



Documents de travail du Département des Affaires
économiques de l'OCDE No. 1

Utilisation des élasticités
de la demande
dans l'estimation de la
demande de l'énergie

Axel Mittelstädt

<https://dx.doi.org/10.1787/028781758182>

OCDE
DEPARTEMENT DES
AFFAIRES ECONOMIQUES ET STATISTIQUES
DOCUMENTS DE TRAVAIL

NO. 1: UTILISATION DES ELASTICITES DE LA
DEMANDE DANS L'ESTIMATION DE LA DEMANDE
DE L'ENERGIE

par

Axel Middlestädt
Divisions des Questions
Economiques Générales

Mars 1983



DEPARTEMENT DES AFFAIRES ECONOMIQUES

ET STATISTIQUES

DOCUMENTS DE TRAVAIL

La série "Documents de Travail" a pour but de permettre à un plus grand nombre de lecteurs de disposer de certaines études menées au sein du Département pour les besoins de l'OCDE. Ils sont généralement établis par un group d'auteurs dont les principaux sont mentionnés. Ces documents sont disponibles en anglais et en français.

Tout commentaire sur ces documents sera apprécié et pourra être adressé à l'OCDE, Département des Affaires Economiques et Statistiques, 2, rue André Pascal, 75775 Paris Cedex 16. Des exemplaires supplémentaires peuvent être fournis en nombre limité sur demande.

ORGANISATION DE COOPERATION ET DE DEVELOPPEMENT ECONOMIQUES

UTILISATION DES ELASTICITES DE LA DEMANDE
DANS L'ESTIMATION DE LA DEMANDE
D'ENERGIE

par

Axel Mittelstädt

- I. Problèmes concernant les données de base
- II. Elasticités de substitution entre combustibles
- III. Elasticités de substitution entre facteurs
 - A. Données récentes quant aux agrégats de facteurs
 - B. Résultats sectoriels
- IV. La demande finale d'énergie: résultats empiriques
 - A. Résultats pour l'ensemble de la zone
 - B. Résultats par pays
 - C. Résultats sectoriels
 - D. Elasticités prix variables
 - E. Evolution cyclique de la demande finale d'énergie
- V. Conclusions

UTILISATION DES ELASTICITES DE LA DEMANDE
DANS L'ESTIMATION DE LA DEMANDE D'ENERGIE (a)

Introduction

La question des réactions de la demande de pétrole et d'énergie aux variations du revenu et des prix reste au premier plan des débats consacrés à la politique économique. Comme l'on n'escompte qu'une croissance modérée, à moyen et long terme, de la production d'énergie propre à la zone de l'OCDE (à un rythme annuel d'environ 2 % entre 1980 et 1990), ces deux paramètres sont d'une importance cruciale pour l'appréciation :

- (i) des possibilités de croissance sans inflation ;
- (ii) du coût économique que comporterait une éventuelle interruption de l'approvisionnement pétrolier ;
- (iii) de la rapidité avec laquelle pourra se réduire notre dépendance vis-à-vis des importations de pétrole.

Un nombre croissant de travaux empiriques corroborent la thèse qui voit dans le prix réel de l'énergie un déterminant crucial de la demande d'énergie. A la lumière de l'évolution intervenue depuis 1973 et 1979, on s'accorde en général aujourd'hui pour reconnaître que la demande d'énergie présente une élasticité par rapport au prix, plus grande qu'on ne le pensait antérieurement (b). Toutefois, les travaux empiriques consacrés à la détermination des élasticités-prix aboutissent à des résultats très différents selon la spécification du modèle utilisé, la période d'observation et les données de base. Qui plus est, même si ces estimations ne comportaient pas d'écarts aussi prononcés, il subsisterait une forte marge d'incertitude,

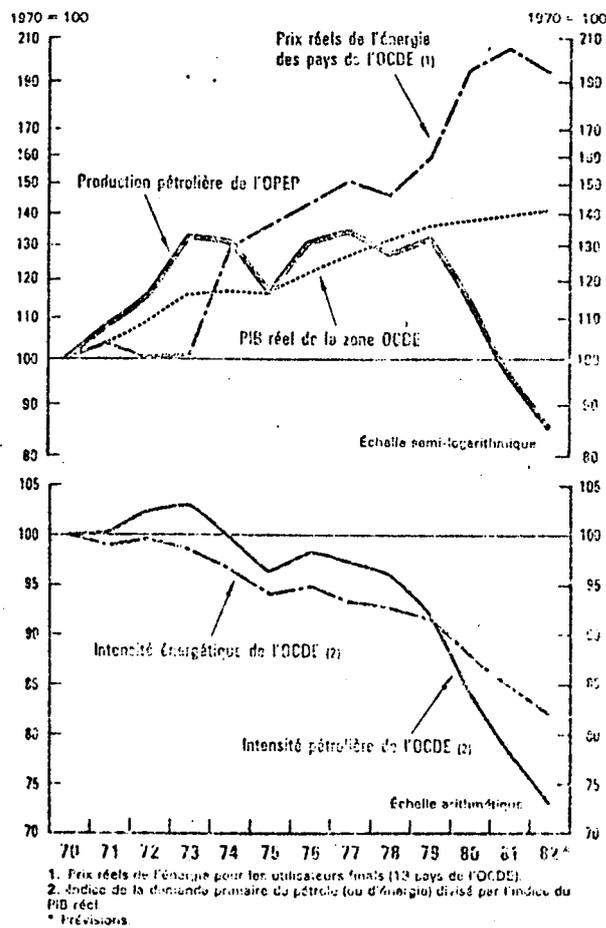
(a) Je suis très reconnaissant à Palle Schelde-Andersen, Hourmouzis Georgiadis et George Kouris pour leurs commentaires, ainsi qu'à Charlotte Vannereau et Philippe Hainault pour l'aide précieuse qu'ils ont apportée à mes recherches. Je désire également remercier J. Gardel, A. Hamilton, L. Louichaoui et P. Tuveri qui ont tapé plusieurs versions de cette étude.

(b) C'est ainsi que la première publication consacrée par l'OCDE aux perspectives énergétiques mondiales ("Perspectives énergétiques jusqu'en 1985", 1974) se référait à une élasticité-prix à long terme ne dépassant pas -0,3. Aujourd'hui on s'accorde généralement pour considérer qu'elle atteint au moins -0,5. La dernière version du "World Energy Outlook" (octobre 1982) utilise un coefficient à long terme de -0,65(45).

les travaux empiriques portant forcément sur un passé qui, jusqu'en 1973, se caractérisait par une baisse faible mais persistante du prix réel de l'énergie pour l'utilisateur final. Après le premier choc pétrolier, on s'attendait en général à voir le prix réel du pétrole et de l'énergie baisser par rapport au niveau élevé qu'il avait atteint en 1974. Cette baisse a fini par se produire, mais il apparaît que ce n'était qu'un phénomène temporaire (1978, Graphique 1).

Graphique 1

LE MARCHE DE L'ENERGIE



Source : Perspectives Economiques de l'OCDE, N° 31, p. 45

Note : Les chiffres figurant entre parenthèses dans le texte renvoient à la bibliographie présentée à la fin de ce rapport.

A la suite du second choc pétrolier, les anticipations de prix se sont formées dans un contexte différent, où l'on prévoyait que les prix réels de l'énergie et du pétrole se maintiendraient à un niveau élevé à moyen et long terme, voire augmenteraient du fait de l'importance des coûts marginaux à long terme de la production nationale d'énergie. On a donc vu s'accélérer l'évolution de la consommation vers une structure à moindre intensité énergétique et celle de la production vers une plus grande efficacité dans ce domaine (Graphique 1), phénomènes qui, conjugués avec une accélération de la substitution entre combustibles et l'aggravation de la récession, ont provoqué une baisse de la demande de pétrole, beaucoup plus forte qu'on ne l'attendait.

L'offre d'énergie dépassant la demande, les prix réels du pétrole et de l'énergie (exprimés en dollars) ont commencé à baisser en 1982. Simultanément, les perspectives de croissance à moyen terme devenaient très incertaines, en partie du fait de la prolongation inattendue de la récession actuelle. Ces deux facteurs ont déstabilisé les anticipations relatives à l'évolution à moyen terme des prix du pétrole et de l'énergie, et exercé un effet négatif sur la demande d'énergie et les investissements consacrés à ce secteur. Dans ces conditions, il semble douteux que l'on puisse utiliser aux fins de la prévision et de l'établissement de scénarios des élasticités de prix déterminées empiriquement, sans tenir compte des conditions particulières qui influencent la demande de pétrole et d'énergie dans un nouveau contexte.

On sait que même de faibles différences portant sur l'élasticité-prix ont une forte incidence sur les projections à court ou moyen terme de la demande d'énergie (compte tenu d'un niveau quelconque du prix réel de l'énergie). En outre, l'erreur commise quant à la réaction aux variations de prix comporte des coûts asymétriques. Fonder des décisions de politique économique sur une surestimation de l'élasticité-prix pourrait, toutes choses égales d'ailleurs, nuire à l'efficacité de la politique énergétique et perpétuer la vulnérabilité des pays consommateurs de pétrole à de nouveaux chocs pétroliers.

