



**HAL**  
open science

# Modélisation des substitutions énergétiques dans les pays de l'OCDE

Patricia Renou

► **To cite this version:**

Patricia Renou. Modélisation des substitutions énergétiques dans les pays de l'OCDE: Cahiers du CEG, n° 10. 1991. hal-02432734

**HAL Id: hal-02432734**

**<https://ifp.hal.science/hal-02432734>**

Preprint submitted on 8 Jan 2020

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

**Modélisation  
des substitutions énergétiques  
dans les pays de l'OCDE**

*P. RENO*

Décembre 1991



**Centre Economie et Gestion**

**Modélisation  
des substitutions énergétiques  
dans les pays de l'OCDE**

*P. RENO*

Décembre 1991

**Cahiers du CEG - n<sup>o</sup> 10**

ENSPM - Centre Economie et Gestion ·  
228-232, avenue Napoléon Bonaparte, Boîte postale 311, 92506 RUEIL MALMAISON  
CEDEX.

télécopieur : 33 (1) 47 52 70 66 · téléphone : 33 (1) 47 52 64 25.



La collection "Cahiers du CEG" est un recueil des travaux réalisés au Centre d'Economie et Gestion de l'ENSPM, Institut Français du Pétrole. Elle a été mise en place pour permettre la diffusion de ces travaux, parfois sous une forme encore provisoire, afin de susciter des échanges de points de vue sur les sujets abordés.

Les opinions émises dans les textes publiés dans cette collection doivent être considérées comme propres à leurs auteurs et ne reflètent pas nécessairement le point de vue de l'IFP ou de l'ENSPM.

Pour toute information complémentaire, prière de contacter :  
Saïd NACHET ( *Responsable de la publication* ) tél. (1) 47 52 64 08

---

"Cahiers du CEG" is a collection of researchs realized within the Center for Economics and Management of the ENSPM, Institut Français du Pétrole. The goal of such collection is to allow views exchange about the subjects treated of.

The opinions defended in the papers published are the author(s) sole responsibility and don't necessarily reflect the views of the IFP or ENSPM.

For any additional information, please contact :  
Saïd NACHET ( *Editor* ) tel. (1) 47 52 64 08



## Résumé

Les mutations observées dans la structure des bilans énergétiques des pays industrialisés au cours des trois dernières décennies amènent à s'intéresser aux substitutions énergétiques et à leur représentation dans les modèles économétriques. La répartition de la consommation d'énergie finale entre sources d'énergie s'est considérablement modifiée dans le secteur industriel : le pétrole s'est largement substitué au charbon dans les années soixante puis les deux chocs pétroliers ont entraîné la régression du pétrole au profit du gaz et de l'électricité. Les évolutions des consommations énergétiques sont cependant très différentes selon les pays. L'utilisation des formes fonctionnelles flexibles, translog, Léontief généralisée, quadratique généralisée et Fourier, outils particulièrement bien adaptés à l'étude des substitutions, a permis d'isoler d'une part les Etats-Unis et le Canada qui, en raison de fortes disponibilités en énergie, se sont révélés peu sensibles aux prix des énergies, et d'autre part les pays européens (France, RFA, Royaume-Uni et Italie) et le Japon beaucoup plus vulnérables aux fluctuations du prix des hydrocarbures.

## Abstract

The changes in the energy balance structure of the industrialized countries over the last three decades leads to consider energy substitutions and the way they are represented in econometric models. The final consumption distribution among the various sources of energy has changed greatly in the industrial sector : petroleum largely took over from coal in the sixties, then after the two crises, petroleum gave way to gas and electricity. The evolution of energy consumptions differs between countries. We use flexible functional forms, such as translog, generalized Leontief, generalized quadratic and Fourier, that are especially well-adapted tools for the analysis of substitutions. We outline the similar behaviour between European countries (France, Germany, United-Kingdom and Italy) and Japan, which are very vulnerable to the fluctuations of oil and gas prices and whereas Canada and the United-States which have large energy resources and are not very sensitive to energy prices variations.





# Modélisation des substitutions énergétiques dans le secteur industriel des pays de l'OCDE

Patricia RENOUE

*CES Economie et Gestion - ENSPM/IFP*

*4, Av. de Bois-Préau - B.P.311 - 92506 Rueil-Malmaison Cedex France*

A la suite des bouleversements qui ont affecté la scène énergétique mondiale dans les années soixante-dix, la répartition de la consommation d'énergie finale entre sources d'énergie s'est considérablement modifiée dans les pays industrialisés, notamment dans le secteur industriel qui offrait de larges possibilités de substitution. L'étude de la demande d'énergie et des substitutions énergétiques est devenue un axe de recherche privilégié des économistes de l'énergie. Les travaux en économie mathématique relatifs à la théorie de la dualité sont à l'origine de l'élaboration de nouvelles formes fonctionnelles dans un contexte multifacteur. En n'imposant pas de contraintes a priori sur les élasticités de substitution et en admettant des élasticités variables dans le temps, les formes fonctionnelles flexibles ont permis d'améliorer significativement la représentation des substitutions.

Dans cet article, nous présentons les propriétés des formes fonctionnelles flexibles translog, Léontief généralisée, quadratique généralisée et Fourier. Nous modélisons les substitutions énergétiques intervenues dans le secteur industriel hors sidérurgie des sept principaux pays de l'OCDE (Etats-Unis, Canada, Japon, France, Royaume-Uni, RFA, Italie) sur la période 1960-1988. Une analyse de l'environnement énergétique des pays étudiés vise à faciliter l'interprétation des résultats.

## 1 Le cadre théorique

L'étude des substitutions énergétiques nécessite le recours à un système complet d'équations de demande. Nous sommes donc amenés à développer des modèles de demande dérivée, dans lesquels, la demande de facteur (ou d'énergie) est solution d'un problème d'optimisation de la part du producteur (maximisation du profit ou minimisation du coût pour un niveau de production donné).

Cette approche s'insère dans un cadre microéconomique et se réfère à la théorie du producteur. Nous rappelons brièvement les principes de la dualité entre fonc-

tions de production et de coût, essentiels pour la détermination des fonctions de demande dérivée sur lesquels repose le développement des formes flexibles. Puis nous présentons les spécifications estimées : les formes flexibles GBC (Box-Cox Généralisée) et Fourier. Enfin, nous insistons sur les conditions nécessaires à l'existence d'un sous-modèle énergétique.

## 1.1 La théorie de la dualité

La théorie de la dualité par le biais du lemme de Shephard constitue un instrument extrêmement puissant pour l'estimation des fonctions de production.

Supposons qu'il existe une fonction de production deux fois différentiable <sup>1</sup> telle que :

$$y = f(x_1, \dots, x_m) \quad (1)$$

avec :

$m$  facteurs de production

$y$  : la quantité d'output pouvant être produite pendant une période donnée en utilisant la quantité  $x_i$  de facteur  $i$  ;  $i = 1, 2, \dots, m$ .

$x = (x_1, x_2, \dots, x_m)$  le vecteur des quantités de facteurs de production.

Le prix des facteurs de production et le niveau de l'output étant donnés, la théorie de la dualité permet de dire que la technologie de production caractéristique de (1) peut être représentée de façon unique par une fonction de coût de la forme :

$$C = g(p_1, \dots, p_m, y) \quad (2)$$

avec :

$C$  : le coût total

$p = (p_1, \dots, p_m)$  représente le vecteur prix des inputs.

Si la fonction de coût  $C(y, p)$  est positive, homogène de degré 1, quasi-concave et, de plus, est différentiable par rapport aux prix et à l'output, alors on peut écrire :

$$\frac{\partial C}{\partial p_i}(y, p) = x_i(y, p) \quad (3)$$

où  $x_i(y, p)$  représente la quantité d'input  $i$  nécessaire pour produire l'output  $y$  et minimisant le coût, les prix des inputs étant donnés. Nous obtenons alors un système d'équations de demande directement estimable.

---

<sup>1</sup>La fonction de production est supposée continue, croissante, quasi-concave, homogène de degré 1 par rapport à  $x$ .

La théorie de la dualité, par l'intermédiaire du lemme de Shephard, permet de définir des fonctions de demande de facteurs de production compatibles avec les hypothèses néoclassiques de comportement des producteurs (cf. Diewert (1974)). Si nous connaissons à la fois les quantités de facteurs et le système de prix, en admettant les hypothèses de continuité, de croissance, de quasi-concavité et d'homogénéité des fonctions de production et de coût, nous disposons alors d'un système d'équations dont le nombre de degrés de liberté est largement supérieur à celui d'une estimation unique de la fonction de coût ou de la fonction de production. Nous pouvons ainsi envisager des formes fonctionnelles de complexité croissante.

## 1.2 Présentation des formes fonctionnelles flexibles

L'intérêt accordée à l'énergie et à son rôle dans la croissance économique, conjugué aux travaux d'économie mathématique relatifs à la théorie de la dualité ont été à l'origine du développement des formes fonctionnelles flexibles. Ces fonctions par leurs propriétés théoriques remarquables et leur facilité d'utilisation se sont révélées un outil particulièrement puissant pour l'étude des substitutions. Les formes fonctionnelles flexibles ont été élaborées dans un souci de reproduire de façon générale la technologie de production, de manière à favoriser l'étude des relations de substituabilité-complémentarité entre facteurs de production mais aussi entre sources d'énergie.

La formulation de ces modèles repose sur une approximation de la vraie fonction de production (1) ou, ce qui est équivalent, de la fonction duale de coût (2). Cette notion d'approximation présente l'avantage de n'imposer aucune contrainte a priori sur les élasticités partielles de substitution contrairement aux spécifications classiques de type Cobb-Douglas et CES ; de plus, les élasticités générées sont variables.

### 1.2.1 La forme flexible GBC

Nous présentons la forme GBC (Box-Cox Généralisée) introduite par Khaled (1978) et les trois fonctions qui s'en déduisent : les fonctions translog, Léontief généralisée, quadratique généralisée.

#### a - Définition

La fonction de coût GBC est une approximation locale au second ordre en séries de Taylor de toute fonction de coût.

Pour une structure de production non homothétique<sup>2</sup>, elle s'écrit (cf. Renou 1992 p364) :

---

<sup>2</sup>La fonction de coût est dite homothétique si le niveau de production n'affecte pas la répartition des parts de dépense dans le coût total.

$$C = \left[ \frac{2}{\lambda} \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m \beta_{ij} P_i^{\lambda/2} P_j^{\lambda/2} \right]^{1/\lambda} y^{\beta(y,p)} \quad (4)$$

- En posant  $\lambda=1$ , nous obtenons la forme Léontief généralisée (GL) :

$$C = 2 \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m \beta_{ij} P_i^{1/2} P_j^{1/2} y^{\beta(y,p)}$$

- Pour  $\lambda=2$ , on obtient la forme GSRQ (Generalized square-root-quadratic) :

$$C = \left[ \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m \beta_{ij} P_i P_j \right]^{1/2} y^{\beta(y,p)}$$

- Lorsque  $\lambda$  tend vers 0, la fonction de coût translog (transcendentale logarithmique TL) peut se déduire de la forme GBC.

$$\begin{aligned} \ln C = & \alpha_0 + \sum_i \alpha_i \ln P_i + \frac{1}{2} \sum_i \sum_j \beta_{ij} \ln P_i \ln P_j + \beta \ln y \\ & + \frac{\theta}{2} (\ln y)^2 + \sum_i \phi_i \ln P_i \ln y \end{aligned}$$

Les contraintes d'homogénéité de degré 1 par rapport aux prix s'écrivent dans le cas de la fonction translog :

$$\begin{aligned} \sum_i \alpha_i &= 1 \\ \sum_j \beta_{ij} &= 0 \end{aligned}$$

## b - Propriétés

Nous pouvons alors déterminer un système de parts de dépense des facteurs par dérivation de la fonction de coût conformément au lemme de Shephard et en déduire les élasticités partielles de substitution.

Soit  $M_i$ , la part de dépense optimale du facteur  $i$  dans la valeur totale de la production :

$$M_i = \frac{x_i p_i}{\sum_i x_i p_i}$$

Soit  $\sigma_{ij}$ , l'élasticité de substitution au sens de Allen, calculée selon la formule d'Uzawa :

$$\sigma_{ij} = \frac{C \frac{\partial^2 C}{\partial p_i \partial p_j}}{\frac{\partial C}{\partial p_i} \frac{\partial C}{\partial p_j}}$$

Soit  $\eta_{ij}$ , l'élasticité prix :

$$\eta_{ij} = \sigma_{ij} M_j$$

Nous présentons les systèmes de parts de dépense ainsi que les élasticités de substitution associés à chaque forme flexible sous les hypothèses de symétrie ( $\beta_{ij} = \beta_{ji}$ ) et d'homogénéité de degré 1 de la fonction de coût par rapport aux prix et à l'output<sup>3</sup>.

Tableau 1 : Propriétés des formes flexibles GBC

TRANSLOG	LÉONTIEF GÉNÉRALISÉE	GSRQ
$M_i = \alpha_i + \sum_j \beta_{ij} \ln P_j$	$M_i = \frac{1}{C} \sum_j \beta_{ij} p_i^{1/2} p_j^{1/2}$	$M_i = \frac{1}{C^2} \sum_j \beta_{ij} p_i p_j$
$\sigma_{ij} = 1 + \frac{\beta_{ij}}{M_i M_j}$	$\sigma_{ij} = \frac{\beta_{ij} p_i^{1/2} p_j^{1/2}}{2C M_i M_j}$	$\sigma_{ij} = \frac{\beta_{ij} p_i p_j}{C^2 M_i M_j} - 1$
$\sigma_{ii} = 1 + \frac{\beta_{ii}}{M_i^2} - \frac{1}{M_i}$	$\sigma_{ii} = \frac{\beta_{ii} p_i - C M_i}{2C M_i^2}$	$\sigma_{ii} = \frac{\beta_{ii} p_i^2}{C^2 M_i^2} - 1$

Les systèmes de parts de dépense peuvent être estimés directement en imposant les contraintes de symétrie sur les paramètres  $\beta_{ij}$  par une méthode de Zellner itérative sous contraintes en tenant compte de la contrainte d'additivité sur les parts de dépense ( $\sum_i M_i = 1$ ).

