAC.

## RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- ADAMS, F. Gerard & MIOVIC, Peter, « On relative fuel efficiency of energy consumption in Western Europe », *Journal of Industrial Economics*, vol. XVI, no 1, 1968, pp. 41-56.
- BROOKES, L.G., « Energy and economic growth », *Industrial Marketing Management*, vol. 1, no 1, septembre 1971, pp. 3-10.
- BROOKES, L.G., « More on the output elasticity of energy consumption », *Journal of Industrial Economics*, vol. XX, no 3, 1972, pp. 83-92.
- CONFERENCE BOARD, The, *The Provincial Economies 1961-78 Data*, Ottawa, 1979.
- ENERGIE . QUÉBEC, *Les statistiques de l'énergie au Québec 1958-1978*, Direction des études et prévisions, Gouvernement du Québec, Québec, 1979.
- GIROD, Jacques, « Substitutions, rendements d'utilisation et évaluation de la consommation d'énergie », *L'Actualité Économique*, vol. 54, no 4, octobre-décembre 1977, pp. 610-33.
- MAINGUY, Yves, *L'économie de l'énergie*, Dunod, Paris, 1967.
- MASON, E.S., *Actes de la conférence mondiale sur l'utilisation de l'énergie atomique à des fins pacifiques*, rapport P/802, vol. I, Genève, 1955.
- TURVEY, R. & NOBAY, A.R., « On measuring energy consumption », *Economic Journal*, vol. LXXV, no 300, 1965, pp. 787-93.