La comparaison des élasticités de la demande d'énergie est souvent rendue plus difficile par l'utilisation de données de base différentes. On consacrera donc la Section I de ce rapport aux problèmes de mesure que posent les prix et la demande d'énergie. Dans les Sections II et III, on examinera les problèmes méthodologiques ayant trait à la substitution entre combustibles et entre facteurs, une annexe étant consacrée à la modélisation. La Section IV présente des résultats empiriques au sujet des élasticités de demande d'énergie ; ces données couvrent des secteurs et des pays divers, mais comportent également quelques estimations portant sur l'ensemble de la zone de l'OCDE. Cette section traite également des variations cycliques de la demande d'énergie finale de l'industrie en réponse aux variations de la production.

I. Problèmes concernant les données de base

Les données qui portent sur les prix de l'énergie, étant susceptibles d'erreurs de mesure, sont très approximatives. Les coefficients attribués aux prix par les estimations risquent d'être affectés aussi bien par le type de données utilisé que par les méthodes d'agrégation, de sorte qu'il n'est pas possible de comparer des élasticités-prix calculées empiriquement sans harmonisation préalable des données relatives aux prix. Pour l'analyse de la demande d'énergie finale, on dispose de deux ensembles de prix de l'énergie :

- (i) la composante énergétique des indices nationaux de prix à la consommation, de prix de gros et de prix à la production ;
- (ii) le prix absolu de chaque type de combustible.

La composante énergétique des indices de prix nationaux diffère d'un pays à l'autre par le champ couvert et l'année de base, ce qui rend difficile la comparaison sur le plan international des coefficients afférents aux prix. En outre, les indices de prix habituels, établis à partir d'une pondération fixe antérieure à 1974, tendent à sous-estimer la hausse de l'indice de prix global lorsque se produisent des augmentations importantes et répétées de la composante énergétique (a). Avec le temps, ce phénomène (au travers de l'interaction entre prix, salaires et prix) modifie le dénominateur (c'est-à-dire la composante non énergétique) servant au calcul du prix réel ou relatif de l'énergie pour les utilisateurs finals. De ce fait, le dénominateur augmente moins sur la base d'une pondération fixe que sur la base d'une pondération mobile, ce qui exagère la hausse du prix réel de l'énergie pour les utilisateurs finals. D'un autre côté, une pondération antérieure à 1974 tend à sous-estimer la hausse de la composante énergétique elle-même (qui résulte de l'augmentation du prix à l'importation du pétrole) ; comme ce dernier facteur est plus important que le premier, le prix réel de l'énergie augmente davantage sur la base d'une pondération fixe.

Enfin, lorsque l'on estime une élasticité-prix globale au niveau d'un pays à partir d'un indice composite des prix de l'énergie, il faut décider quelle pondération on attribue respectivement aux composantes énergétiques des prix à la consommation et des prix de gros. Dans ses analyse (cf. Section IV), l'OCDE a pondéré les prix réels de l'énergie à usage industriel par la part des utilisations industrielles

(a) Ceci dans l'hypothèse où l'élasticité-prix de la demande d'énergie est inférieure à un.

dans le total de la demande finale d'énergie (1). Cependant, il se peut que ce poids soit trop faible, dans la mesure où certains utilisateurs d'énergie faisant partie du secteur résidentiel-commercial ou de celui des transports paient peut-être l'énergie au prix de gros. On a constaté que lorsque l'on augmentait le poids attribué à la composante énergétique de l'indice des prix de gros, l'estimation de l'élasticité-prix globale diminuait.

De même, l'élaboration d'indices de prix sectoriels à partir de données portant sur le prix absolu de chaque combustible ne tient pas compte du fait que les combustibles ne sont pas parfaitement substituables sur la base de leur équivalence thermique, certains d'entre eux, tels que l'électricité, étant achetés en raison d'autres qualités. Un autre problème est que, dans le cadre d'une structure tarifaire normale, établissant une relation inverse entre le prix et la quantité consommée, un niveau de consommation plus élevé (lié en partie à une reprise cyclique) se trouve automatiquement associé à des prix moyens plus bas. C'est ainsi que l'électricité a augmenté sa part de la demande d'énergie finale, phénomène qui correspondait à une prospérité croissante et qui a entraîné une baisse du prix réel de l'électricité. Une analyse fondée sur une équation unique risque d'en tirer la conclusion fautive que c'est la baisse des prix qui a provoqué l'augmentation de la consommation (2).

Pour tourner la difficulté, certains auteurs proposent de construire pour un secteur donné un indice global endogène des prix de l'énergie. A cette fin, on estime une équation de répartition des coûts énergétiques par forme d'énergie, à l'aide de fonctions de coût translog qui admettent un comportement tendant à minimiser les coûts et respectent les contraintes techniques pesant sur la substitution entre combustibles. On établit ainsi un indice global endogène des prix de l'énergie pour un secteur donné, indice qui représente une meilleure approximation des prix représentatifs de l'énergie que les composantes énergétiques des prix à la consommation ou des prix de gros. Cette méthode permet également d'appréhender l'influence exercée sur l'élasticité-prix globale par la répartition des variations des prix de l'énergie (a).

Cependant, une récente étude de l'élasticité globale de la demande d'énergie (3) considère comme non rentable l'estimation d'une fonction de coût portant sur l'énergie dans son ensemble. Elle adopte au contraire une approche plus directe, consistant à utiliser les indices pour calculer directement des prix globaux à partir de leurs composantes. Les

(a) L'élasticité de substitution étant différente d'un combustible à l'autre, une hausse du prix global de l'énergie peut entraîner une augmentation ou une réduction de la quantité totale demandée, selon la composition de la variation des prix de l'énergie (3).

auteurs établissent des indices de prix en pondérant les prix de l'énergie consommée par les quantités physiques en cause. Ils envisagent cinq types d'indices de prix globaux : Laspeyres, Paasche, Idéal, Tornquist (4) et un indice pondéré par les BTU. Sauf en ce qui concerne ce dernier, ils considèrent que tous ces indices admettent un comportement d'optimisation, et représentent une approximation des coûts et des prix moyens qui résulteraient d'une fonction de coût (5). Dans le cas où les variations de prix et de quantité sont faibles, les auteurs considèrent les quatre indices comme pratiquement identiques, et donc comme conduisant à des estimations analogues de l'élasticité-prix globale. Toutefois, pour la période postérieure à 1973, l'indice de Tornquist pourrait être le plus adéquat, car il saisit l'effet de modifications importantes des prix relatifs des combustibles, et réduit de ce fait les biais causés par l'agrégation (a).

Les données concernant la demande donnent également lieu à certains problèmes. On a, dans certains cas, exprimé la demande d'énergie finale (b) sous forme d'énergie "utile", compte tenu des différences d'efficacité thermique (6) (7). Les vérifications empiriques effectuées par l'OCDE donnent à penser qu'une correction pour tenir compte de l'efficacité thermique conduit à attribuer des coefficients plus élevés au prix et, dans certains cas, au revenu, que lorsque l'on utilise les données relatives à la consommation d'énergie résultant des bilans énergétiques de l'OCDE. On pouvait s'y attendre au cours de la période où le prix réel de l'énergie baissait (1960-72), la mesure de l'augmentation de la demande finale d'énergie étant plus forte lorsque l'on introduit la correction pour efficacité thermique (ce qui correspond à l'augmentation plus que proportionnelle de la demande d'électricité et de pétrole). Toutefois, les élasticités ainsi obtenues risquent d'être faussées, et ceci pour deux raisons au moins (2) : tout d'abord, la correction pour efficacité thermique dépend de l'hypothèse implicite que les prix des divers combustibles ne correspondent pas à ces différences d'efficacité, hypothèse qui risque d'être erronée ; en second lieu, la modification du paramètre qui résulte de cette correction dépend des facteurs de conversion que l'on utilise pour transformer la demande d'énergie finale en énergie "utile", facteurs sur lesquels il n'existe pas d'accord au plan national, pays par pays et secteur par secteur (8).

-
- (a) L'indice de Tornquist est exact pour tous les prix possibles dans l'hypothèse particulière où la fonction de coût unitaire est quadratique vis-à-vis des logarithmes des prix de l'énergie ("fonction logarithmique transcendantale").
- (b) La plupart des auteurs admettent qu'il convient de mesurer la demande globale d'énergie le plus près possible de la consommation finale.

II. Elasticités de substitution entre combustibles

Les élasticités de substitution entre combustibles fournissent de précieuses informations sur les possibilités de remplacement du pétrole par d'autres sources d'énergie. En outre, ces modèles dynamiques donnent des indications sur la rapidité de déroulement de ce processus. De manière plus générale, lors de calculs visant l'établissement de projections de la demande totale d'énergie à divers niveaux des prix énergétiques, une estimation de la substitution entre combustibles permet de vérifier dans quelle mesure la réduction de la demande totale d'énergie projetée pour une période donnée correspond aux possibilités techniques.