### c - Limites

Par définition, toutes ces formes flexibles ont les mêmes propriétés locales, elles sont des approximations locales au second ordre de toute fonction de coût mais les propriétés

<sup>3</sup>Pour les démonstrations on peut se reporter à Renou (1988).

d'approximation globale sont inconnues. Les formes fonctionnelles flexibles ne sont pas nécessairement une bonne approximation globale comme mesure de leur capacité à satisfaire les conditions de régularité (monotonie et quasi-concavité) requises pour l'obtention d'un optimum pour le producteur. A la différence des formes CES et Cobb-Douglas, elles ne satisfont pas toujours les conditions imposées par la théorie, ceci est une contrepartie de leur forte flexibilité. Si la violation des conditions de régularité n'implique pas nécessairement l'absence d'un processus de maximisation du profit (minimisation du coût), elle révèle alors l'incapacité des formes flexibles à bien se comporter globalement.

### 1.2.2 La forme flexible Fourier

#### a - Définition

L'approximation à l'aide d'une forme GBC n'est pertinente que si la vraie fonction de coût a la même forme paramétrique que celle avec laquelle on se propose de l'approximer. Cette condition n'est pas observée en pratique, les travaux de Wales (1977), Guilkey et Lovell (1980) Guilkey, Lovell et Sickles (1983) ont montré l'inaptitude des formes fonctionnelles classiques à fournir une approximation correcte de la réalité lorsque l'on s'écarte du point d'approximation. C'est pourquoi Gallant (1981, 1982) propose une nouvelle forme flexible basée sur un développement en séries de Fourier. Cette forme appelée forme flexible Fourier est une approximation globale de la vraie fonction, elle converge vers la vraie fonction en tout point de son domaine de définition lorsque le nombre de paramètres, qui varie avec l'ordre d'approximation, croît indéfiniment.

Dans la pratique, le nombre de paramètres de la forme de Fourier est fini mais l'erreur d'approximation est bornée et on peut la mesurer à l'aide d'une distance appelée norme de Sobolev. Cette norme a la propriété d'inclure dans l'erreur d'approximation, non seulement les erreurs commises sur la fonction elle-même, mais aussi celles sur les éléments différentiels. Cette propriété présente des avantages du point de vue de l'analyse du comportement du producteur puisque de bonnes approximations du gradient et du Hessien de la fonction vraie sont nécessaires pour déterminer avec exactitude les fonctions de demande de facteurs de production et les élasticités de substitution.

La forme flexible Fourier revêt un caractère très général puisqu'elle fournit une approximation globale de la vraie fonction de coût (de production) sur l'intervalle d'estimation contrairement aux formes classiques qui n'approximent que localement la vraie fonction. Elle s'écrit comme une généralisation de la forme translog ; en effet, elle génère les mêmes variables avec des termes supplémentaires en sinus et cosinus. Elle permet des approximations globales beaucoup plus générales et limite les problèmes de multicollinéarité par rapport à une fonction translog d'ordre d'approximation supérieur à deux.

## b - Propriétés

De même que pour la fonction GBC, nous pouvons déterminer par dérivation de la fonction de coût un système d'équations de parts de dépense estimable ainsi que les élasticités partielles de substitution. Nous ne présentons pas en détails la fonction Fourier et ses propriétés en raison de sa forte complexité <sup>4</sup>. La fonction translog étant un cas particulier de la fonction Fourier, il nous paraît intéressant de présenter, à titre de comparaison, le système de parts de dépense estimable associé à la fonction Fourier.

Si nous limitons l'ordre d'approximation en séries de Fourier à l'ordre 2 pour réduire le nombre de paramètres à estimer et si nous supposons qu'il y a quatre facteurs de production, le système des parts de dépense s'écrit alors :

$$\mathcal{M} = \lambda b - \lambda \sum_{\alpha=1}^6 \{a_{0\alpha} \lambda k'_{\alpha} z + 2 [u_{\alpha} \sin(\lambda k'_{\alpha} z) + v_{\alpha} \cos(\lambda k'_{\alpha} z)]\} k_{\alpha}$$

avec :

$$k_1 = \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \\ -1 \end{pmatrix} \quad k_2 = \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \\ -1 \\ 0 \end{pmatrix} \quad k_3 = \begin{pmatrix} 1 \\ -1 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}$$

$$k_4 = \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \\ 0 \\ -1 \end{pmatrix} \quad k_5 = \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \\ -1 \\ 0 \end{pmatrix} \quad k_6 = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \\ -1 \end{pmatrix}$$

Si on pose :

$$\begin{aligned} A &= \lambda a_{01}(z_1 - z_4) + 2[u_1 \sin(\lambda(z_1 - z_4)) + v_1 \cos(\lambda(z_1 - z_4))] \\ B &= \lambda a_{02}(z_1 - z_3) + 2[u_2 \sin(\lambda(z_1 - z_3)) + v_2 \cos(\lambda(z_1 - z_3))] \\ C &= \lambda a_{03}(z_1 - z_2) + 2[u_3 \sin(\lambda(z_1 - z_2)) + v_3 \cos(\lambda(z_1 - z_2))] \\ D &= \lambda a_{04}(z_2 - z_4) + 2[u_4 \sin(\lambda(z_2 - z_4)) + v_4 \cos(\lambda(z_2 - z_4))] \\ E &= \lambda a_{05}(z_2 - z_3) + 2[u_5 \sin(\lambda(z_2 - z_3)) + v_5 \cos(\lambda(z_2 - z_3))] \\ F &= \lambda a_{06}(z_3 - z_4) + 2[u_6 \sin(\lambda(z_3 - z_4)) + v_6 \cos(\lambda(z_3 - z_4))] \end{aligned}$$

alors :

$$\mathcal{M} = \lambda b - \lambda A k_1 - \lambda B k_2 - \lambda C k_3 - \lambda D k_4 - \lambda E k_5 - \lambda F k_6$$

<sup>4</sup>Pour une présentation détaillée de la fonction de Fourier, on peut se référer à Gallant (1981, 1982, 1984), Devezeaux et al. (1990) et Renou (1992).



et :

$$\begin{aligned} M_1 &= \lambda b_1 - \lambda A - \lambda B - \lambda C \\ M_2 &= \lambda b_2 + \lambda C - \lambda D - \lambda E \\ M_3 &= \lambda b_3 + \lambda B + \lambda E - \lambda F \\ M_4 &= \lambda b_4 + \lambda A + \lambda D + \lambda F \end{aligned}$$

avec :  $\sum_i M_i = 1$ , et  $\sum_i \lambda b_i = 1$

### 1.3 Construction d'un sous-modèle énergétique

L'étude des substitutions énergétiques s'insère dans une procédure en deux étapes ; nous devons admettre la séparabilité homothétique de la fonction de production agrégée afin de justifier la construction d'un modèle faisant intervenir les éléments de la composante énergétique de la fonction de production. Appliquée à l'énergie, la séparabilité homothétique de la fonction signifie que les relations de substitution entre différentes formes d'énergie sont indépendantes des relations de substitution entre l'énergie et les autres facteurs de production.

Une fonction de production agrégée de type KLEM (capital, travail, énergie, matières premières non énergétiques) est développée dans une première étape, puis, l'agrégat énergétique se décompose sous la forme d'une fonction PEGC (pétrole, électricité, gaz, charbon) dans une seconde étape. On considère que les fonctions de production agrégées sont deux fois continuellement différentiables, homothétiques et faiblement séparables par rapport aux facteurs de production agrégés .

Sous ces hypothèses :

$$y = f(K, L, EN(P, C, E, G), M)$$

avec  $EN$ , une fonction homothétique par rapport aux quatre formes d'énergie considérées.

Si le prix des facteurs de production et le niveau de l'output sont donnés, la théorie de la dualité permet de dire que la structure de production considérée peut être représentée par une fonction de coût de la forme suivante qui est également faiblement séparable :

$$C = g(P_K, P_L, P_{EN}(P_P, P_C, P_E, P_G), P_M, y)$$

avec  $P_{EN}$ , le prix agrégé de l'énergie ou le coût par unité de facteur énergie.

Ce coût peut alors s'écrire comme une fonction de coût unitaire de la forme :

$$P_{EN} = h(P_P, P_C, P_E, P_G)$$

On peut alors définir le prix agrégé de l'énergie  $P_{EN}$  ou coût par unité de facteur énergie comme une fonction de coût unitaire de forme identique à celle de la fonction agrégée (translog, Léontief généralisée, quadratique généralisée ou Fourier). On déduit les fonctions de demande de chaque type d'énergie en termes de parts dans le coût de l'agrégat énergie.

La séparabilité de la fonction de production est une propriété importante, puisqu'elle justifie l'utilisation d'un sous modèle énergétique indépendant. Cependant, cette propriété n'est pas vérifiée par construction, il faut donc imposer des contraintes sur les coefficients et contraindre les élasticités de substitution, ce qui limite la flexibilité des fonctions GBC. Les hypothèses de séparabilité retenues sur la fonction de production ne sont pas neutres et affectent directement les élasticités de substitution. Berndt et Wood (1978) expliquent les résultats divergents obtenus quant à la liaison énergie-capital par des hypothèses différentes sur les propriétés de séparabilité faible de la fonction de production. Ils ont montré que l'existence d'agrégats à l'intérieur du modèle considéré ainsi que le nombre d'inputs pris en compte affectent les élasticités de substitution.

De manière générale, l'imposition des contraintes de séparabilité faible de la fonction de production limite la flexibilité des formes fonctionnelles GBC. Dans la pratique, nous estimerons directement un sous-modèle énergétique, nous négligerons la vérification de ces contraintes et nous supposerons donc implicitement que la propriété est vérifiée pour le modèle agrégé.

## 2 L'environnement énergétique

Au début des années 70, tous les pays sont de façon plus ou moins prononcée dépendants du pétrole. A la suite des deux chocs pétroliers, on constate un désengagement général vis-à-vis de cette source d'énergie. Cependant, les mutations observées dans les bilans énergétiques sont très différentes selon les pays. La distinction entre pays réside dans l'ampleur des économies d'énergie et des substitutions, dans le choix d'une énergie de substitution, dans la vigueur des politiques de maîtrise de l'énergie et dans la rapidité de mise en œuvre de ces politiques. Par ailleurs, les politiques mises en place en matière d'offre d'énergie et de substitution au pétrole soulignent le rôle clé du poids des ressources nationales et des institutions gouvernementales chargées des orientations et de l'application de la politique énergétique nationale.

Cette section, essentiellement descriptive, fournit des éléments explicatifs de l'évolution des consommations énergétiques et met en exergue les spécificités nationales. Elle constitue une étape indispensable pour l'analyse et l'interprétation des résultats de la modélisation.

## 2.1 Evolution globale de la consommation d'énergie primaire

Jusqu'en 1974, l'énergie était abondante et bon marché, le prix réel du pétrole diminuant régulièrement depuis le début des années soixante. Les factures énergétiques des pays étant relativement faibles par rapport aux échanges totaux, la principale préoccupation des gouvernements était d'assurer l'accès aux richesses énergétiques. La hausse brutale des prix énergétiques a donné lieu à une prise de conscience du degré de dépendance des pays fortement importateurs de pétrole. Des mesures visant à réduire la dépendance énergétique vis-à-vis du pétrole ont été prises : diversification des sources d'énergie primaire, diversification géographique des importations, développement de sources d'énergie nationales.

Les deux chocs pétroliers ont indiscutablement entraîné une modification des comportements de consommation et de la structure des bilans énergétiques. Cependant, les réactions ont été très différentes selon les pays. En 1985, les pays de l'OCDE ont consommé la même quantité d'énergie qu'en 1973 (3700 Mtep) ; pourtant au cours de cette période l'activité économique mesurée par le Produit Intérieur Brut s'est accrue d'un tiers. La consommation d'énergie primaire a fortement chuté en 1982 (3500 Mtep, cf. annexe A). Un effet de surprise a joué lors du premier choc pétrolier, la consommation s'est considérablement réduite à très court terme mais a vite repris en 1975 avec le redémarrage de l'activité économique. Le premier choc pétrolier a amené les gouvernements des pays importateurs à prendre conscience de l'enjeu énergétique et à considérer la sécurité d'approvisionnement, le coût de l'énergie comme des priorités. Après le premier choc pétrolier des politiques de maîtrise et d'économie d'énergie ont été mises en place. Ces politiques sont arrivées à maturité lors du second choc pétrolier ; leur efficacité a permis de réduire progressivement la vulnérabilité des pays industrialisés aux fluctuations des prix du pétrole brut, la chute des consommations d'énergie s'est trouvée amplifiée. Le Japon et la France qui disposent d'un organe institutionnel ayant pouvoir de décision et de contrôle, présentent des résultats plus satisfaisants en matière de maîtrise de l'énergie que les pays ayant une confiance absolue dans le fonctionnement du marché ou n'ayant pas encore pris conscience de l'importance réelle des gisements d'économies. Le Canada fait exception, l'intensité énergétique de l'industrie présente une relative stabilité. Cela s'explique par la position privilégiée du Canada qui dispose de réserves importantes en hydrocarbures et qui a assuré son autosuffisance sur toute la période, une politique d'économie d'énergie ne se justifiait pas.

L'effondrement des prix du pétrole début 1986 marque une accélération sensi-

ble de la reprise des consommations énergétiques déjà amorcée dès 1983-1984. Pour tous les pays, cette reprise est allée de pair avec la croissance économique, obligeant à réexaminer l'hypothèse généralement admise en longue période de liaison entre la consommation d'énergie et la croissance économique. L'année 1986 est incontestablement marquée par un désengagement des Etats dans leurs efforts de maîtrise de l'énergie. Ce désengagement prend surtout la forme d'une diminution drastique - voire d'un arrêt - des aides financières directes aux investissements d'économies ou de substitution énergétique. Toutefois, les réglementations et normes existantes ne sont pas remises en cause. Les efforts publics de recherche-développement, dans le domaine des technologies performantes et des énergies nouvelles et renouvelables, sont maintenus, mais à un niveau moindre. Depuis le début de 1989, la montée rapide des préoccupations des milieux politiques concernant l'environnement en général et "l'effet de serre" en particulier, s'est traduite par une nouvelle sensibilisation à la maîtrise de l'énergie.

## **2.2 Les bilans en énergie primaire**

Il existe en général une assez bonne corrélation entre la disponibilité d'une ressource dans le sous-sol et le poids pris par cette ressource dans le bilan en énergie primaire, c'est en tout cas vrai pour le charbon et le gaz naturel. La part du charbon est faible en France et en Italie, pays qui disposent d'un faible taux d'indépendance charbonnière ; elle est élevée là où le taux d'indépendance charbonnière est lui-même élevé, c'est-à-dire aux Etats-Unis, au Royaume-Uni et en Allemagne Fédérale. La place du pétrole dans le bilan primaire ne semble pas en revanche très corrélée avec l'ampleur de sa disponibilité locale. Cela tient au fait que le pétrole joue le rôle d'une énergie de bouclage dans le bilan primaire. Sa part dépend, par déduction, de la part prise par les autres sources d'énergie compte tenu des usages captifs dont il dispose. Toute réduction (ou augmentation) de la demande d'énergie se traduit, à court terme du moins, par une réduction (ou un accroissement) de sa part dans le bilan énergétique.