Cependant, on admet généralement qu'il convient d'appuyer les estimations économétriques par une approche tenant compte des aspects techniques et économiques des équipements qui utilisent l'énergie. En outre, comme on l'indiquait plus haut, il apparaît souvent que les données concernant la demande et le prix des divers combustibles sont de qualité déficiente, ce qui explique en partie les grands écarts qui séparent les résultats des recherches empiriques. Enfin, dans le cas de certains pays, l'existence d'une réglementation ainsi que d'un contrôle des prix introduit un biais inévitable dans les paramètres économétriques. Néanmoins, même dans ce cas, il est utile de calculer l'élasticité de substitution entre combustibles de manière à fixer des bornes inférieures ou supérieures aux possibilités de substitution selon le type de contrainte en vigueur.

Pour estimer l'élasticité de substitution entre combustibles, on a eu recours à diverses méthodes : modèle logit conditionnel du secteur résidentiel (Baughman et Jaskow (9)), modèle statique translog des coûts du secteur industriel et du secteur résidentiel, utilisant des formulations homothétiques ou non homothétiques (a) (Fuss et Waverman (10), Pindyck (11) et Hall (12)), modèle dynamique de la répartition en valeur (comportant une fonction restreinte d'agrégation des prix, sans normalisation, ainsi que des fonctions restreintes à court terme des composantes énergétiques) (Denny, Fuss et Waverman (13)). Toutes ces études concluent à l'importance de la substitution entre combustibles, encore que les estimations empiriques diffèrent habituellement encore plus que celles qui portent sur la demande sectorielle d'énergie (cf. Section III). Cette observation vaut aussi bien pour les différences d'un pays à l'autre que pour celles qui résultent de l'application à un même pays de formulations différentes. Il existe toutefois des points communs :

(a) Dans la formulation homothétique, on considère la répartition de la dépense entre les combustibles comme indépendante de la dépense totale d'énergie.

- (i) lorsqu'on mesure au même stade d'utilisation de l'énergie la demande de pétrole et celle d'énergie, on constate que l'élasticité-prix directe est au moins deux fois plus élevée pour les produits pétroliers que pour la demande finale d'énergie, la première étant souvent supérieure à un (Tableaux 1 et 2).
- (ii) selon le pays et le secteur en cause, c'est le charbon ou le gaz naturel qui apparaît comme le principal concurrent du pétrole ;
- (iii) c'est l'électricité qui présente en général l'élasticité-prix directe la plus faible, nettement inférieure à un, du fait de ses usages particuliers et en dépit du biais évoqué plus haut ;
- (iv) selon les estimations portant sur l'Amérique du Nord, l'élasticité directe par rapport au prix est plus élevée pour le charbon à usage industriel que pour le pétrole, celle-ci, de son côté, étant plus élevée que pour le gaz naturel ; on obtient des résultats analogues pour l'Europe (industrie) et pour le Japon (secteur résidentiel et commercial) ;
- (v) les modèles de la demande réelle à équation unique font apparaître des différences considérables entre les élasticités-prix directes à court et à long terme des divers combustibles (Hall (12)). Toutefois, ces différences s'estompent lorsque l'on applique des méthodes d'optimisation dynamique (Denny, Fuss et Waverman (32)) ;
- (vi) contrairement au cas des modèles de substitution entre combustibles, les modèles homothétiques de répartition en valeur sont préférables aux modèles non homothétiques (Pindyck (11), Hall (12)).

A partir de données couvrant les années 1960-79 et de diverses formulations (modèles statiques de répartition en valeur, homothétiques et non homothétiques, et modèles de la demande réelle à équation unique [modèles SERD] portant sur chacun des sept grands pays de l'OCDE), Hall (12) obtient un certain nombre de résultats partiels, mais importants, relatifs à divers combustibles et divers pays :

- (i) les résultats les plus satisfaisants sont ceux qui portent sur le charbon, suivi par les produits pétroliers, le gaz naturel et l'électricité ;
- (ii) la méthode de la répartition en valeur donne pour le charbon des résultats empiriques qui font apparaître des élasticités directes et croisées importantes et significatives dans le cas du Japon, de l'Allemagne, de la France, du

Royaume-Uni et du Canada. La méthode SERD permet d'obtenir des résultats satisfaisants pour les Etats-Unis et l'Allemagne (secteur résidentiel) ;

- (iii) la formulation portant sur la répartition en valeur fait apparaître une forte élasticité-prix directe de la demande de produits pétroliers dans le cas des deux secteurs d'utilisation finale (Japon) de l'industrie (Allemagne et France) et du secteur résidentiel et commercial (Canada) ;
- (iv) les seuls résultats intéressants concernant le gaz naturel sont relatifs au Japon, où la demande est élastique dans les deux secteurs d'utilisation finale vis-à-vis du prix des produits pétroliers (modèle de répartition en valeur) ;
- (v) comme on pouvait s'y attendre et comme on l'indiquait plus haut, les calculs donnent une faible valeur à l'élasticité-prix directe de la demande d'électricité ;
- (vi) en ce qui concerne les problèmes de formulation et de données de base, les séries chronologiques donnent de bien meilleurs résultats que les calculs qui combinent des données transversales. Il en va différemment des recherches portant sur l'élasticité de la demande d'énergie (Mittelstädt et Hall (15)) et sur l'élasticité de substitution des facteurs (Gregory et Griffin (17) et Pindyck (11)) (cf. Sections III et IV).

Les relations entre combustibles résultant de ces recherches empiriques se confirment dans l'ensemble au niveau des sous-secteurs (Tableau 3). Dans bien des sous-secteurs de l'industrie, on constate que le charbon et le gaz naturel sont susceptibles de remplacer le pétrole, que le gaz naturel et le charbon sont substituables alors que le pétrole et l'élasticité (sauf en Italie). Les relations entre combustibles se présentent en gros de la même manière dans les divers sous-secteurs de l'industrie, et ne semblent pas sensibles au degré d'intensité énergétique de la production (Denny, Fuss et Waverman (13), Ceriani (18)).

Si ces résultats sont intéressants, ils semblent très sensibles à la formulation et/ou la période retenue, ce qui ne permet guère d'en tirer des conclusions fermes aux fins de la politique à suivre. En outre, comme on l'a observé plus haut, l'existence de diverses mesures de réglementation ou de restriction oblige dans ce domaine à interpréter avec une particulière prudence les estimations fondées sur l'hypothèse d'un comportement rationnel ou optimal.

Tableau 1
Elasticités-prix et élasticités de substitution entre combustibles

	Charbon	Gaz de pétrole liquide	Gazole	Gaz naturel	Electricité	Essence
<u>CANADA</u>						
Fuss (industrie manufacturière) (14)						
Charbon	<u>-1,41</u>	0,34	0,30	0,71	0,09	-0,10
Gaz de pétrole liquide	0,02	<u>-2,34</u>	0,00	0,02	0,00	-0,13
Gazole	0,32	0,04	<u>-1,22</u>	0,17	0,27	-0,12
Gaz naturel	0,85	0,54	0,20	<u>-1,21</u>	0,02	0,69
Electricité	0,27	0,07	0,77	0,04	<u>-0,52</u>	0,96
Essence	0,05	1,39	-0,05	0,26	0,15	<u>-1,56</u>
Pindyck (industrie) (1959-73) (11)						
Combustibles solides	<u>-1,89</u>		0,69	1,08	-0,75	
Combustibles liquides	0,31		<u>1,03</u>	-0,29	0,14	
Gaz naturel	1,25		-0,75	-0,41	-0,96	
Electricité	-0,15		0,06	-0,17	-0,61	
Sahi et Erdmann (industrie) (1974) (15)						
Pétrole			<u>-1,48</u>	0,57	0,09	
Gaz naturel			<u>1,06</u>	<u>-1,01</u>	0,28	
Electricité			-0,06	-0,04	<u>-0,80</u>	
<u>ETATS-UNIS</u>						
Pindyck (industrie) (1959-74) (11)						
Combustibles solides	<u>-2,24</u>		0,92	1,50	-1,03	
Combustibles liquides	0,90		<u>-1,17</u>	-0,88	0,30	
Gaz naturel	0,65		-0,38	<u>-0,67</u>	-0,43	
Electricité	-0,13		0,04	-0,13	<u>-0,63</u>	
<u>CANADA</u>						
Pindyck (industrie manufacturière) (1973) (11)						
Combustibles liquides			<u>-1,19</u>	0,31	-0,31	
Gaz naturel			0,80	<u>-1,95</u>	-1,03	
Electricité			-0,25	-0,33	<u>-0,39</u>	
Sahi et Erdmann (secteur résidentiel) (1974) (15)						
Pétrole			<u>-1,57</u>	1,17	0,56	
Gaz naturel			0,85	<u>-1,51</u>	0,10	
Electricité			0,33	+0,60	<u>-0,97</u>	
Sahi et Erdmann (secteur commercial) (1974) (15)						
Pétrole			<u>-1,96</u>	0,79	0,19	
Gaz naturel			1,46	<u>-1,17</u>	0,24	
Electricité			0,12	-0,01	<u>-0,80</u>	

Tableau 2

Elasticité-prix directe de la demande de produits pétroliers de pétrole brut et d'énergie finale (a)

(Données chronologiques)

	Secteur résidentiel et commercial				Secteur industriel				
	Estimations obtenues à partir de recherches sur la substitution entre combustibles		Estimations de la demande finale d'énergie (d)		Estimations obtenues à partir de recherches sur la substitution entre combustibles		Estimations de la demande finale d'énergie (d)		
	Modèle homothétique de la répartition en valeur (b)	Modèle de la demande réelle à équation unique (c)	Court terme	Long terme	Modèle homothétique de la répartition en valeur (b)	Modèle de la demande réelle à équation unique (c)	Court terme	Long terme	
Etats-Unis			-0,42 à -0,63	-0,06	-0,26			-0,13	-0,51
Japon	-1,1 [1960-72: -1,4]			-0,02		[1960]72: -1,9]	-0,49 à -0,53	-0,09	-0,37
Allemagne			-0,17	-0,07	-0,27	-1,1	-0,25 à -0,28	-0,17	-0,67
France			-0,52	-0,11	-0,46	[1960-72: -1,6]	-0,45	-0,13	-0,53
Royaume-Uni			-0,39 à -0,41						
Italie			-0,22 à -0,28	-0,12	-0,50	[1960]72: -0,9]	-0,18 à -0,31	-0,13	-0,53
Canada	-1,3		-0,30	-0,12	-0,49		-0,36	-0,18	-0,73

(a) Vivian Hall, (12).