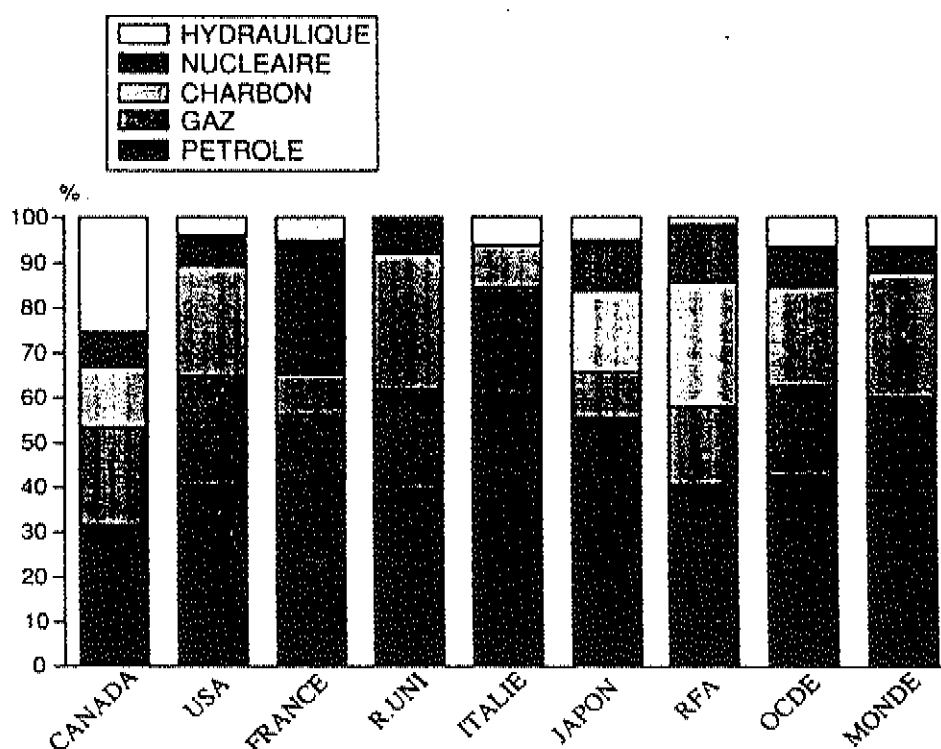
### **2.2.1 L'inégale répartition des richesses énergétiques**

Les ressources en hydrocarbures sont inégalement réparties entre les sept grands pays industrialisés. Les Etats-Unis, le Canada et le Royaume-Uni possèdent des ressources pétrolières alors que les autres pays en sont quasiment dépourvus. Bien que la part des Etats-Unis dans la production de pétrole brut de l'OCDE soit de 59%, les importations de pétrole brut atteignent 45% de la consommation nationale. La situation du gaz naturel est à bien des égards comparable à celle du pétrole : le Canada, les Etats-Unis et le Royaume-Uni sont les principaux pays producteurs. Les réserves de l'OCDE sont essentiellement localisées en Amérique du Nord. Le charbon constitue la source d'énergie la plus abondante dans le monde et la mieux répartie géographiquement, cependant les coûts de production sont très inégaux, souvent très élevés en dehors des Etats-Unis. En Europe, des subventions visent à maintenir la production charbonnière pour des raisons sociales et pour conserver une source d'énergie nationale. L'extraction

charbonnière en Europe est amenée à se réduire dans les années à venir. La RFA, en raison d'une politique charbonnière active et onéreuse arrive encore à couvrir ses besoins en charbon, mais cette situation tend à se dégrader.

### 2.2.2 Structure de la consommation d'énergie primaire

#### REPARTITION DE LA CONSOMMATION D'ENERGIE PRIMAIRE PAR SOURCE D'ENERGIE EN 1989



Si l'on considère l'OCDE dans son ensemble, on constate que le pétrole satisfait 42.7% des besoins en énergie primaire en 1989. Cette proportion est largement dépassée au Japon et en Italie, où les parts du pétrole dans le bilan en énergie primaire sont respectivement de 55.8% et de 60.8%. La forte dépendance de ces deux pays vis-à-vis du pétrole résulte de leur pauvreté en ressources naturelles. Le gaz représente 20% des besoins en énergie primaire de l'OCDE mais seulement 10% au Japon en raison de coûts de transport, et de stockage élevés et 12.1% en France où il est directement concurrencé par l'électricité. Le charbon couvre 21.8% des besoins en énergie primaire de l'OCDE. Les pays bien dotés en réserves charbonnières ou ayant des politiques énergétiques favorisant le recours au charbon tels que les Etats-Unis, la RFA et le Royaume-Uni se situent au dessus de cette moyenne. Le maintien du charbon au second rang des énergies primaires dans l'OCDE et dans le Monde n'est imputable qu'au développement des usages de l'électricité. En effet, la principale utilisation du charbon est désormais la production de courant électrique. Le passage à l'énergie

finale réduit considérablement la part des combustibles minéraux solides dans les bilans énergétiques. En ce qui concerne l'électricité, la France recourt au nucléaire à raison de 30% de son approvisionnement en énergie primaire. Le Japon et la RFA se situent également au dessus de la moyenne OCDE qui est de 9%. Pour l'hydraulique, on remarque la situation particulière du Canada : 25% de l'énergie primaire est d'origine hydraulique contre seulement 6% pour le total OCDE.

### **2.3 Prix des énergies finales et fiscalité**

La fiscalité appliquée à l'énergie constitue un très bon indicateur des contraintes locales et des priorités nationales et n'est pas sans lien avec les mutations et substitutions observées au sein des bilans énergétiques. On peut, à travers la fiscalité, pénaliser une énergie importée au profit d'une énergie produite localement et favoriser la pénétration d'une source d'énergie, accélérer la substitution d'une énergie non polluante à une énergie qui porte atteinte à l'environnement.

#### **a - Le pétrole**

Les pays peuvent être classés en deux groupes, d'un côté les pays européens qui prélèvent des taxes importantes sur les produits pétroliers et de l'autre côté les Etats-Unis, le Canada et le Japon, pays où les taxes sont modestes et même inexistantes dans le cas du fuel lourd. La situation des produits lourds est particulière ; lorsque le fuel est la seule source disponible à grande échelle pour les besoins de l'industrie et des centrales thermiques (cas de l'Italie) ou lorsque le pays en produit abondamment (cas du Royaume-Uni), le prix du fuel est bas et il l'est parce que le poids des taxes reste modéré. Lorsque au contraire le fuel se heurte à l'existence de substituts nationaux qui peuvent ou doivent être valorisés, son prix est sensiblement plus élevé ; c'est le cas de la France où le fuel est directement concurrencé par l'électricité nucléaire.

Le prix du pétrole s'accroît dans les années 1970 pour atteindre son niveau maximum en 1984, excepté au Japon, où le maximum est atteint en 1982. On constate par ailleurs que le prix réel du fuel lourd en 1988 se situe à un niveau proche de celui de 1960 (cf. annexe A).

#### **b - Le gaz naturel**

L'Italie est le pays européen où le gaz utilisé pour les usages industriels est le moins cher et le Royaume-Uni celui où il est le plus coûteux. De manière générale, le gaz utilisé dans l'industrie est peu taxé.

Concernant l'évolution du prix du gaz, des différences importantes entre les pays doivent être mentionnées. Dans les années soixante, le gaz était très cher en France, au Royaume-Uni, au Japon et dans une moindre mesure en RFA. Le prix du gaz reste très élevé au Japon sur toute la période et se situe à un niveau bien supérieur au prix du pétrole, cela en raison de coûts d'approvisionnement et de distribution particulièrement

élevés. Dans les autres pays, au début des années 1970, la consommation de gaz se développe et parallèlement son prix diminue. Après le premier choc pétrolier, le prix du gaz se cale sur l'évolution du prix du pétrole mais présente des fluctuations plus amorties. Au Canada, le prix du gaz est inférieur au prix du pétrole jusqu'en 1986.

### c - Le charbon

Le même constat s'impose partout en Europe : la non compétitivité du charbon national est structurelle et donc durable. Le coût de production du charbon national est donc très significativement supérieur au prix CIF du charbon importé, lequel commande généralement le prix de valorisation interne. Malgré cela, la place du charbon est encore importante dans le bilan énergétique du Royaume-Uni et de la RFA car la production nationale y est subventionnée ou les débouchés locaux y sont protégés. Il existe toutefois une différence notable entre la situation allemande et celle du Royaume-Uni où, comme en France, le prix de valorisation du charbon sur le marché national suit l'évolution du prix sur le marché international, ce qui suppose une subvention aux entreprises charbonnières. En RFA, le prix de valorisation sur le marché national progresse au rythme des coûts de production du charbon national. C'est la conséquence des dispositions institutionnelles qui protègent les débouchés du charbon allemand ; ce charbon est vendu aux centrales thermiques dans le cadre de contrats à long terme à des prix bien supérieurs aux cours mondiaux. C'est donc l'industrie électrique qui perçoit la subvention, payée en pratique par les consommateurs d'électricité. Dans tous les pays étudiés, le charbon-vapeur utilisé dans le secteur industriel est exonéré de taxes.

Le charbon se révèle globalement l'énergie la moins chère sur toute la période 1960-1988 avec une exception pour la RFA. La situation particulière de la RFA s'explique par les coûts élevés de la production nationale de charbon et la divergence entre prix international et prix sur le marché intérieur. Nous remarquons que le charbon est particulièrement bon marché aux Etats-Unis et au Japon. En 1988, le prix réel du charbon atteint un niveau proche de celui de 1960 pour les sept pays considérés. Des fluctuations importantes ont eu lieu entre 1978 et 1984, le prix du charbon a suivi la tendance générale à la hausse des prix des énergies en liaison avec la forte hausse du prix du pétrole (cf. annexe A).

### d - L'électricité

La structure de la production d'électricité est un bon indicateur du coût de l'électricité. Le thermique classique ne représente que 9% en France et 22.7% au Canada contre plus de 60% dans les autres pays. Au sein de ce thermique classique, le rôle du charbon reste dominant aux Etats-Unis (58% en 1988) au Royaume-Uni (68.1%) et en RFA (52.6%). Seule l'Italie continue à utiliser massivement les produits pétroliers pour produire son électricité (44% en 1988). Les contraintes géologiques et les choix technologiques expliquent donc largement les disparités de coût, donc de prix. De plus, là où l'électricité

est coûteuse à produire (RFA, Japon, Italie), les taxes sont plus élevées afin d'en limiter l'usage, ce qui ne fait qu'accroître les disparités.

Pour l'électricité, nous constatons des évolutions de prix très différentes selon les pays. L'électricité est l'énergie la plus coûteuse sur toute la période dans tous les pays ; le prix relatif de l'électricité par rapport aux prix des autres énergies est particulièrement élevé en RFA en raison de la politique charbonnière, en Italie et au Japon. Le prix de l'électricité en Italie est fortement décroissant, il a été divisé par 4.5 entre 1960 et 1988. Au Canada, après une phase de décroissance sur la période 1960-1974, le prix de l'électricité tend à augmenter sur la seconde période. Dans les autres pays, le prix de l'électricité suit un trend croissant jusqu'en 1982 puis amorce une décroissance continue, excepté en RFA où il semble s'être stabilisé depuis 1982.

## 2.4 La consommation d'énergie finale dans l'industrie hors sidérurgie

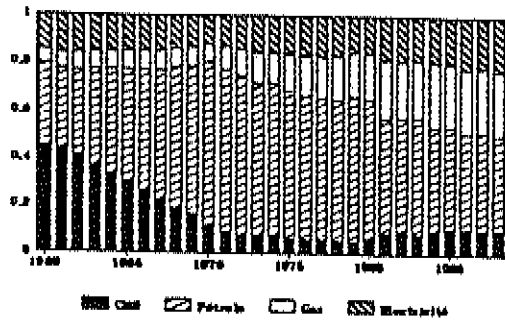
La demande d'énergie finale de l'industrie hors sidérurgie s'est fortement accrue dans les années soixante. Les consommations atteignent un maximum au début des années soixante-dix, excepté au Canada où la consommation est croissante sur toute la période. Depuis le milieu des années soixante-dix, d'importantes restructurations industrielles sont en cours : on observe une forte croissance des industries de pointe à haute technologie et faibles besoins d'énergie et une récession de la plupart des industries de matériaux. Ce mouvement de substitution dans la valeur ajoutée globale de l'industrie, entre branches industrielles d'intensités énergétiques très différentes a eu pour effet de réduire toute choses égales par ailleurs, la consommation totale d'énergie par unité de valeur ajoutée. Tous les pays, excepté le Canada, ont fait preuve d'un effort de rationalisation des consommations énergétiques après le premier choc pétrolier (cf. annexe A) ; cependant, les évolutions sont très contrastées entre pays et les efforts pour réduire les consommations plus ou moins soutenus. Parallèlement, la répartition de la consommation d'énergie finale entre sources d'énergie s'est considérablement modifiée au cours des trois dernières décennies.