(b) Période d'observation 1960-79 (sauf dans certains cas pour le Japon, la France, l'Italie, le Canada, où il s'agit de 1960-72). Les calculs n'ont été effectués que lorsque la régression faisait apparaître un coefficient présentant un signe correct et un coefficient "t" égal ou supérieur à 1,6, à partir d'un modèle statique homothétique. La forme statique impliquant que tous les ajustements ont lieu au cours de l'horizon temporel d'un an qui correspond aux observations, il est probable que les valeurs sont surestimées.

(c) On n'a en général présenté d'estimations que lorsque la régression faisait apparaître un coefficient statistiquement significatif et relativement stable pour diverses formulations de l'équation (ce qui donne lieu dans certains cas à une fourchette d'estimations). Les estimations résultant d'équations statiques figurent en milieu de colonne, n'étant ni à court ni à long terme. Période d'observation 1960-79.

(d) Mittelstädt et Hall (1981) (16). Période d'observation 1960-78 ; Equation log-linéaire avec retard distribué sur sept ans par la méthode Almon. On a présenté d'estimations lorsque le coefficient "t" était égal ou supérieur à 2.

Tableau 3
Relations entre les combustibles au niveau des
sous-secteurs de l'industrie

	Allemagne	Royaume- Uni	Italie	Canada (a)
1. Industrie alimentaire, boissons, tabacs				
2. Sidérurgie				
3. Métallurgie de base				
4. Construction mécanique				
5. Transformation des métaux				
6. Machines				
7. Matériel de transport				
8. Minéraux non métalliques				
9. Produits chimiques				
10. Textiles				
11. Briques				
12. Papier				

Sources : Denny, Fuss, Wavermann (13), Ceriani (18).

(a) A l'exclusion du tabac

— indique des combustibles substituables
... indique des combustibles complémentaires

E = électricité
O = pétrole
G = gaz naturel
C = charbon

III. Elasticités de substitution entre facteurs

A. Données récentes quant aux agrégats de facteurs

L'élasticité-prix directe de la demande d'énergie finale de l'industrie constitue une mesure grossière de la possibilité de remplacement de l'énergie par d'autres facteurs de production. Nordhaus (19), Pindyck (11), Gregory et Griffin (17) constatent que cette élasticité se situe entre -0,7 et -0,8 pour un groupe comprenant respectivement 7, 10 et 9 pays de l'OCDE. Mittelstädt et Hall (16) qui combinent eux aussi des données transversales et chronologiques portant sur 13 pays de l'OCDE au cours de la période 1973-78, aboutissent à une élasticité à court terme de -0,2 et une élasticité à long terme de -0,6. Si ces résultats correspondent à la réalité, on peut penser qu'il existe de larges possibilités de remplacement de l'énergie par d'autres facteurs de production. D'un autre côté, ils ne nous apprennent rien quant aux interactions qui se produisent dans l'utilisation des divers facteurs de production à la suite d'une forte hausse du prix relatif de l'énergie.

C'est ainsi qu'il peut exister de grandes possibilités de substitution de la main-d'oeuvre et des matières premières à l'énergie, tandis que l'énergie et le capital sont complémentaires. Dans ce cas, une hausse du prix de l'énergie augmente la demande de main-d'oeuvre et de matières premières, mais réduit celle d'énergie et de capital. Dans d'autres conditions, il se peut que de faibles possibilités de substitution existent entre le capital, la main-d'oeuvre et les matières premières, d'une part, et l'énergie d'autre part. Dans ce cas, la cherté de l'énergie augmente la demande des trois autres facteurs et réduit la demande d'énergie. C'est ainsi que des recherches empiriques récentes font apparaître qu'une élasticité-prix directe du facteur énergie se situant entre -0,4 et -0,5 est compatible aussi bien avec le caractère complémentaire de l'énergie et du capital qu'avec leur caractère substituable (Berndt et Wood) (20) (21), Hogan et Manne (22). On peut douter, toutefois, qu'une configuration différente des élasticités de substitution entre facteurs accompagnant une seule et même élasticité-prix directe de la demande d'énergie implique l'existence d'incidences différentes sur le potentiel de production lors d'une hausse du prix de l'énergie.

Le Tableau 3, qui compare l'élasticité-prix directe des divers facteurs de production dans divers pays, suggère les conclusions ci-après :

- (i) l'élasticité-prix des facteurs de production est inférieure à un, quoique dans une mesure très différente selon les facteurs et la formulation des modèles ;
- (ii) à partir d'une combinaison de données transversales et d'une fonction de coût translog à trois facteurs (KLE) on aboutit en général à des résultats

Tableau 4
Elasticité-prix directe des facteurs de production

	Capital	Main- d'oeuvre	Energie Court terme	Long terme	Matières premières
<u>Etats-Unis</u>					
1. OCDE (23) (entreprises privées non agricoles)				-0,28	
2. Griffin et Gregory (21) (industrie manufacturière) (a)	-0,65	-0,35		-0,80	
3. Berndt et Wood (21) (industrie manufacturière) (a)	-0,61	-0,31		-0,41	
4. Griffin et Gregory (17) (industrie manufacturière) (b)	-0,18	-0,12		-0,79	
5. Berndt, Morrison, Watkins (24) (industrie manufacturière)			-0,24	-0,44	
6. Berndt, Fuss, Waverman (25) (industrie manufacturière)	-0,13	-0,09	-0,043	-0,047	-0,10
7. Pindyck (11) (industrie)	-0,44	-0,41		-0,75	
8. Berndt et Wood (20) (industrie manufacturière)	-0,48	-0,46		-0,47	-0,22
9. Berndt et Wood (21) (b)	-0,41	-0,17		-0,30	
<u>Japon</u>					
1. OCDE (23) (entreprises privées non agricoles)				-0,48	
2. Katsamura (26) (industrie)	-0,46	-0,40		-0,37	
3. Pindyck (11) (industrie manufacturière)	-0,37	-0,51		-0,84	
<u>Allemagne</u>					
1. OCDE (23) (entreprises privées non agricoles)				-0,64	
2. Griffin et Gregory (17) (industrie manufacturière) (b)	-0,36	-0,27		-0,80	
3. Pindyck (11) (industrie)	-0,33	-0,52		-0,82	
<u>France</u>					
1. OCDE (23) (entreprises privées non agricoles)				-0,49	
2. Griffin et Gregory (17) (industrie manufacturière) (b)	-0,19	-0,37		-0,80	
3. Pindyck (11) (industrie)	-0,43	-0,43		-0,82	
4. INSEE (27)			-0,22	-0,50	
<u>Royaume-Uni</u>					
1. Griffin et Gregory (17) (industrie manufacturière) (b)	-0,37	-0,20		-0,80	
2. Pindyck (11) (industrie)	-0,56	-0,26		-0,84	
<u>Canada</u>					
1. Pindyck (11) (industrie)	-0,45	-0,42		-0,82	
2. Rao (28) (industrie manufacturière)	-1,39	-0,68		-0,41	-0,26
3. M.A. Fuss (14) (industrie manufacturière)	-0,76	-0,49		-0,49	-0,36
4. Sani et Erdmann (15) (industrie)				-0,48	
5. T.A. Cameron (29) (industrie manufacturière)				-0,50	
6. McRae (30) (industrie manufacturière de l'Ontario)	-1,06	-0,20		-0,64	-0,23
7. Denny, May et Pinto (31) (chiffres de 1970)	-0,31	-0,77		-0,59	-0,05
<u>Italie</u>					
1. Griffin et Gregory (17) (industrie manufacturière) (b)	-0,38	-0,26		-0,79	
2. Pindyck (11)	-0,47	-0,41		-0,84	

(a) Estimations révisées.

(b) Estimations initiales.

Note : Les coefficients afférents aux prix ne sont pas toujours comparables, l'élasticité-prix étant mesurée à l'aide de définitions différentes.