La consommation de pétrole a fortement crû jusqu'en 1973 avec quelques disparités selon les pays, qui s'expliquent principalement par des niveaux de consommation très différents en début de période. La consommation était déjà importante en 1960 aux États-Unis, au Canada et en Italie : les deux premiers pays en raison d'importantes ressources nationales et d'une exploitation-production-consommation précoce, l'Italie en raison de la très faible part des combustibles minéraux solides dans sa structure de consommation industrielle. Sur la période 1960-1970, la consommation de pétrole a été multipliée par 8.8 au Japon, 4.7 en RFA, 4.4 en France et 3.5 en Italie. Dans les trois autres pays l'accroissement a été plus modéré : 1.3 aux États-Unis, 2.9 au Royaume-Uni et 1.9 au Canada. Depuis 1973, le pétrole est en régression dans tous les pays, cette régression est la plus forte en France, au Japon et en Italie, pays où la part

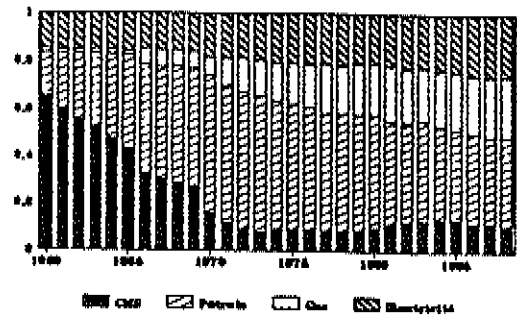


# EVOLUTION DES PARTS DE MARCHÉ DANS L'INDUSTRIE

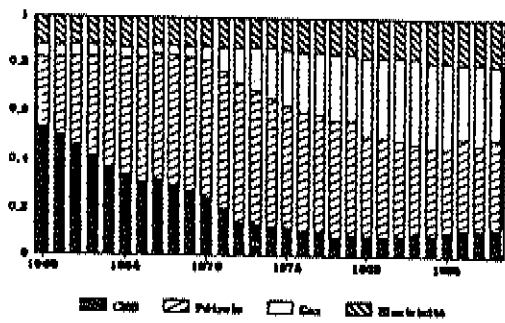
FRANCE



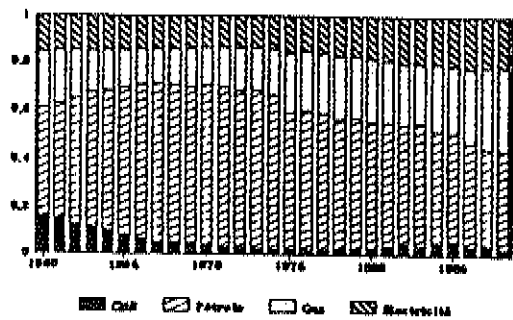
RFA



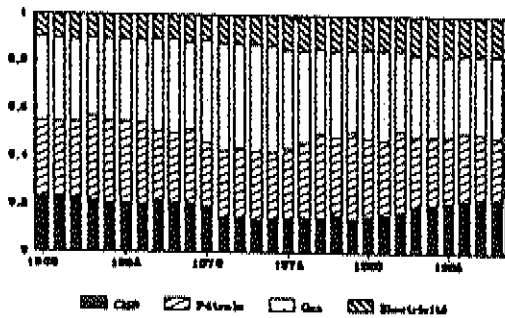
GRANDE-BRETAGNE



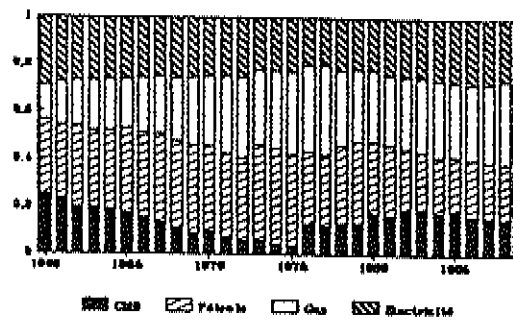
ITALIE



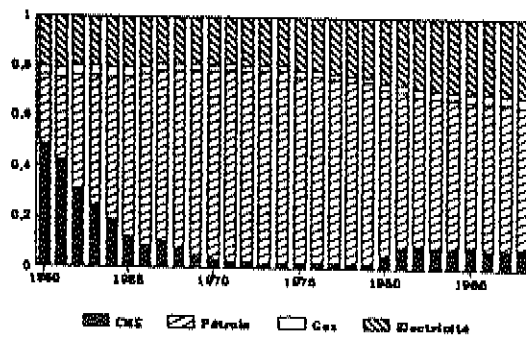
USA



CANADA



JAPON



D'après les statistiques de l'OCDE.

du pétrole était particulièrement importante au moment du premier choc pétrolier. Le Japon est le pays où la part du pétrole était la plus élevée en 1973, elle représentait 76% de la consommation d'énergie du secteur industriel. Ces parts atteignaient 65% en Italie et 64% en France. En 1988, elles sont respectivement de 55%, 41% et 39%. La consommation de pétrole régresse dès 1973 en France, en RFA, en Italie et au Japon alors qu'elle a surtout été sensible après 1980 au Royaume-Uni, aux Etats-Unis et au Canada. Partout, la régression semble stoppée depuis 1985, et même une reprise des consommations de pétrole est amorcée.

Globalement sur toute la période le charbon est en régression dans les pays européens et au Japon. En 1960, la part du charbon dans la consommation industrielle était de 65% en RFA, 53% au Royaume-Uni, 45% en France, 49% au Japon ; en 1988, ces parts sont respectivement de 11%, 12%, 10% et 9%. La consommation de charbon n'a pas connu d'aussi larges fluctuations aux Etats-Unis et au Canada, elle se situe en 1988 à un niveau supérieur à celui de 1960 ; la part du charbon dans la consommation totale du secteur industriel hors sidérurgie est passée de 25% à 15% au Canada et de 23% à 22% aux Etats-Unis sur la période 1960-1988. Sur la même période, la consommation de charbon a été divisée par 2.2 en France, 3.5 en RFA et 3.7 au Royaume-Uni. La régression du charbon s'interrompt en 1980 et l'on assiste à une remontée sensible de la part du charbon dans la consommation d'énergie finale de l'industrie, excepté en Italie, où la consommation de charbon est historiquement très faible, sa part dans la consommation industrielle atteignait 2% en 1988.

La consommation de gaz s'est accrue fortement dans tous les pays dans les années 70 puis elle s'est stabilisée dans les années 80, excepté aux USA où le niveau de consommation culmine en 1974 pour décroître et se stabiliser par la suite. En ce qui concerne la consommation d'électricité, on observe un trend croissant sur toute la période, à un rythme soutenu dans les années 60 puis de façon moins marquée dans les années 70. Il existe un point commun entre tous ces pays, le gaz et l'électricité se sont substitués au charbon et au pétrole mais nous constatons que ces substitutions semblent freinées en fin de période. Si les tendances sont identiques dans tous les pays, des divergences existent cependant dans l'ampleur des phénomènes de substitution et dans l'énergie qui s'impose en remplacement du pétrole. Au Japon, la part de marché du gaz dans la consommation d'énergie de l'industrie est inférieure à 4% sur toute la période, le gaz est essentiellement consommé par la génération d'électricité. L'électricité s'est progressivement substituée au pétrole tandis que le charbon a vu sa part s'accroître dans la consommation industrielle dans les années 80. Aux Etats-Unis, la diminution de la consommation de pétrole a été en partie couverte par une augmentation de la part de l'électricité, la part du gaz étant à peu près constante sur toute la période 35% en 1960 et 34% en 1988. Cette part a atteint un maximum en 1971, elle représentait alors 45% de la consommation d'énergie. Au Canada, la consommation de gaz s'est considérablement développée et s'est progressivement substituée au pétrole

et au charbon. La part de l'électricité est restée stable sur toute la période, elle a toujours été élevée : 28% en 1960 et 26% en 1988. Les pays européens peuvent aisément être regroupés, ils présentent de fortes similitudes, le gaz naturel et l'électricité ont connu un développement considérable et simultané. Cependant, il faut mentionner que la part du gaz a toujours été importante en Italie 23% en 1960 et 34% en 1988 alors qu'elle a connu une véritable explosion dans les trois autres pays européens : elle est passée de 5% à 27% en France, de 1% à 25% en RFA et de 5% à 30% au Royaume-Uni entre 1960 et 1988.

### 3 Présentation des résultats

Notre objectif est de souligner les spécificités nationales et les analogies entre pays en matière de substitutions énergétiques. L'étude comparative des résultats nous conduit à nous intéresser successivement aux effets prix propres et aux substitutions énergétiques et à privilégier une présentation par produit ou couple de produits plutôt qu'une présentation par pays.

Les substitutions énergétiques dans le secteur industriel hors sidérurgie ont été estimées à partir des spécifications présentées à la section 1 sur la période 1960-1988. Les sources statistiques utilisées sont l'OCDE pour les consommations énergétiques, l'AIE pour les prix énergétiques et le FMI pour les indicateurs globaux.

#### 3.1 Les effets prix propres

Nous analysons les effets prix propres pour chaque produit énergétique, pour cela nous nous référons aux élasticités prix propres présentées au tableau 2 (les intervalles ont été établis à partir de toutes les spécifications estimées).

##### a - Le pétrole

L'élasticité prix propre du pétrole est relativement forte, le pétrole étant l'énergie qui a subi le plus fortement le contrecoup des hausses de prix sur la période 1960-1988. L'élasticité prix propre de long terme est proche de -0.6 dans les pays européens et au Japon. Elle se situe à un niveau inférieur au Canada et aux Etats-Unis, -0.3. Cette différence s'explique essentiellement par la divergence des politiques énergétiques.

Dans les pays européens et au Japon, des politiques énergétiques plus ou moins interventionnistes ont été mises en place, leur objectif était de réduire la dépendance vis-à-vis du pétrole par le développement d'une énergie nationale, par une diversification des approvisionnements et par une utilisation rationnelle de l'énergie. Nous remarquons en Italie une diminution de la sensibilité de la demande de pétrole à son prix sur la période 1974-1985, cela s'explique par la forte vulnérabilité énergétique de l'Italie, une structure de consommation largement dominée par les hydrocarbures et

# Elasticités prix estimées sur la période 1960-1988

Tableau 2 : Elasticités prix propres

	Pétrole	Charbon	Electricité	Gaz
Etats-Unis	-0.16, -0.03 -0.34 à LT	-0.6, -0.3 -0.8 à LT	-0.28, -0.13 -0.43 à LT	-0.45, -0.25 -0.53 à LT
Japon	-0.44, -0.31 -0.63 à LT	-1.2	-0.18, -0.09 -0.28 à LT	-0.5, -0.2
RFA	-0.31, -0.17 -0.55 à LT	-2.9, -0.7	-0.19, -0.07, -0.32 à LT	-0.4, -0.3 -1.0 à LT
France	-0.6, -0.27	-1.5, -1.0	-0.11, -0.02 -0.46 à LT	-0.36, -0.3 -1.0 à LT
Royaume-Uni	-0.25, -0.1 -0.59 à LT	-0.36, -0.17 -0.77 à LT	-0.16, -0.05 -0.39 à LT	-0.4, -0.2 -1.0 à LT
Italie	-0.27, -0.15 -0.67 à LT	-1.7, -0.7	-0.06, -0.04 -0.26 à LT	-0.15 -0.67 à LT
Canada	-0.3, -0.1	-0.37, -0.23	-0.14, -0.05	-0.03

CT : court terme

LT : long terme

EIJ : L'élasticité de la demande de produit I au prix du produit J.

Tableau 3 : Elasticités prix croisées moyennes

		EPG	EPE	EPC	EGP	EGE	EGC	EEP	EEG	EEC	ECP	ECG	ECE
France	CT	0.15	0.12		0.41	-0.26		0.09	-0.06				
	LT	0.29	0.15		0.79	0.29		0.12	0.09				
Etats-Unis		0.15	-0.08	-0.07	0.17	0.15	0.09	-0.03	0.08	0.09	-0.23	0.26	0.57
Royaume-Uni		0.39	*		0.64	0.35		*	0.12				
RFA	CT	0.05	0.11		0.13	0.17		0.05	0.03				
	LT	0.16	0.39		0.46	0.57		0.16	0.09				
Canada		-0.36	0.28	0.31	-0.59	0.41	0.26	0.12	0.1	-0.05	0.97	0.47	-0.45
Italie	CT	0.03	0.12	0.006	0.06	0.11	-0.007	0.04	0.02	0.007	0.06	-0.03	0.024
	LT	0.11	0.53	0.03	0.25	0.45	-0.03	0.16	0.07	0.03	0.26	-0.11	1.0
Japon		0.07	0.32		0.41	*		0.15	*				

\* : une moyenne n'a pas de sens, le signe n'étant pas constant sur toute la période.

une politique d'économies d'énergie très tardive sinon inexistante. Dans les autres pays, l'élasticité prix propre du pétrole est quasiment stable sur toute la période (cf. annexe B).

Au Canada et aux Etats-Unis la priorité a été accordée à l'offre d'hydrocarbures et non à la régulation de la demande, contrairement aux politiques européennes et japonaise. Pendant longtemps dans ces deux pays, les prix des hydrocarbures ont été fortement réglementés et maintenus à un niveau artificiellement bas comparativement aux prix internationaux. Les évolutions des élasticités prix du pétrole sont beaucoup plus heurtées au Canada et aux Etats-Unis. Au Canada, l'élasticité est constante jusqu'en 1973 puis elle décroît jusqu'en 1986. Aux Etats-Unis, l'élasticité est très faible mais exhibe de fortes variations en 1970 et depuis 1985, le relâchement des prix du pétrole semble traduire une mauvaise anticipation du prix de la part des industriels, une défiance vis-à-vis de cette énergie.

## **b - Le gaz naturel**

On observe une similitude logique avec les produits pétroliers. Le niveau des élasticités est cependant légèrement supérieur en valeur absolue en raison de l'absence d'usage captif pour le gaz. La situation est sensiblement différente d'un pays à l'autre.

Nous remarquons une inélasticité totale de la demande de gaz à son prix au Canada, l'élasticité prix propre est de -0.03. La consommation de gaz s'est considérablement développée sur la période étudiée, la part de marché du gaz est passée de 15% en 1960 à 35% en 1988. Il faut souligner que le Canada, est le seul pays où la part de dépense du gaz s'est accrue alors que le prix relatif du gaz a augmenté sur toute la période. Le Canada a maintenu un prix du gaz relativement élevé pour favoriser les exportations. La situation est identique en France, au Royaume-Uni et en RFA, l'élasticité prix propre du gaz est de -1 à long terme, ce qui traduit la progression rapide de la consommation de gaz sur toute la période. L'élasticité prix du gaz décroît légèrement sur la période globale. Nous observons en France une plus forte sensibilité de la demande de gaz de long terme à son prix entre 1968 et 1975 en raison d'une forte diminution du prix du gaz. Par ailleurs, à court terme la demande de gaz est très peu sensible à son prix (-0.15), elle est fortement dépendante du prix du pétrole (-0.41).

L'élasticité est inférieure en Italie, la part de marché du gaz était déjà importante en début de période, la progression a été beaucoup plus modérée. L'élasticité s'accroît en valeur absolue à partir de 1975 en raison d'une forte augmentation du prix du gaz dans l'industrie italienne.

Aux Etats-Unis et au Japon, l'élasticité prix propre du gaz se situe à un niveau intermédiaire, -0.5 à long terme, en raison d'une consommation très faible au Japon et de l'absence de politique de régulation de la demande aux Etats-Unis.

### c - Le charbon

Les élasticités prix propres du charbon sont particulièrement fortes (largement supérieures à l'unité en valeur absolue) en RFA, en France, au Royaume-Uni, en Italie et au Japon. Elles sont plus faibles au Canada et aux Etats-Unis, mais elles se situent à un niveau supérieur à celui des autres élasticités prix propres. Les élasticités sont fortes car elles attribuent à tort l'effondrement de la part de dépense du charbon à des effets prix alors qu'il s'agit d'un phénomène plus structurel lié à la diffusion d'équipements fonctionnant au fuel, au gaz et à l'électricité et indépendant des évolutions des prix énergétiques, ces nouveaux équipements offrent un meilleur rendement, une facilité d'utilisation supérieure... Cela traduit l'incapacité d'un sous-modèle énergétique indépendant à expliquer la chute de la consommation de charbon sur la période 1960-1988 et remet en cause l'hypothèse de séparabilité homothétique de la fonction de production agrégée. En effet, d'autres facteurs, tel que le coût en main d'œuvre lié à l'utilisation, sont ignorés. De plus, le mode de calcul contribue à surestimer l'élasticité prix propre du charbon, celle-ci étant inversement proportionnelle à la part de dépense du charbon.

### d - L'électricité

Les élasticités prix propres relatives à l'électricité sont plus faibles que les autres énergies, exception faite des Etats-Unis.

Cette quasi-inélasticité de l'électricité à son prix trouve plusieurs explications :

- Ce produit a connu un développement régulier sur la période considérée. La découverte et la diffusion de procédés technologiques fonctionnant à l'électricité ont permis à cette énergie d'accroître sa part de marché.
- La plus grande rigidité des équipements nécessite des investissements importants pour changer d'énergie. Les équipements bi-énergie permettent une permutation facile et peu coûteuse entre énergies fossiles, dans le cas de l'électricité, un tel changement ne peut être réalisé que par l'intermédiaire d'un investissement additionnel coûteux.
- La définition des prix utilisés - il s'agit de prix moyens ex-post - ne représente pas exactement les prix auxquels les industriels sont confrontés et ne permet pas de rendre compte précisément de la réaction des industriels à une variation du prix de l'électricité.
- L'électricité est le produit dont le prix a le moins augmenté sur toute la période.
- La part de dépense de l'électricité étant très forte, le mode de calcul des élasticités tend à sous-estimer les élasticités prix électricité.

La demande d'électricité a été plus sensible à son prix sur la période 1970-1985 dans tous les pays, excepté au Canada. Dans un contexte de prix des hydrocarbures élevés, la demande d'électricité s'est plus rapidement développée. Puis, à partir de 1986, nous constatons une relative inélasticité de la demande à son prix, le fuel étant redevenu compétitif. Quand la sensibilité de la demande d'électricité par rapport à son prix s'accroît, les substitutions pétrole-électricité s'accroissent et inversement.

### 3.2 Les substitutions énergétiques

Les relations de substituabilité-complémentarité entre énergies sont déterminées par le signe des élasticités prix croisées, présentées au tableau 3. Nous nous intéressons aux liaisons entre chaque couple d'énergie, les évolutions des élasticités prix sont présentées en annexe B.

#### a - Pétrole et gaz naturel

Nous constatons dans tous les pays une augmentation du rôle du gaz consécutive au développement du réseau de transport et de distribution. Le gaz devient un concurrent omniprésent. Pétrole et gaz naturel sont largement substituables dans tous les pays sauf au Canada. La substituabilité entre ces deux produits s'est fortement accrue dans les années soixante-dix mais elle s'atténue en fin de période ; le gaz ayant atteint une part de marché relativement forte, toute augmentation s'avère de plus en plus difficile, de plus, le prix du pétrole est redevenu compétitif. L'élasticité de la demande de pétrole au prix du gaz est particulièrement forte au Royaume-Uni (0.39), elle est plus modérée dans les autres pays, où elle est inférieure à 0.15 à court terme. L'élasticité de la demande de gaz au prix du pétrole est importante en France, au Royaume-Uni, en RFA et au Japon, elle est supérieure à 0.4 mais elle décroît en fin de période.

Tous les modèles estimés mettent en évidence une forte complémentarité entre gaz et pétrole au Canada. Ce résultat a priori surprenant trouve plusieurs explications. Nous avons observé des élasticités prix propres du gaz et du pétrole particulièrement faibles au Canada, la consommation de ces deux énergies paraît indépendante des prix. Le développement du gaz naturel a été très important sur la période 1960-1988 en dépit d'une évolution des prix relatifs défavorable au gaz. Le gouvernement canadien a maintenu des prix du gaz élevés pour freiner la consommation nationale et favoriser les exportations. Le gaz et le pétrole se sont donc développés sans se concurrencer. D'autre part, la principale région productrice, l'Alberta, se trouve éloignée des régions industrialisées fortement consommatrices de l'est. Pour des raisons de localisation géographique le pétrole importé et le gaz national se partagent le marché. Une étude régionale serait intéressante, elle permettrait de mettre en évidence une structure de consommation régionale très disparate.

#### b - Pétrole et électricité

La nature de la relation entre le pétrole et l'électricité diffère selon les pays. Pétrole et électricité sont complémentaires aux Etats-Unis de 1967 à 1988, au Royaume-Uni en 1960 et 1961 et de 1986 à 1988. Ils sont substituables dans les autres pays.

La quasi-inélasticité de la demande d'électricité au prix du pétrole (inférieure à |0.16| aussi bien à court terme qu'à long terme) s'explique par le développement

des usages spécifiques de l'électricité sur la période considérée, indépendamment des prix des énergies à court et moyen terme. La sensibilité de la demande d'électricité au prix du pétrole a décliné à partir du milieu des années soixante-dix en France, au Royaume-Uni et au Japon alors qu'elle s'est accentuée jusqu'en 1986 en Italie. En effet, la consommation d'électricité s'est accrue régulièrement dans tous les pays, les prix du pétrole et de l'électricité ont augmenté simultanément en France, au Royaume-Uni et au Japon à partir de 1975 alors que le prix de l'électricité a diminué en Italie sur la même période.

L'élasticité de la demande de pétrole au prix de l'électricité est assez importante au Japon (0.32), à long terme en Italie (0.53) et en RFA (0.28).

### c - Gaz et électricité

Gaz et électricité sont substituables au moins à long terme dans tous les pays excepté au Japon. La sensibilité de la demande d'électricité au prix du gaz est très faible mais s'accroît sur la période 1970-1986. Si nous examinons plus précisément les élasticité-prix croisées gaz-électricité, nous constatons que la situation est très différente d'un pays à l'autre.

La demande de gaz est assez sensible au prix de l'électricité au Royaume-Uni et au Canada et plus faiblement aux Etats-Unis, ce qui révèle une concurrence entre les deux énergies basée sur un différentiel de prix. La concurrence s'est infléchie sur toute la période au Canada alors qu'elle semble globalement stable dans les deux autres pays ; la consommation de gaz s'est considérablement développée au Canada en dépit du prix du gaz élevé sur toute la période.

Gaz et électricité ont été substituables au Japon de 1960 à 1974 et sont devenus complémentaires en fin de période. La faiblesse de la part de marché du gaz dans l'industrie japonaise permet d'affirmer que le développement du gaz n'a pas été limité par la concurrence des autres énergies mais résulte d'un approvisionnement coûteux et de la difficulté à mettre en place des structures de transport et de distribution. L'évolution de la consommation de gaz au Japon est indépendante des effets prix.

En France, gaz et électricité sont substituables à long terme et complémentaires à court terme. A court terme les deux énergies se sont développées parallèlement sans se concurrencer, elles se sont substituées au pétrole et au charbon. Elles sont de moins en moins complémentaires car les substitutions au fuel et au charbon deviennent de plus en plus difficiles, d'autant plus que le prix du pétrole est redevenu compétitif. A long terme, gaz et électricité se concurrencent. Ces deux énergies ont connu un développement important sur la période étudiée, l'électricité en raison notamment de l'extension de ses usages spécifiques, mais actuellement le développement d'une de ces



deux énergies freine le développement de l'autre. En raison d'une politique d'utilisation rationnelle de l'énergie particulièrement efficace, les parts de marché du charbon et du pétrole atteignent en France un niveau "incompressible", les possibilités de substituer du gaz ou de l'électricité au charbon et au pétrole semblent beaucoup plus limitées que dans le passé. La concurrence joue à long terme entre le gaz et l'électricité.

En RFA et en Italie, la substituabilité entre le gaz et l'électricité déterminée à long terme, se traduit par une substituabilité à court terme en raison de la spécification retenue <sup>5</sup>. Cependant, d'autres spécifications suggèrent une complémentarité entre le gaz et l'électricité. Nous pouvons supposer que la situation de la RFA et de l'Italie se rapproche du cas français : les deux énergies sont substituables à long terme et complémentaires à court terme.

#### d - Charbon et autres énergies

L'élasticité gaz charbon est généralement positive dans tous les pays, le charbon ayant été principalement remplacé par le gaz naturel.

En RFA, au Royaume-Uni en France et au Japon, les substitutions charbon-autres énergies ont été très importantes mais elles ne peuvent pas uniquement s'expliquer par une compétitivité accrue des prix des autres énergies sur toute la période. En effet, si le différentiel de prix était favorable aux substitutions pétrole-charbon dans les années soixante, le prix relatif élevé du pétrole par rapport au charbon dans les années soixante-dix n'a pas entraîné une reprise de la consommation de charbon. De plus, les estimations exhibent des relations de complémentarité forte ou de substituabilité faible entre le pétrole et le charbon, contrairement à ce que l'on pouvait attendre. Ces résultats révèlent une mauvaise spécification des modèles PEGC et remettent en cause l'hypothèse de séparabilité de la fonction de production agrégée. Au Canada, la chute de la consommation a suivi une évolution très différente <sup>6</sup>, la part de marché du charbon, plus faible en début de période que dans les autres pays, a fortement diminué jusqu'en 1975, puis elle s'est accrue brusquement en seconde période et s'est stabilisée. En Italie, la part du charbon historiquement plus faible a limité les substitutions charbon-autres énergies. Aux États-Unis, la part de marché du charbon dans l'industrie est restée quasiment stable sur la période 1960-1988, peu de substitutions

<sup>5</sup>Il s'agit d'un modèle d'ajustement intégrant un retard sur les parts de dépense. Les élasticités de court terme sont directement déduites des élasticités de long terme par l'intermédiaire du paramètre d'ajustement. (cf. Renou (1992)).

<sup>6</sup>Il convient de mentionner un problème lié aux séries statistiques utilisées. La série relative à la consommation de charbon dans l'industrie canadienne hors sidérurgie ne nous semble pas fiable : la consommation de charbon a été multipliée par 4 entre 1975 et 1976 (cf. annexe A). Ne disposant pas d'une autre source statistique, nous avons été contraints d'utiliser la série OCDE. Cette rupture apparaît clairement sur le graphique représentant l'évolution des élasticité prix de la demande de charbon (annexe B, Canada).

se sont réalisées au détriment du charbon.

Nous n'insistons pas sur les relations charbon-autres énergies en raison de l'erreur de spécification introduite par la modélisation du charbon, ces relations attribuent abusivement des changements de comportement de consommation à des effets prix. De plus, la plupart des coefficients estimés relatifs au charbon se sont avérés non significatifs et ne peuvent donc pas être interprétés.

## 4 Conclusion

De manière générale, le gaz et l'électricité se sont substitués au charbon et au pétrole mais les substitutions sont freinées en fin de période. La demande d'électricité est fortement inélastique aux prix des énergies, cette inélasticité s'explique d'une part par le développement des usages spécifiques de l'électricité et d'autre part par un prix relatif de l'électricité qui dans bien des pays est resté très élevé sur toute la période. Le développement de l'électricité en France s'explique davantage par des incitations fiscales, des aides à l'investissement, des campagnes publicitaires... que par un différentiel de prix favorable à l'électricité. Cette inélasticité est renforcée en fin de période par la compétitivité du prix du pétrole.

Nous avons mis en évidence une similitude de comportement entre les pays européens et le Japon d'une part, et les Etats-Unis et le Canada d'autre part. Les pays européens et le Japon en raison d'une plus forte dépendance énergétique se sont révélés beaucoup plus sensibles à l'évolution des prix des énergies. Nous remarquons une forte sensibilité des demandes de gaz et de pétrole à leurs prix respectifs et une forte substituabilité entre ces deux énergies en Europe. Les bilans énergétiques se sont modifiés à la suite des hausses du prix du pétrole, la part du pétrole a commencé à décroître dès 1974. Nous observons des profils de substitutions très proches en France, au Royaume-Uni et en RFA. Le Canada et les Etats-Unis, en raison de fortes disponibilités en énergie et de politiques énergétiques orientées vers l'offre d'hydrocarbures exhibent des élasticités prix propres très faibles, la demande d'énergie est relativement insensible au prix de l'énergie. Les substitutions énergétiques aux Etats-Unis sont très faibles, la structure du bilan n'a été que très peu modifiée entre 1960 et 1988.

Les modèles présentés à la section 1 accordent une place centrale aux prix des énergies, tous les changements de la structure de consommation sont expliqués par des effets prix. Cependant, il existe des éléments qui peuvent influencer les substitutions entre énergies et qui ne sont pas pris en compte par cette approche. Il s'agit notamment des modifications de la structure industrielle, des changements techniques, des problèmes de délocalisation industrielle, des habitudes de consommation, des réseaux de transport, du climat, des contraintes politiques et institutionnelles... Nous avons insisté en particulier sur les problèmes de spécification posés par la modélisation du charbon. Dans ce type de modèle, l'effondrement de la consommation de charbon est

attribué à tort à des effets prix alors qu'il s'agit d'un phénomène plus structurel lié à la diffusion d'équipements fonctionnant au fuel, au gaz et à l'électricité. L'estimation de ces modèles révèle une erreur de spécification. Le recours à des modèles translog dynamiques, non homothétiques, avec progrès technique <sup>7</sup> nous a permis d'améliorer notablement la représentation des substitutions en s'affranchissant en partie d'une trop forte rigidité liée au passé.

---

<sup>7</sup>Ces modèles ont été retenus pour six pays sur sept.