Tableau 5

Etats-Unis : élasticités de substitution et élasticités-prix croisées

	$\sigma_{L,E}$	$\sigma_{L,KE}$	$\sigma_{K,E}$	$\sigma_{L,K}$	$\sigma_{E,M}$	$\sigma_{K,M}$	σ_{LM}	KL	KE	LK	LE	EK	EL	KM	EM
1. OCDE (23) (entreprises privées non agricoles, fonctions à trois facteurs, 1960-79) (i) fonction d'investissement dans un cadre CES-CES (ii) fonction de coût translog (version putty-putty) (iii) fonction de coût translog (version putty-clay)	1,36	1	0,10-0,14	0,63-1,08											
2. Griffin et Gregory (21) (industrie manufacturière, fonction à trois facteurs, 1965) (a)								0,51	0,14	0,29	0,06	0,44	0,36		
3. Berndt et Wood (21) (industrie manufacturière, fonction à trois facteurs, 1965) (a)								0,56	0,05	0,27	0,04	0,16	0,25		
4. Berndt et Wood (21) (industrie manufacturière, fonction à trois facteurs, 1965) (b)								0,52	-0,11	0,10	0,07	-0,15	0,45		
5. Griffin et Gregory (17) (industrie manufacturière, fonction à quatre facteurs, 1965) (b)	0,87		1,07	0,06				0,05	0,13	0,01	0,11	0,15	0,64		
6. Berndt et Wood (20) (industrie manufacturière, fonction à quatre facteurs, 1965) (b)	0,64		-3,22	1,01	0,74	0,56	0,60								
7. Berndt, Morrison, Watkins (24) (industrie manufacturière, fonction à quatre facteurs, 1961, élasticités, 1952-1971)	-1,15(c) +1,03(d)	-0,10			0,66										
8. Berndt, Fuss, Waverman (25) (industrie manufacturière, 1961, élasticités 1947-74, modèle restreint)								-0,21	-0,02	-0,05	-0,002-0,03	-0,01	0,36	0,09	
9. Ozatalay et al. (32) (industrie manufacturière, fonction à quatre facteurs, 1963-74)	1,03		1,22	1,08	0,58	0,85									
10. Pindyck (11) (industrie, fonction à trois facteurs, 1960-74)	0,93		0,61	0,82				0,42	0,02	0,38	0,03	0,28	0,47		
11. Hudson-Jorgenson (33) (fonction à quatre facteurs, 1947-71)	2,16		-1,37	1,09	-0,77	0,25									

(a) Estimations révisées.

(b) Estimations initiales.

(c) Main-d'oeuvre qualifiée.

(d) Main-d'oeuvre non qualifiée.

Tableau 5 (suite)

Elasticités de substitution

	$\hat{\sigma}_{LK}$	$\hat{\sigma}_{KL}$	$\hat{\sigma}_{KM}$	$\hat{\sigma}_{KE}$	$\hat{\sigma}_{LM}$	$\hat{\sigma}_{LE}$	$\hat{\sigma}_{ME}$
<u>Japon</u>							
1. Ozatalay et al. (32) (industrie manufacturière)		1,14 0,81 0,93	0,88	1,18 0,86 -0,29	1,00	1,05 0,96 0,81	0,65
2. Pindyck (11) (industrie)							
3. Katsumura (26) (industrie)							
4. OCDE (23) (entreprises privées non agricoles)	0,27-0,58			0,40-0,63			
<u>Allemagne</u>							
1. Ozatalay et al. (32) (industrie manufacturière)		1,06 0,81	0,88	1,15 0,82	1,00	1,04 1,94	0,42
2. Pindyck (11) (industrie)							
3. Griffin et Gregory (industrie manufacturière) (a)		0,50		1,03		0,79	
4. OCDE (23) (entreprises privées non agricoles)		0,65-0,86		0,45-0,78			
<u>France</u>							
1. Pindyck (11) (industrie)		0,82		0,76		0,95	
2. Griffin et Gregory (17) (industrie manufacturière) (a)		0,41		1,09		0,82	
3. OCDE (23) (entreprises privées non agricoles)	0,80-1,00			0,26-0,37			
<u>Royaume-Uni</u>							
1. Pindyck (11) (industrie)		0,77		0,66		0,97	
2. Griffin et Gregory (17) (industrie manufacturière) (a)		0,39		1,04		0,84	
3. OCDE (23) (entreprises privées non agricoles)	0,03-0,31			0,35-0,44			
<u>Italie</u>							
1. Pindyck (11) (industrie)		0,81		0,82		0,97	
2. Griffin et Gregory (17) (industrie manufacturière) (a)		0,43		1,03		0,85	
<u>Canada</u>							
1. Pindyck (11) (industrie)		0,82		0,76		0,96	
2. Rao (28) (industrie manufacturière, chiffres de 1975)		2,81	1,08	3,42	0,70	-2,61	0,95
3. Denny, May, Pinto (31) (industrie manufacturière, chiffres de 1970)		4,90	-0,89	-10,14	0,47		0,12

(a) Estimations non révisées.

qui attribuent à l'énergie une élasticité-prix directe nettement plus élevée que celle des deux autres facteurs. La réaction du capital aux variations de prix apparaît comme plus élevée que celle de la main-d'oeuvre. Toutefois, dans le cas du Japon, de l'Allemagne et de la France, l'élasticité-prix de la demande de main-d'oeuvre est supérieure à celle de la demande de capital, ce qui s'explique peut-être par le niveau relativement bas des coûts de main-d'oeuvre au cours des années 1950 et 1960.

- (iii) lorsqu'on n'utilise que des données chronologiques, les différences d'élasticité-prix des divers facteurs de production s'atténuent de manière importante. L'énergie cesse d'être le facteur dont la réaction aux variations de prix est la plus forte, la plupart des analyses faisant au contraire apparaître le capital comme jouant ce rôle. Les modèles à trois facteurs attribuent l'élasticité-prix la plus faible à l'énergie ou à la main-d'oeuvre, en fonction des données et de la formulation retenues. Dans les études portant sur quatre facteurs, ce sont souvent les matières premières qui apparaissent comme ayant la plus faible réaction aux variations de prix.
- (iv) les analyses chronologiques ne font ressortir que des différences négligeables d'un pays à l'autre quant à l'élasticité-prix directe de la demande d'énergie ; il en est de même lorsqu'on insère dans les données transversales des variables muettes représentant les pays. Cette absence de différences prononcées entre pays quant à l'élasticité-prix de la demande d'énergie est surprenante. Les recherches empiriques récentes donnent à penser que la réaction aux variations de prix est une fonction positive du prix absolu de l'énergie (Mittelstädt et Hall (16)) (cf. Section IV). Les estimations s'appuyant sur des données transversales avec des variables muettes représentant les pays tiennent compte implicitement de la différence de niveau du prix de l'énergie, et devraient donc faire apparaître une élasticité directe plus élevée dans les pays où ce niveau est élevé, comparativement aux pays où il est bas.

Quant à l'interaction entre les facteurs de production, la plupart des études empiriques donnent la description suivante du processus de substitution :

- (i) l'énergie et la main-d'oeuvre sont substituables. Pour les Etats-Unis, l'élasticité de substitution estimée se situe dans une fourchette très large, allant de 0,6 à 2,2 ; cette fourchette est plus étroite pour le Japon et l'Europe, où elle va de 0,8 à 1,1 (Tableau 5). Lorsque l'on distingue la

main-d'oeuvre variable de celle qui constitue pratiquement un facteur fixe, la substitution ne vaut, aux Etats-Unis, que pour la main-d'oeuvre variable (Berndt, Morrison et Watkins (24)). Dans le cas de l'industrie manufacturière canadienne, Rao constate que l'énergie et la main-d'oeuvre sont fortement complémentaires. Toutefois, une ventilation plus fine montre que ce résultat est essentiellement imputable au secteur des biens non durables (Rao (28)) ;

- (ii) le capital et la main-d'oeuvre sont substituables. Pour les Etats-Unis, l'élasticité de substitution estimée va de 0,1 à 1,1, et pour le Japon et l'Europe de 0,4 à 1,1. On trouve une fourchette encore plus large pour le Canada (0,8 à 4,9) ;
- (iii) l'énergie et les matières premières sont substituables: L'élasticité de substitution allant de 0,4 à 1,0. Toutefois, une étude plus ancienne due à Hudson et Jorgensen (34) fait apparaître l'énergie et les matières premières comme complémentaires dans le cas des Etats-Unis.

Contrairement aux relations unissant l'énergie, la main-d'oeuvre et les matières premières, dont la nature fait l'objet d'un accord général, l'interaction entre l'énergie et le capital donne lieu à des résultats empiriques ambigus. Les estimations effectuées initialement pour les Etats-Unis et le Canada (à partir de séries chronologiques) donnaient à penser que ces facteurs étaient fortement complémentaires dans l'industrie manufacturière et les transports commerciaux (Berndt et Wood (20), Hudson et Jorgenson (33), Fuss (14), Denny, May et Pinto (31)), mais pas dans le secteur des services, du commerce et des communications (Hudson et Jorgenson (34)). Par la suite, toutefois, des estimations relatives à l'industrie manufacturière des Etats-Unis (effectuées à partir de séries chronologiques) ont montré qu'il y avait, soit faible complémentarité, soit faible possibilité de substitution (Berndt, Morrison et Watkins (24), Secrétariat de l'OCDE (23)). Qui plus est, une étude récente qui utilise pour les années antérieures à 1973 des données révisées fondées sur la "méthode du service rendu" pour l'évaluation des dépenses d'investissement (a) montre une nette relation de substitution entre l'énergie et le capital dans le cas de l'industrie manufacturière des Etats-Unis (Berndt, Hirsch et Wood (21)). Des résultats analogues ont été obtenus pour le Canada (Rao (28)) et l'Australie (Turnovsky, Folie et Ulph (35)).

-
- (a) Selon la "méthode du service rendu", le coût du capital est le produit du volume de ce dernier par le prix des services qu'il rend. On peut également utiliser comme variable substitutive la différence entre la valeur ajoutée et les coûts totaux de main-d'oeuvre ("méthode de la différence entre la valeur ajoutée et la masse des salaires").

Contrairement à l'analyse des séries chronologiques, qui conduit à des résultats contradictoires, les estimations fondées sur des données transversales par pays (combinées avec des séries chronologiques) concluent invariablement à la possibilité de substitution entre le capital et l'énergie, l'élasticité de substitution se situant entre 0,6 et 1,2 (contre une fourchette allant de -10,4 à +3,42 pour les études chronologiques) (Tableau 5). Lorsque l'on analyse des données combinées, c'est la possibilité de substitution qui l'emporte quel que soit le nombre de facteurs de production retenu (modèles KLE ou KLEM) et que l'on fasse ou non de la répartition des coûts une fonction du niveau de la production (fonctions homothétiques ou non homothétiques).

Comme on l'a observé plus haut, les études transversales effectuées sur le plan international attribuent en général à l'énergie une élasticité-prix directe se situant entre -0,7 et -0,8. Si une élasticité directe de -0,5 est compatible aussi bien avec une relation de complémentarité que de substitution entre l'énergie et le capital, il semble donc que lorsque l'élasticité dépasse ce niveau c'est la substitution qui l'emporte ; autrement dit, le capital (aussi bien que la main-d'oeuvre et les matières premières) entre dans le processus d'interaction qui conduit au remplacement de l'énergie par d'autres facteurs de production.

B. Résultats sectoriels

Les élasticités de substitution globales entre facteurs souffrent de deux faiblesses principales : en premier lieu, elles n'établissent pas de distinction entre une modification des proportions factorielles au niveau de l'entreprise ou du sous-secteur et le déplacement de la demande au détriment des produits à forte intensité énergétique (modification de la structure de la consommation privée) ; en second lieu, vu les inégalités considérables dans l'utilisation industrielle de l'énergie, elles peuvent donner lieu à des biais d'agrégation. C'est ainsi qu'au Japon la sidérurgie, l'industrie chimique et celle de la céramique représentent quelque 70 % de la demande totale d'énergie de l'industrie.

Le Tableau 6 résume les relations interfactorielles calculées au niveau du sous-secteur par Denny, Fuss et Waverman (13) pour les Etats-Unis, Katsumura (26) pour le Japon, Rao (28) pour le Canada et Ceriani (18) pour l'Allemagne, le Royaume-Uni et l'Italie. Toutes ces études utilisent des fonctions de coût translog, mais mesurent de manière différente les dépenses d'investissement, Denny, Fuss et Waverman (13) ainsi que Rao (28) utilisant la "méthode du service rendu" et Ceriani (18) celle de la "différence entre la valeur ajoutée et la masse des salaires". L'étude consacrée aux Etats-Unis ne comporte pas d'estimations de l'interaction entre le capital et la main-d'oeuvre. La plupart de ces études utilisent des fonctions à trois facteurs, ce qui peut être une source de faiblesse importante, la différence entre la production et la valeur ajoutée étant en général plus grande au

niveau du secteur qu'au niveau global. Au Tableau 6, on a indiqué les relations de substitution par un trait plein et la complémentarité par un tireté.

Quant aux relations entre l'énergie et le capital, les résultats n'indiquent pas systématiquement que ces facteurs soient complémentaires dans les branches à forte intensité énergétique. Au contraire, les résultats empiriques indiquent qu'ils sont substituables dans la sidérurgie et la métallurgie de base (sauf au Canada), dans l'industrie du papier (sauf aux Etats-Unis), dans la construction automobile et la construction mécanique (sauf au Royaume-Uni) et, dans une moindre mesure, dans l'industrie chimique (sauf aux Etats-Unis, au Japon, en Allemagne et au Canada). On constate de même que dans les branches à forte intensité énergétique la main-d'oeuvre et l'énergie sont des substituts, sauf en ce qui concerne la métallurgie de base (Etats-Unis), l'industrie du papier (Allemagne), la construction automobile (Etats-Unis et Canada) la construction mécanique (Allemagne) et l'industrie chimique (Allemagne et Canada). Globalement, ces résultats montrent qu'il existe de larges possibilités de substitution aussi bien du capital que de la main-d'oeuvre à l'énergie dans les branches à forte intensité énergétique. Il s'ensuit qu'une hausse du prix relatif de l'énergie doit également abaisser la demande globale d'énergie de l'industrie par l'intermédiaire d'une modification des combinaisons factorielles dans les sous-secteurs, et pas seulement par l'intermédiaire d'un changement de structure de la consommation privée.

Lorsque l'on examine dans son ensemble toute la gamme des sous-secteurs de l'industrie dans chaque pays pris en particulier, on aboutit aux conclusions ci-après :

- (i) à quelques exceptions près, l'énergie et le capital sont complémentaires aux Etats-Unis, tandis que la main-d'oeuvre et l'énergie y sont à long terme des substituts ;
- (ii) la même situation semble régner au Japon où, en outre, le capital et la main-d'oeuvre sont des substituts ;
- (iii) dans les pays Européens, l'énergie et le capital sont principalement des substituts ; il en est de même du capital et des matières premières et, dans une moindre mesure, du capital et de la main-d'oeuvre ainsi que de l'énergie et de la main-d'oeuvre (sauf dans quelques branches à forte intensité énergétique, telles que les métaux non ferreux, la construction automobile et les industries pétrolière et houillère).

Tableau 6
Relations entre facteurs dans l'industrie,
au niveau des sous-secteurs

	Etats- Unis (a)	Japon (b)	Allemagne (c)	Royaume- Uni (c)	Italie (c)	Canada (d)
1. Industries alimentaires et boissons						
2. Tabacs						
3. Industries alimentaires, boissons et tabacs						
4. Caoutchouc						
5. Caoutchouc et matières plastiques						
6. Cuir						
7. Textiles						
8. Bonneterie						
9. Bois						
10. Ameublement						
11. Papier						
12. Impression						
13. Sidérurgie						
14. Industrie chimique						
15. Industries extractives						
16. Construction mécanique						
17. Transformation des métaux						
18. Machines non électriques						
19. Métaux non ferreux						
20. Construction automobile (à l'excl. des pièces détachées)						

Tableau 6 (suite)

	Etats- Unis (a)	Japon (b)	Allemagne (c)	Royaume- Uni (c)	Italie (c)	Canada (d)
21. Pièces détachées pour véhicules automobiles						
22. Matériel électrique						
23. Briques						
24. Cimenterie et céramique						
25. Minéraux non métalli- ques et verre						
26. Métallurgie de base						

(a) Denny, Fuss et Waverman (13)

(b) Katsumura (26)

(c) Ceriani (18)

(d) Rao (28)

Note : _____ indique possibilité de substitution
 indique complémentarité

- (iv) au Canada, l'énergie et le capital sont essentiellement des substituts, de même que le capital et les matières premières et, dans une moindre mesure, le capital et la main-d'oeuvre, ainsi que l'énergie et la main-d'oeuvre (sauf dans quelques branches à forte intensité énergétique, telles que les métaux non ferreux, la construction automobile et les industries pétrolière et houillère).

IV. La demande finale d'énergie : résultats empiriques

Dans ses recherches empiriques portant sur les élasticités de la demande finale d'énergie, le Secrétariat de l'OCDE a utilisé une simple fonction log-linéaire où le niveau de la demande d'énergie finale ou son taux de variation sont déterminés simultanément par le PIB réel et le prix réel de l'énergie pour l'utilisateur final (autrement dit, des prix sectoriels établis par application au prix de chaque combustible de l'indice des prix à la consommation [secteur du logement et de la distribution et secteur des transports] ou de l'indice des prix de gros [industrie], la composante énergétique de ces indices étant exclue du dénominateur). La période d'observation est 1960-78. Des élasticités-prix à court et long terme ont été calculées à partir de séries chronologiques pour chaque secteur, pour chaque pays et pour l'ensemble des 13 pays. On a réparti l'effet prix sur six ou sept ans par diverses variantes de la méthode Almon de distribution des retards (a). Il s'agit, bien entendu, d'une approche relativement sommaire, imposée essentiellement par les déficiences des données de base, l'adaptation de la demande d'énergie aux variations de prix exigeant sans doute plus de sept ans, quoique le délai varie d'un secteur à l'autre.