## ANNEXE A

### Statistiques énergétiques

#### Evolution de la consommation totale d'énergie primaire

Mtep	1970	1973	1975	1980	1982	1985	1989
CANADA	162.7	190.9	195.0	226.1	214.9	222.8	244.3
USA	1665.3	1822.7	1774.1	1836.1	1718.8	1792.4	1967.8
FRANCE	159.6	186.1	169.8	189.3	181.8	188.6	201.4
ROYAUME-UNI	213.5	224.8	204.4	203.8	193.9	202.1	203.9
ITALIE	124.5	137.9	133.2	145.8	140.5	139.6	155.0
JAPON	287.5	347.7	339.9	359.6	341.0	374.3	417.4
RFA	241.2	264.9	242.7	270.5	249.6	267.7	262.3
OCDE	3293.7	3668.8	3527	3751.3	3549.8	3726.5	4052.1

Sources : BP, OCDE

#### Intensités énergétiques dans l'industrie hors sidérurgie

Indices base 100 en 1980	1960	1970	1974	1978	1982	1986	1988
Canada	97.2	89.7	90.5	97.0	98.6	92.0	92.9
USA	133.3	127.6	108.9	95.7	93.7	77.4	75.9
France	99.1	131.6	101.4	96.2	85.0	80.1	79.1
Royaume-Uni	120.8	135.7	130.4	110.6	93.3	83.4	80.1
Italie	119.8	141.3	133.6	111.4	90.7	86.0	90.4
Japon	156.2	141.7	139.8	123.3	88.5	81.2	77.1
RFA	113.2	98.8	102.0	100.7	94.0	86.1	86.1

Sources : OCDE, FMI

Ces indices sont rapportés au PIB en monnaie nationale constante base 100 en 1980.



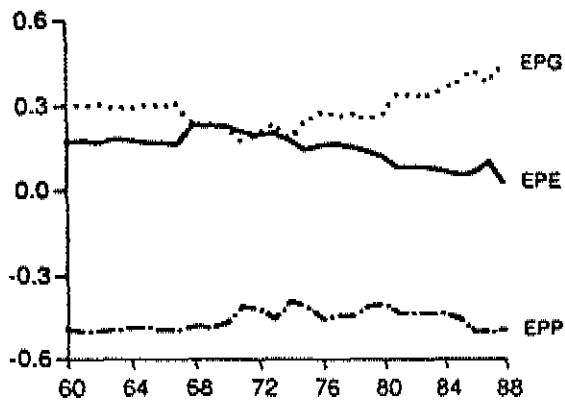
## ANNEXE B

### Evolution des élasticités prix sur la période 1960-1988

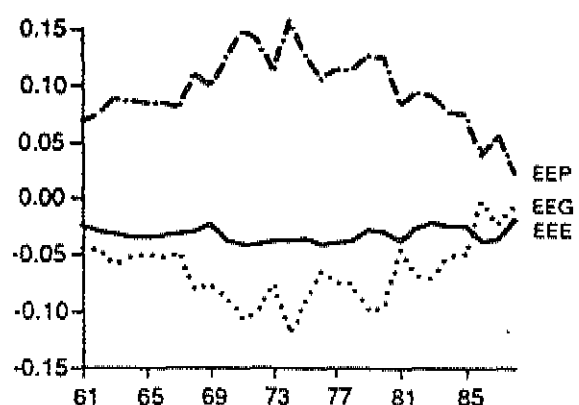
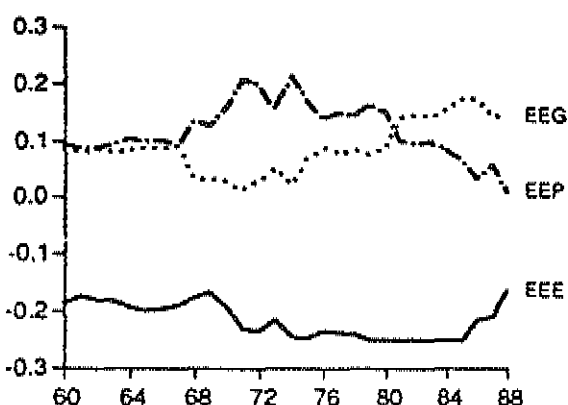
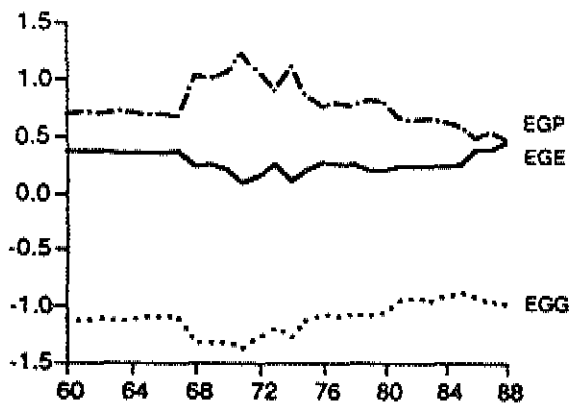
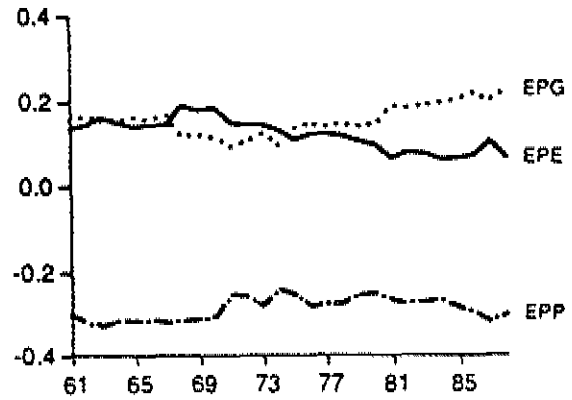
#### France : modèle translog dynamique

Il s'agit d'un modèle d'ajustement des parts de dépense en volume. Ces modèles présentent l'avantage de pouvoir rendre compte de relations différentes entre le court terme et le long terme (cf. Renou (1992)).

ELASTICITES DE LONG TERME

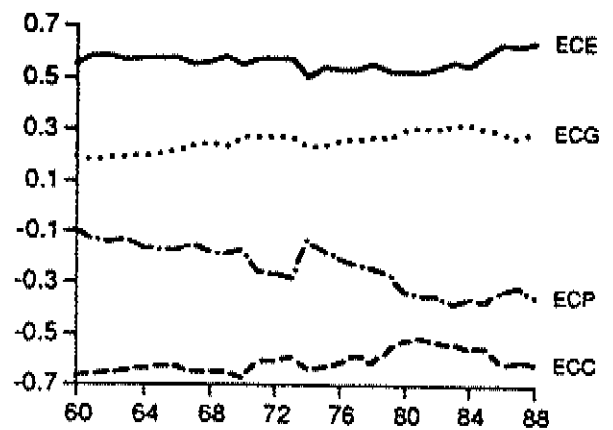
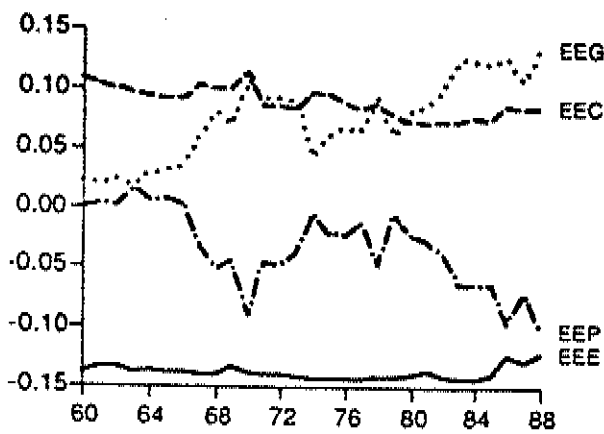
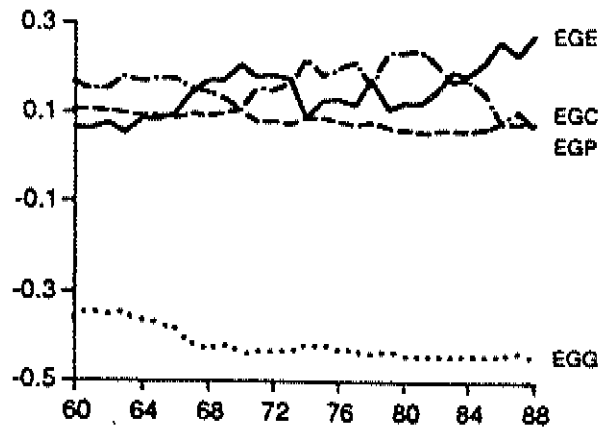
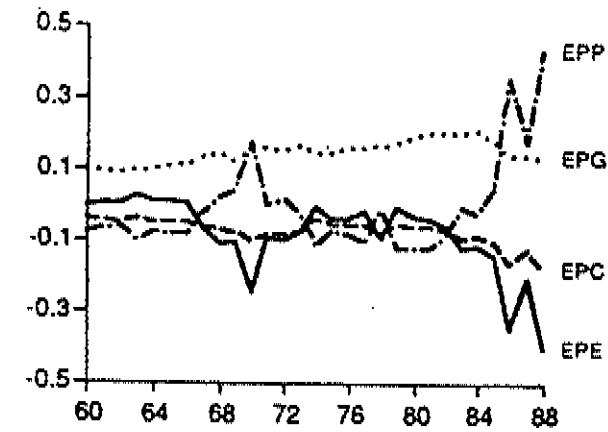


ELASTICITES DE COURT TERME

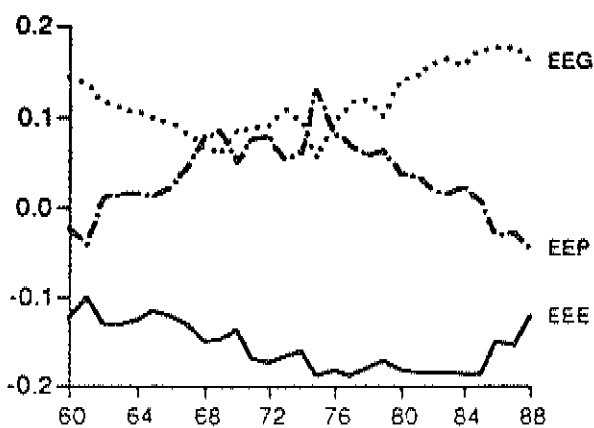
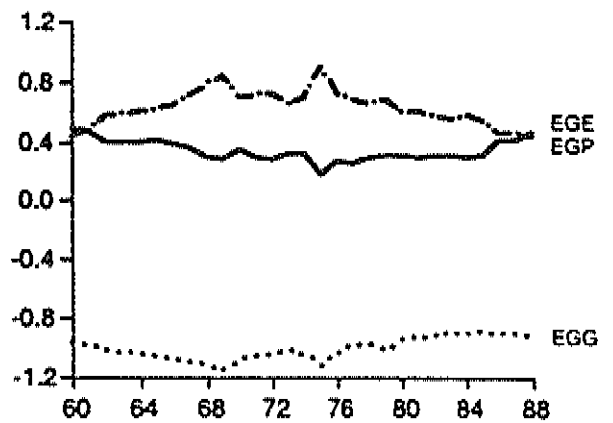
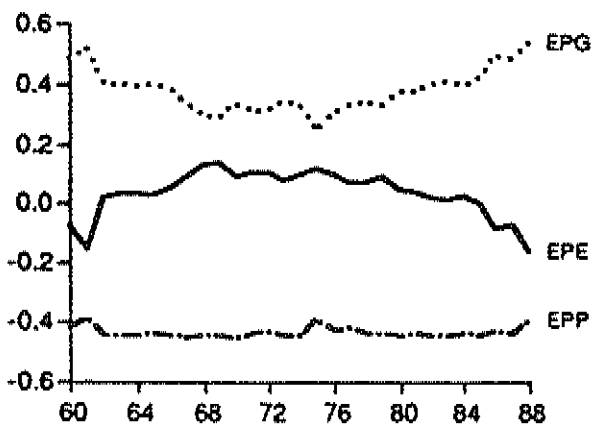