Pour aboutir à une meilleure approximation de la réaction à long terme de la demande d'énergie aux variations de prix, on a combiné des données transversales par pays et des données chronologiques (équation en niveau) attribue au prix un coefficient à court terme (sur un an) de $-0,11$, qui double lorsque l'on combine les données sous la forme de différences de premier ordre (b). Dans le cadre de cette analyse,

-
- (a) La période 1960-73 a été marquée par une hausse du revenu réel et une baisse du prix réel de l'énergie, phénomènes entraînant l'un et l'autre une plus grande consommation d'énergie. En combinant les données, on parvient à affaiblir cette collinéarité, mais l'on ne saurait éliminer entièrement le problème de la multi-collinéarité, les pays à revenu élevé étant également ceux où le prix de l'énergie est bas (tels que les États-Unis et le Canada).
- (b) Cette combinaison a des chances d'aboutir à des élasticités à court terme, dans la mesure où elle élimine la large gamme de prix qui se présente lorsque les données sont combinées en niveau.

l'insertion d'un retard Almon de six ou sept ans porte l'élasticité à long terme à $-0,4$. En revanche, l'analyse combinée fournit des résultats sensiblement plus élevés, se situant entre $-0,7$ et $-0,9$ selon la période retenue. C'est en limitant l'analyse des données combinées à la période postérieure à 1973 que l'on obtient le coefficient de prix le plus élevé. Vu l'évolution qui caractérise la période 1960-78, où le prix réel de l'énergie, après avoir connu une baisse progressive, a subi une hausse prononcée, l'analyse chronologique risque de ne pas saisir pleinement l'effet exercé sur la demande d'énergie par une forte hausse du prix réel de l'énergie, interprétation confirmée par l'évolution la plus récente des marchés du pétrole et de l'énergie.

Il convient d'ajouter une autre mise en garde. L'élasticité-prix à long terme estimée à $-0,9$ pour la période 1973-78 à partir de données combinées (équation en niveau) risque d'être surestimée, vu le grand nombre de mesures adoptées à la suite du premier choc pétrolier dans des domaines autres que les prix. On sait que l'analyse empirique ne parvient guère à distinguer les effets de telles mesures de ceux qui sont réellement imputables aux prix et au revenu. On ne peut donc pas affirmer de manière concluante que l'élasticité-prix de la demande d'énergie soit réellement, à long terme, proche de l'unité.

Comme c'est normalement le cas, les estimations de l'élasticité-revenu obtenues à partir de diverses formulations se situent dans une fourchette plus étroite que les élasticité-prix (entre $0,99$ et $1,10$, cf, Tableau 8). L'analyse chronologique (équation en niveau) fait apparaître les transports comme un secteur où la demande réagit avec une vigueur particulière à la hausse du revenu réel (résultat confirmé par l'analyse effectuée à partir de données combinées) mais relativement peu à une hausse du prix réel de l'énergie (résultat que contredit l'analyse des données combinées).

Une comparaison de l'élasticité moyenne par rapport au revenu et de l'élasticité-prix à long terme montre que pour maintenir constante au total la demande d'énergie finale il faut que le prix réel de l'énergie pour l'utilisateur final augmente, à long terme, presque deux fois plus vite que le PIB réel. L'élasticité-prix à long terme étant, en moyenne, nettement inférieure à un, une hausse continue du prix réel de l'énergie implique un accroissement de la part de l'énergie dans la demande totale, de sorte qu'un pourcentage donné de hausse du prix de l'énergie donne inévitablement lieu à des effets inflationnistes plus puissants que les hausses antérieures (Yergin (36)).

Tableau 7

Résultats pour l'ensemble de la zone : élasticité-prix
à court et long terme de la demande d'énergie finale (a)

<u>Court terme</u>	-0,11 (analyse chronologique, équation en (-6,23) niveau, retard Almon sur 7 ans, période 1960-78)
	-0,20 (données combinées, différences de (-3,98) premier ordre, période 1973-78)
	-0,36 (données combinées, différences de (-9,71) premier ordre, période 1960-78)
	-0,23 (moyenne)
<u>Long terme</u>	-0,35 (analyse chronologique, différences de (-3,13) premier ordre, retard Almon sur 6 ans)
	-0,43 (analyse chronologique, équation en (-6,23) niveau, retard Almon sur 7 ans)
	-0,69 (données combinées, équation en niveau, (-13,91) période 1960)78)
	-0,87 (données combinées, équation en niveau, (-12,94) période 1973-78)
	-0,59 (moyenne)

(a) les coefficients "t" figurent entre parenthèses.

Tableau 8

Estimation de l'élasticité par rapport au revenu et au prix de la demande d'énergie finale : résultats pour l'ensemble de la zone (13 pays) (a)

	Constante	Elasticité revenu	Elasticité-prix		R ²	DW
			Court terme	Long terme		
I. Séries chronologiques (b)						
1. Equations en niveau (1960-78)						
Logement et distribution	-0,02 (-1,09)	0,91 (11,82)	-0,03 (-3,06)	-0,32 (-3,06)	0,94	0,94
Industrie	-0,09 (-4,33)	1,24 (13,43)	-0,13 (-8,02)	-0,54 (-8,02)	0,95	2,21
Transports	-0,05 (-4,28)	1,19 (39,56)	-0,08 (-2,72)	-0,31 (-2,72)	0,99	2,18
Total	-0,05 (-3,53)	1,07 (19,64)	-0,11 (-6,23)	-0,43 (-6,23)	0,98	1,02
2. Différences de premier ordre(c)						
Logement et distribution		0,92 (5,10)	-0,07 (-1,35)	-0,23 (-1,35)	0,45	1,70
Industrie		1,39 (5,68)	-0,15 (-3,29)	-0,52 (-3,29)	0,69	3,14
Transports		1,09 (8,09)	-0,05 (-0,75)	-0,18 (-0,75)	0,42	2,95
Total		1,10 (9,23)	-0,10 (-3,13)	-0,35 (-3,13)	0,78	2,25
II. Données combinées						
1. 11 pays (1960-78)						
Logement et distribution	-0,37 (-4,79)	0,97 (55,57)		-0,70 (-10,42)	0,94	
Industrie	-0,16 (-2,73)	0,96 (86,07)		-0,36 (-8,12)	0,98	
Transports	-0,16 (-3,49)	1,05 (100,36)		-0,94 (-27,58)	0,98	
Total	-0,31 (-6,36)	1,00 (93,57)		-0,69 (-13,91)	0,98	
2. Différences de premier ordre (1973-78)						
Logement et distribution		0,34 (3,70)	-0,17 (-2,22)		0,11	
Industrie		0,32 (3,31)	-0,20 (-3,08)		0,18	
Transports		0,40 (7,56)	-0,23 (-4,85)		0,18	
Total		0,35 (5,88)	-0,20 (-3,98)		0,29	
3. A l'exclusion de l'Amérique du Nord (1960-78)						
Logement et distribution	-0,83 (-8,94)	0,85 (38,37)		-0,47 (-6,81)	0,91	
Industrie	-0,25 (-3,33)	0,93 (59,43)		-0,36 (-7,03)	0,96	
Transports	-0,70 (-11,17)	0,99 (86,76)		-0,50 (-10,83)	0,98	
Total	-0,57 (-10,49)	0,93 (71,29)		-0,48 (-9,30)	0,97	
4. Différences de premier ordre (1973-78) (à l'exclusion de l'Amérique du Nord)						
Logement et distribution		0,36 (3,54)	-0,20 (-2,33)		0,11	
Industrie		0,31 (2,95)	-0,21 (-2,74)		0,18	
Transports		0,38 (6,80)	-0,23 (-4,36)		0,22	
Total		0,35 (5,40)	-0,22 (-3,82)		0,31	

(a) Les sept grands pays ainsi que l'Autriche, la Belgique, le Danemark, la Finlande, les Pays-Bas et le Suède.

Tableau 9

Résultats par pays : estimation de l'élasticité par rapport au revenu et aux prix de la demande d'énergie finale (1960-78) (a)