## Etats-Unis : modèle translog avec progrès technique



## Royaume-Uni : modèle translog non homothétique

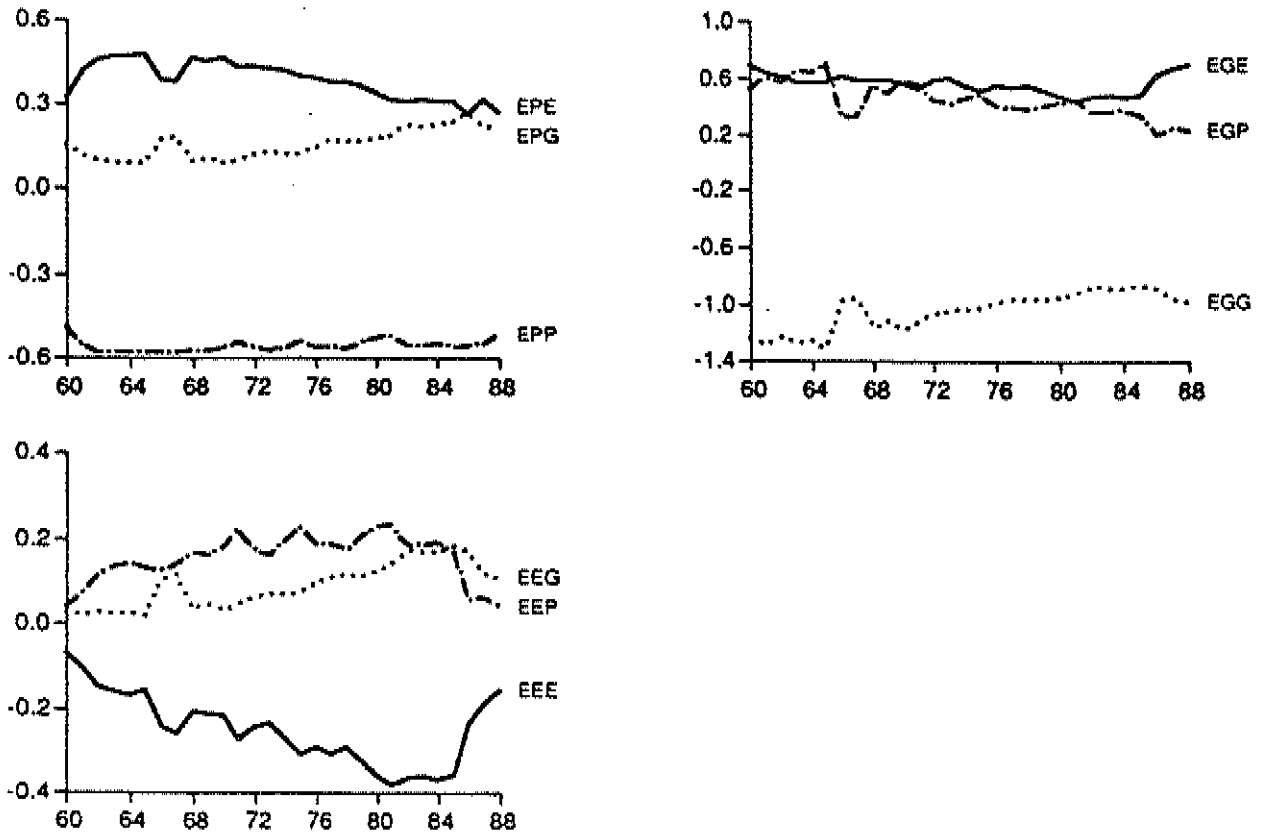




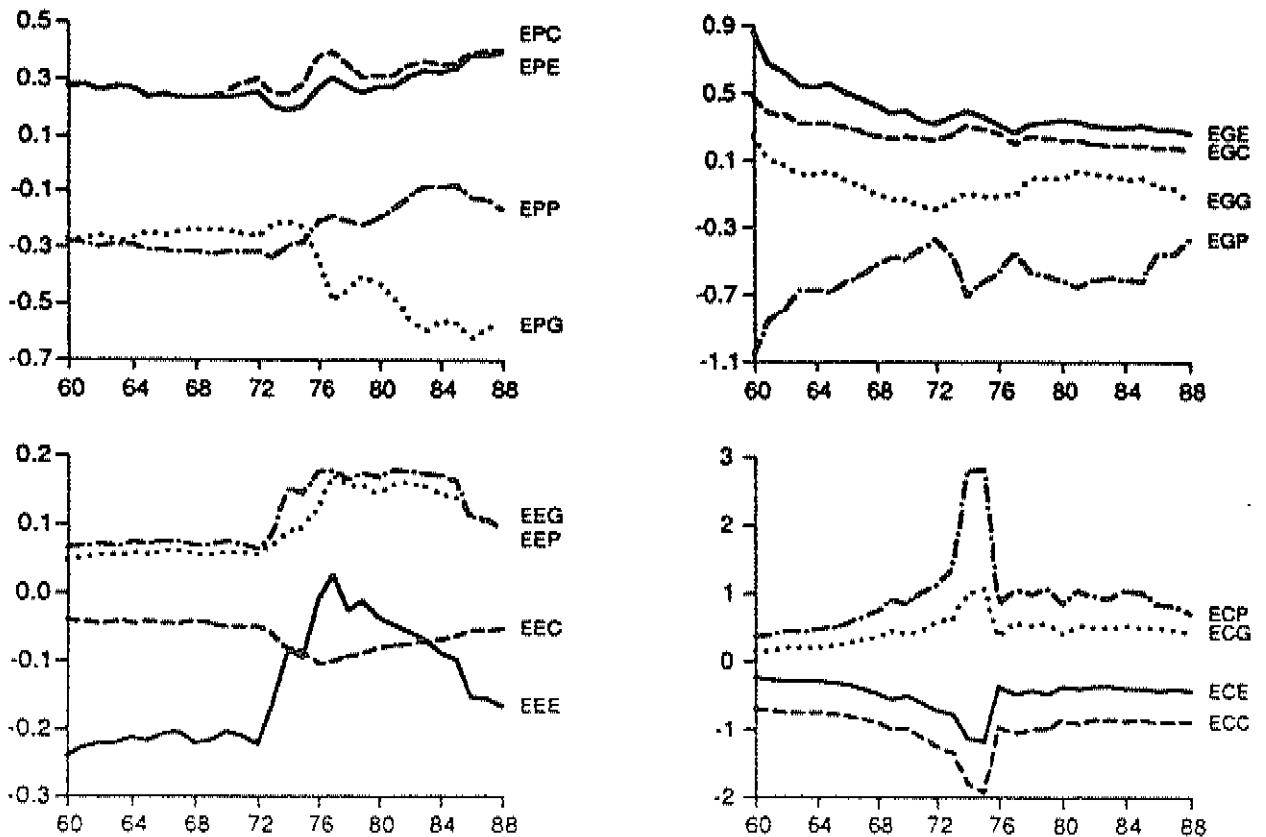


## RFA : modèle translog dynamique (élasticités de long terme)

Il s'agit d'un modèle d'ajustement des parts de dépense en valeur. Dans ce cas, les élasticités de court terme sont directement déduites des élasticités de long terme par l'intermédiaire du paramètre d'ajustement.



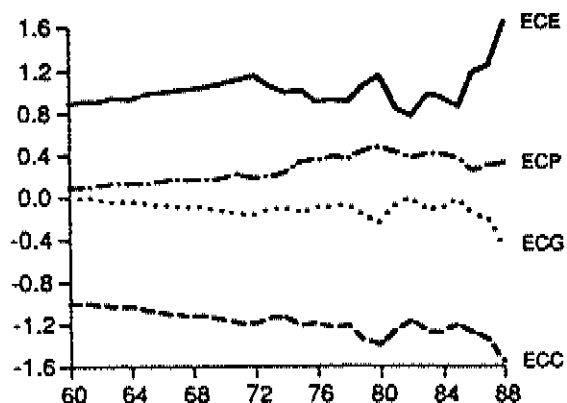
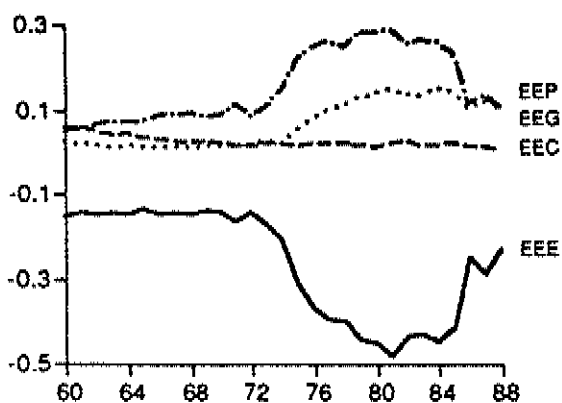
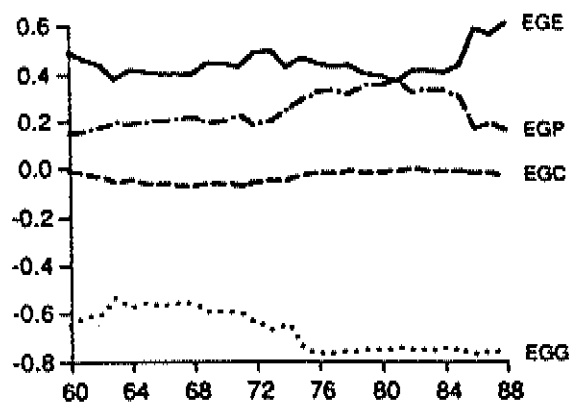
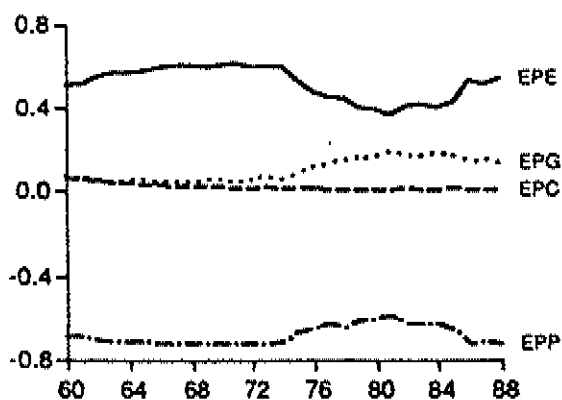
## Canada : modèle Léontief généralisé



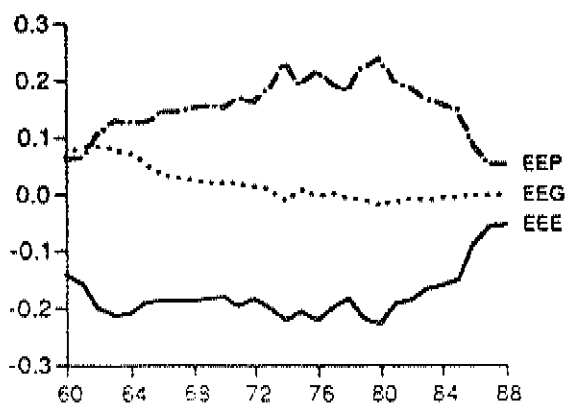
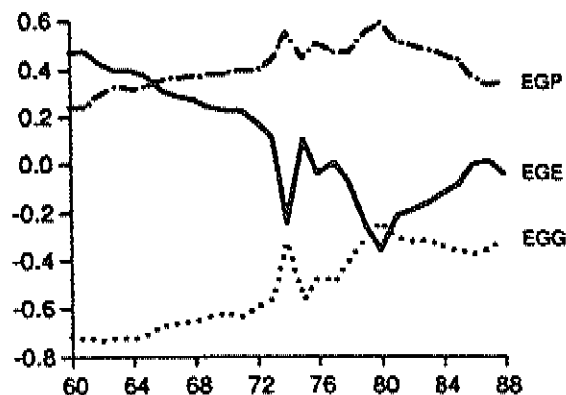
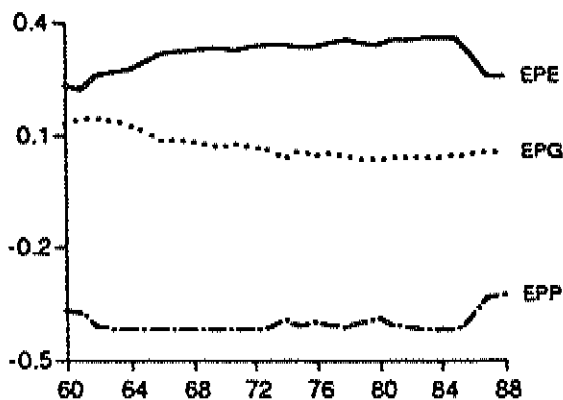


## Italie : modèle translog dynamique (élasticités de long terme)

Il s'agit d'un modèle d'ajustement des parts de dépense en valeur. Dans ce cas, les élasticités de court terme sont directement déduites des élasticités de long terme par l'intermédiaire du paramètre d'ajustement.



## Japon : modèle translog avec progrès technique





# Elasticités prix estimées sur la période 1960-1988

Tableau 2 : Elasticités prix propres

	Pétrole	Charbon	Electricité	Gaz
<b>Etats-Unis</b>	-0.16, -0.03 -0.34 à LT	-0.6, -0.3 -0.8 à LT	-0.28, -0.13 -0.43 à LT	-0.45, -0.25 -0.53 à LT
<b>Japon</b>	-0.44, -0.31 -0.63 à LT	-1.2	-0.18, -0.09 -0.28 à LT	-0.5, -0.2
<b>RFA</b>	-0.31, -0.17 -0.55 à LT	-2.9, -0.7	-0.19, -0.07 -0.32 à LT	-0.4, -0.3 -1.0 à LT
<b>France</b>	-0.6, -0.27	-1.5, -1.0	-0.11, -0.02 -0.46 à LT	-0.36, -0.3 -1.0 à LT
<b>Royaume-Uni</b>	-0.25, -0.1 -0.59 à LT	-0.36, -0.17 -0.77 à LT	-0.16, -0.05 -0.39 à LT	-0.4, -0.2 -1.0 à LT
<b>Italie</b>	-0.27, -0.15 -0.67 à LT	-1.7, -0.7	-0.06, -0.04 -0.28 à LT	-0.15 -0.67 à LT
<b>Canada</b>	-0.3, -0.1	-0.37, -0.23	-0.14, -0.05	-0.03

CT : court terme

LT : long terme

EIJ : L'élasticité de la demande de produit I au prix du produit J.

Tableau 3 : Elasticités prix croisées moyennes

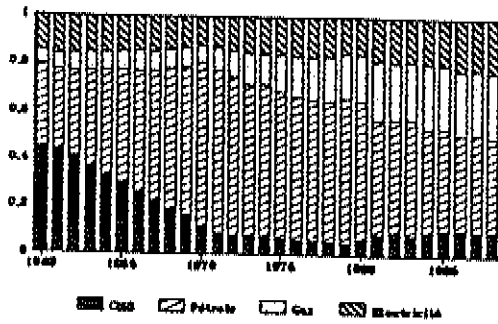
		EPG	EPE	EPC	EGP	EGE	EGC	EEP	EEG	EEC	ECP	ECG	ECE
<b>France</b>	CT	0.15	0.12		0.41	-0.26		0.09	-0.06				
	LT	0.29	0.15		0.79	0.29		0.12	0.09				
<b>Etats-Unis</b>		0.15	-0.08	-0.07	0.17	0.15	0.09	-0.03	0.08	0.09	-0.23	0.26	0.57
<b>Royaume-Uni</b>		0.39	*		0.64	0.35		*	0.12				
<b>RFA</b>	CT	0.05	0.11		0.13	0.17		0.05	0.03				
	LT	0.16	0.39		0.46	0.57		0.16	0.09				
<b>Canada</b>		-0.36	0.28	0.31	-0.59	0.41	0.26	0.12	0.1	-0.05	0.97	0.47	-0.45
<b>Italie</b>	CT	0.03	0.12	0.006	0.06	0.11	-0.007	0.04	0.02	0.007	0.06	-0.03	0.024
	LT	0.11	0.53	0.03	0.25	0.45	-0.03	0.16	0.07	0.03	0.26	-0.11	1.0
<b>Japon</b>		0.07	0.32		0.41	*		0.15	*				

\* : une moyenne n'a pas de sens, le signe n'étant pas constant sur toute la période.

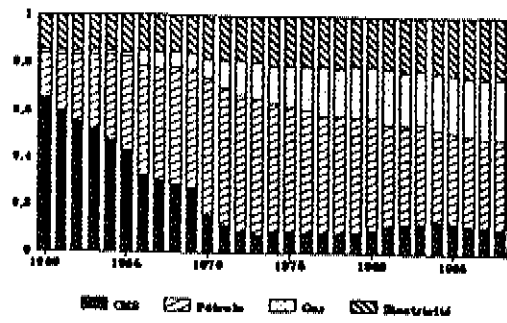


# EVOLUTION DES PARTS DE MARCHÉ DANS L'INDUSTRIE

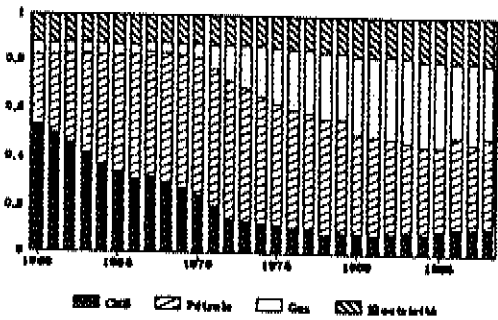
FRANCE



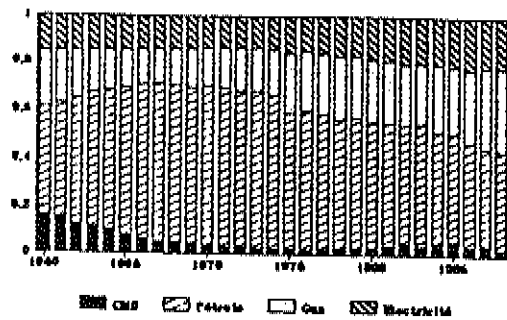
RFA



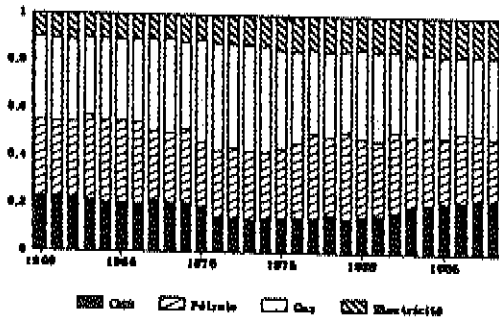
GRANDE-BRETAGNE



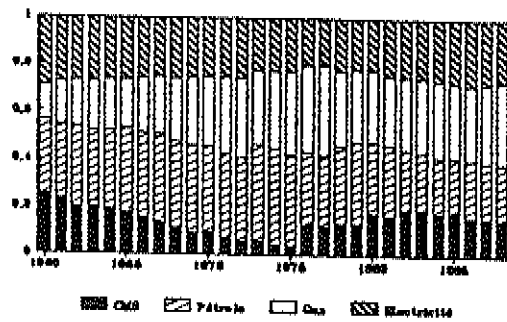
ITALIE



USA



CANADA



JAPON



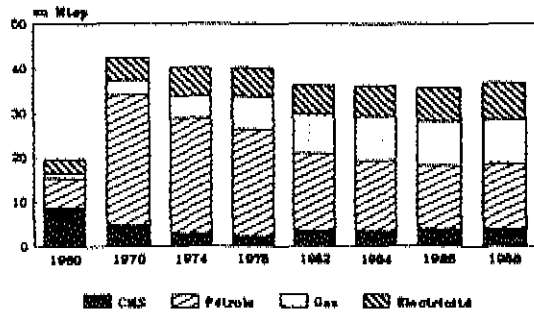
D'après les statistiques de l'OCDE.



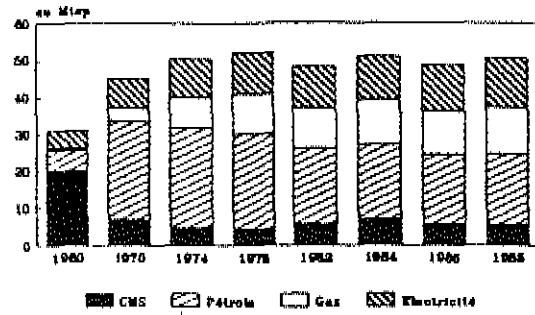


# CONSOMMATIONS D'ENERGIE FINALE DANS L'INDUSTRIE

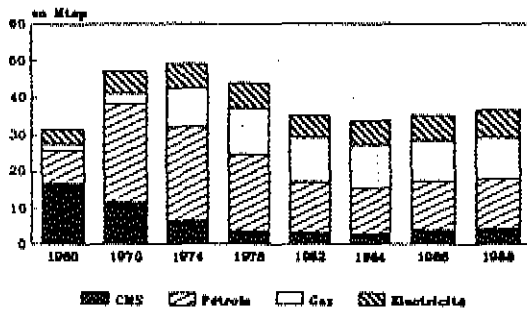
## FRANCE



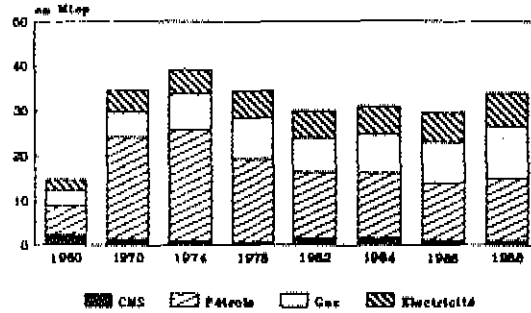
## RFA



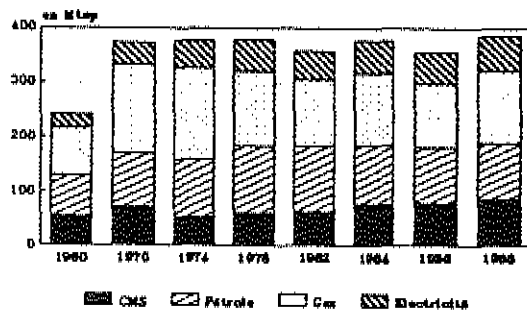
## GRANDE-BRETAGNE



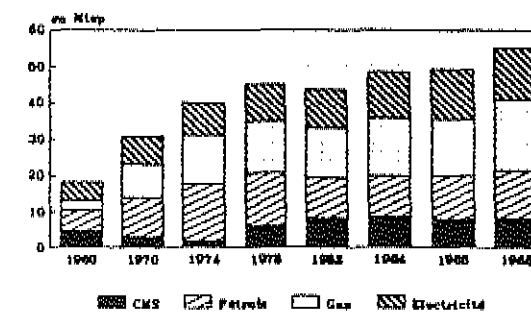
## ITALIE



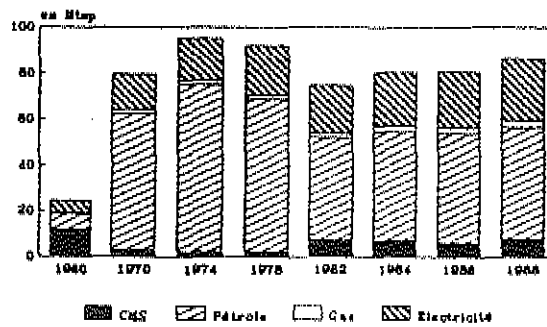
## USA



## CANADA



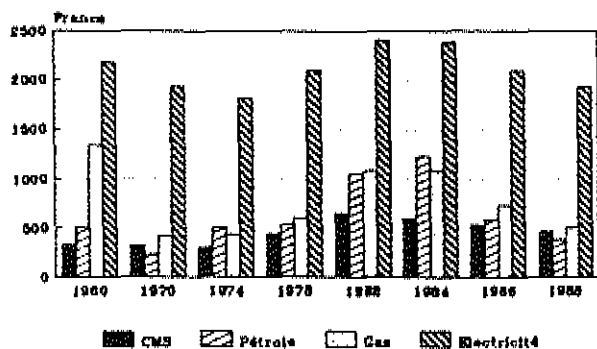
## JAPON



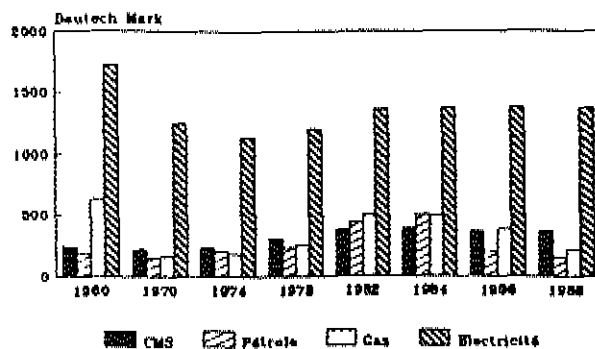


# PRIX REELS DES ENERGIES DANS L'INDUSTRIE

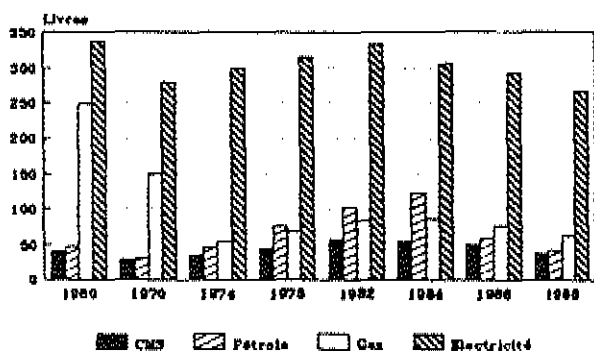
## FRANCE



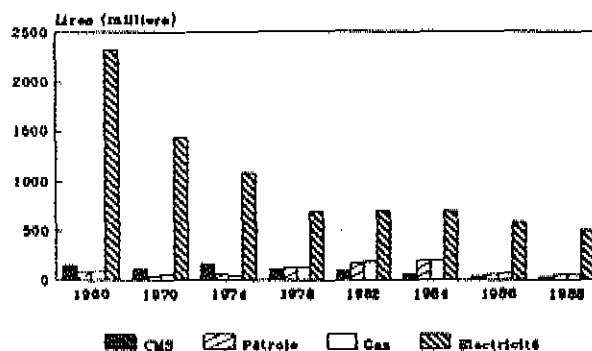
## RFA



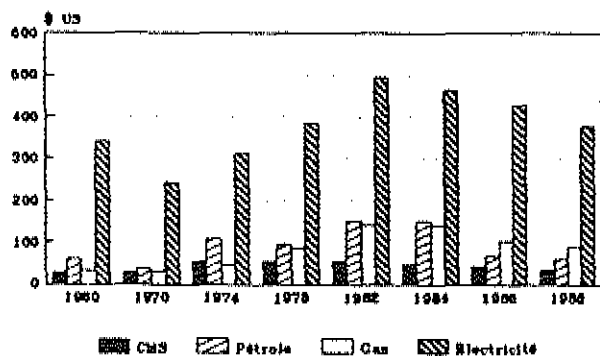
## GRANDE-BRETAGNE



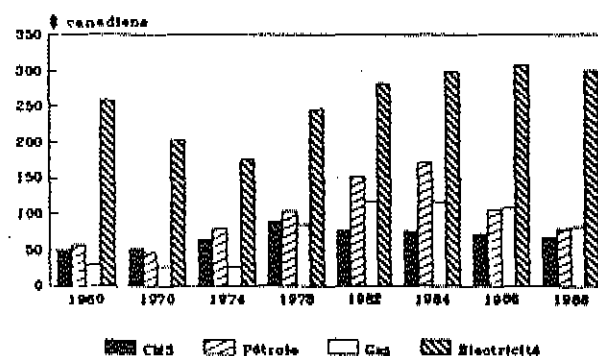
## ITALIE



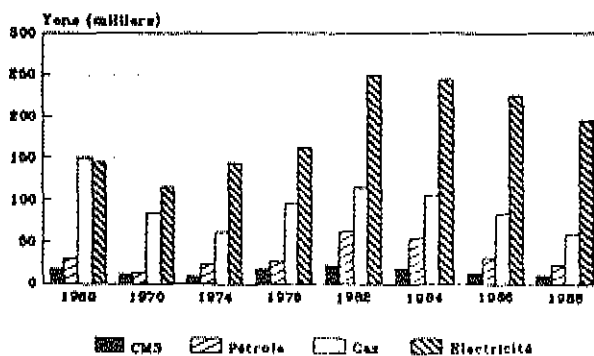
## USA



## CANADA



## JAPON





### Déjà parus

- CEG-1. D. PERRUCHET et J.-P. CUEILLE,  
Compagnies pétrolières internationales : intégration verticale et niveau de risque.  
Novembre 1990.
- CEG-2. C. BARRET et P. CHOLLET,  
Canadian gas exports : modeling a market in disequilibrium.  
Juin 1990.
- CEG-3. J.-P. FAVENNEC et V. PREVOT,  
Raffinage et environnement.  
Janvier 1991.
- CEG-4. D. BABUSIAUX,  
Note sur le choix des investissements en présence de rationnement du capital.  
Janvier 1990.
- CEG-5. J.-L. KARNIK,  
Les résultats financiers des sociétés de raffinage distribution en France 1978-1989.  
Mars 1991.
- CEG-6. I. CADORET et P. RENOUE,  
Elasticités et substitutions énergétiques : difficultés méthodologiques.  
Avril 1991.
- CEG-7. I. CADORET et J.-L. KARNIK,  
Modélisation de la demande de gaz naturel dans le secteur domestique : France,  
Italie, Royaume-Uni 1978-1989.  
Juillet 1991.
- CEG-8. J.-M. BREUIL,  
Emissions de SO<sub>2</sub> dans l'industrie française : une approche technico-économique.  
Septembre 1991.
- CEG-9. A. FAUVEAU, P. CHOLLET, F. LANTZ,  
Changements structurels dans un modèle économétrique de demande de carburant.  
Octobre 1991.



Le Centre Économie et Gestion (CEG), sous la direction de Denis BABUSIAUX, a pour objet d'assurer :

- La formation de jeunes diplômés à la maîtrise des techniques économiques et de gestion. Elle est basée sur trois programmes de formation distincts.
  - Le cycle **Économie et Gestion de l'Entreprise (EGE)**, accessible aux jeunes ingénieurs et aux diplômés scientifiques des universités, débouche, au terme d'une scolarité de 16 mois pour les ingénieurs et l'équivalent de deux années universitaires pour les autres étudiants, sur l'attribution du diplôme d'ingénieur ENSPM.
  - Le cycle **Energy Management and Policy (EMP)**, en collaboration avec l'université de Pennsylvanie à Philadelphie, se déroule en alternance à l'ENSPM et à l'université de Pennsylvanie sur 16 mois et conduit à deux diplômes : le Master of Science de l'université de Pennsylvanie et un diplôme de l'ENSPM (diplôme d'ingénieur ou Mastère Spécialisé).
  - Un **DEA en Économie de l'Énergie** dispensé en collaboration avec l'université de Bourgogne et l'université de Panthéon-Assas. Les candidats à l'admission en DEA doivent être détenteurs d'une maîtrise (sciences économiques, sciences de gestion, économétrie, etc.), d'un diplôme d'ingénieur ou d'une grande école de commerce ou équivalent.  
  
Un **Mastère en Politique et Gestion de l'Énergie** peut être délivré à l'issue d'un cursus s'appuyant sur des cours dispensés dans le cadre de l'un des programmes ci-dessus et un stage ou une micro-thèse de recherche de quatre à six mois.
- Une activité de recherche qui permet notamment à des étudiants de réaliser une thèse de doctorat dans les divers domaines de l'économie de l'énergie. Les doctorants français ou ressortissants de la CEE admis sur des postes de thèses peuvent recevoir une allocation de recherche de la part de l'ENSPM.
- La formation et le perfectionnement des personnels (dirigeants, ingénieurs et cadres, agents de maîtrise, techniciens et employés) des industries du pétrole et de la pétrochimie. Cette formation se déroule sous forme de stages inter ou intra-entreprise, mais peut également s'adapter à des besoins plus spécifiques sous forme de parcours de formation individualisés.