	Equation en niveau (b)					Différences de premier ordre (c)					
	Constante	Elasticité-prix			R ²	DW	Elasticité-revenu	Elasticité-prix		R ²	DW
		Elasticité-revenu	Court terme	Long terme				Court terme	Long terme		
Etats-Unis	-0,04 (-2,35)	1,02 (10,68)	-0,09 (-4,45)	-0,38 (-4,45)	0,94	1,15	0,94 (5,58)	-0,07	-0,26 (-1,86)	0,58	2,16
Japon	-0,05 (-3,76)	0,96 (47,87)	-0,09 (-6,22)	-0,35 (-6,22)	1,00	2,19	1,05 (10,90)	-0,09	-0,32 (-2,02)	0,83	2,23
Allemagne	-0,05 (-4,77)	1,08 (26,53)	-0,11 (-8,58)	-0,44 (-8,58)	0,99	1,77	1,20 (11,17)	-0,13	-0,45 (-3,95)	0,88	2,34
France	-0,05 (-3,04)	1,16 (22,46)	-0,10 (-6,11)	-0,41 (-6,11)	0,99	2,27	1,18 (6,03)	-0,13	-0,48 (-2,39)	0,60	2,03
Royaume-Uni	-0,02 (-0,89)	0,57 (7,25)	-0,10 (-3,13)	-0,42 (-3,13)	0,85	1,61	0,82 (4,18)	-0,15	-0,52 (-2,24)	0,65	1,62
Canada	0 (-0,13)	0,89 (26,23)	-0,07 (-3,10)	-0,28 (-3,10)	0,99	1,67	0,85 (6,61)	-0,04	-0,14 (-0,76)	0,26	3,03
Italie	-0,09 (-5,34)	1,41 (26,49)	-0,14 (-4,84)	-0,59 (-4,84)	0,99	1,48	1,32 (8,54)	-0,11	-0,38 (-1,98)	0,74	1,97
Moyenne des sept grands pays		1,01	-0,10	-0,40			1,05	-0,10	-0,36		
Autriche	-0,08 (-4,68)	1,05 (22,42)	-0,24 (-5,58)	-0,97 (-5,58)	0,99	3,24	0,95 (4,43)	-0,30	-1,06 (-1,90)	0,45	3,01
Belgique	-0,10 (-2,44)	0,89 (11,19)	0,26	-1,05 (-4,07)	0,93	0,93	0,99 (3,90)	-0,27	-0,94 (-2,11)	0,56	1,80
Danemark	-0,06 (-1,20)	0,98 (5,44)	-0,16	-0,63 (-2,82)	0,77	0,89	1,23 (3,83)	-0,19	-0,68 (-2,05)	0,55	1,65
Finlande	0,04 (2,69)	0,79 (13,32)	-0,05	-0,22 (-0,90)	0,97	1,44	0,84 (4,62)	-0,12	-0,41 (-0,88)	0,33	2,03
Pays-Bas	-0,07 (-3,15)	1,72 (29,99)	-0,16	-0,62 (-4,27)	0,99	2,19	1,64 (5,71)	-0,15	-0,54 (-1,44)	0,52	2,45
Suède	0 (-0,27)	0,94 (10,07)	-0,06	-0,22 (-2,47)	0,92	2,00	1,08 (3,10)	-0,10	-0,36 (-1,56)	0,36	2,65
Moyenné des petits pays		1,06	-0,16	-0,62			1,12	-0,19	-0,71		
Coefficient de variance		0,26	0,50	0,50			0,20	0,50	0,50		

(a) Les coefficients "t" figurent entre parenthèses.

(b) Retard Almon distribué sur sept ans (avec contrainte de nullité aux extrêmes, version linéaire) (c) Retard Almon distribué sur six ans.

Tableau 10

Elasticités sectorielles par rapport au revenu et au prix (a)

	Constante	Elasticité revenu	Elasticité-prix		R ²	DW
			Court terme	Long terme		
<u>Etats-Unis</u>						
Logement et distribution	0	0,71	-0,06	-0,26	0,72	1,00
Industrie	-0,09	1,30	-0,13	-0,51	0,83	2,32
Transports	-0,07	1,32	-0,10	-0,38	0,98	1,57
<u>Japon</u>						
Logement et distribution	-0,08	1,08	-0,02	-0,08*	0,99	1,36
Industrie	-0,05	1,03	-0,09	-0,37	0,98	1,97
Transports	-0,09	1,32	-0,13	-0,38	0,99	0,87
<u>Allemagne</u>						
Logement et distribution	-0,02	1,18	-0,07	-0,27	0,98	2,18
Industrie	-0,10	0,91	-0,17	-0,67	0,93	2,13
Transports	-0,04	1,27	-0,06	-0,24*	0,98	2,00
<u>France</u>						
Logement et distribution	-0,07	1,50	-0,11	-0,46	0,96	2,21
Industrie	-0,08	1,06	-0,13	-0,53	0,91	2,12
Transports	-0,01	1,24	-0,01	0,05*	1,00	2,25
<u>Royaume-Uni</u>						
Logement et distribution	0,03	0,27	0,11	-0,42*	0,78	1,82
Industrie	-0,03	0,59	0,13	-0,53	0,67	1,99
Transports	-0,05	1,24	-0,06	-0,26*	0,98	0,91
<u>Italie</u>						
Logement et distribution	-0,11	1,85	-0,12	-0,50	0,96	1,73
Industrie	-0,11	1,06	-0,18	-0,73	0,98	1,74
Transports	-0,01	1,16	0	-0,02*	0,96	2,12
<u>Canada</u>						
Logement et distribution	0,01	0,74	-0,12	-0,49	0,93	1,47
Industrie	0	0,96	-0,05	-0,18*	0,97	1,62
Transports	-0,02	1,01	-0,04	-0,16*	1,00	2,50
<u>Autriche</u>						
Logement et distribution	-0,08	1,09	-0,27	-1,07*	0,91	1,28
Industrie	-0,13	1,16	-0,41	-1,63	0,83	1,70
Transports	-0,05	1,07	-0,10	-0,38	0,98	2,57
<u>Belgique</u>						
Logement et distribution	-0,07	0,56	-0,23	-0,92	0,88	2,06
Industrie	-0,17	1,27	-0,29	-1,15	0,90	1,25
Transports	-0,02	0,99	-0,33	-1,33*	0,96	1,28
<u>Danemark</u>						
Logement et distribution	-0,05	0,97	-0,14	-0,56	0,67	0,78
Industrie	-0,07	0,93	-0,17	-0,68	0,46	1,27
Transports	-0,05	0,84	-0,27	-1,09	0,95	1,44
<u>Finlande</u>						
Logement et distribution	0,17	0,18	0,21	0,82	0,82	1,40
Industrie	0,07	0,58	-0,24	-0,97*	0,70	0,91
Transports	-0,04	1,13	-0,02	-0,06*	0,99	2,91
<u>Pays-Bas</u>						
Logement et distribution	-0,06	1,32	-0,26	-1,03	0,97	2,21
Industrie	-0,08	2,25	-0,11	-0,46	0,99	1,56
Transports	0	1,30	-0,07	-0,27*	0,98	1,79
<u>Suède</u>						
Logement et distribution	0,05	0,75	-0,02	-0,09*	0,64	1,44
Industrie	-0,10	1,24	-0,12	-0,47	0,94	2,14
Transports	0,07	1,32	0,18	0,73*	0,94	1,38

* |t-statistics| < 2

(a) Equation en niveau avec retard Almon distribué sur sept ans (version linéaire).

(b) Retard Almon distribué sur sept ans (avec contrainte de nullité aux extrêmes, version linéaire).

(c) Retard Almon distribué sur six ans (avec contrainte de nullité aux extrêmes, version linéaire).

B. Résultats pays pays

Le Tableau 9 présente pour chaque pays des élasticités par rapport au revenu et au prix calculées selon deux formulations (en niveau et en différences de premier ordre, à partir d'une analyse chronologique). Pour le groupe formé par les sept grands pays de l'OCDE, l'une et l'autre formulation font apparaître une élasticité-prix relativement élevée dans le cas de l'Allemagne, de la France et du Royaume-Uni et une élasticité faible pour les États-Unis et le Canada. Dans une certaine mesure, ces écarts entre pays peuvent être liés à une pondération différente des secteurs, à la disparité des structures de la consommation privée et à l'importance des transports publics. En outre, le niveau absolu des prix de l'énergie pourrait jouer un rôle, hypothèse que l'on examinera plus loin.

Dans le cas des petits pays, on observe des élasticités-prix beaucoup plus élevées que pour les plus grands. Cette différence est en partie de nature statistique, étant donné que pour les petits pays on a obtenu une approximation du prix réel de l'énergie à partir de la composante énergétique des indices de prix à la consommation et des prix de gros (divisés par l'indice total, à l'exclusion de sa composante énergétique). Ces indices étant faussés par une pondération fixe (cf. la Section I), la hausse du prix réel de l'énergie qu'ils enregistrent depuis 1973 est anormalement faible et l'élasticité-prix est de ce fait surestimée.

L'élasticité-revenu, elle aussi, varie d'un pays à l'autre (quoique dans une moindre mesure que l'élasticité-prix), ce qui s'explique par la différence des structures de branche, de la composition de la dépense privée et - dernier élément, mais non le moindre - les biais statistiques. Cependant, dans presque tous les cas, le coefficient du revenu est supérieur à l'élasticité-prix à long terme, encore que l'écart soit très variable.

C. Résultats sectoriels

Le Tableau 10 fait apparaître des élasticités sectorielles par rapport au revenu et au prix, calculées à partir d'équations en niveau comportant un retard Almon distribué sur sept ans. Tous les coefficients de prix sont affectés du signe considéré a priori comme correct, sauf en ce qui concerne la Suède (transports). Pour le secteur du logement et de la distribution, les coefficients de prix sont, dans l'ensemble, bien déterminés, sauf en ce qui concerne le Japon, le Royaume-Uni, l'Autriche et la Suède. Pour l'ensemble des 13 pays, l'élasticité-prix à long terme est -0,3 (séries chronologiques, équation en niveau), valeur faible qui donne à penser que la période d'adaptation est sans doute supérieure à sept ans. Toutefois, en combinant les données chronologiques et les données transversales par pays on obtient une élasticité-prix à long terme de -0,7 pour la période 1960-78 et

de -1,00 pour la période 1973-78. Ces résultats sont analogues à ceux d'autres études (a).

Dans le cas du secteur industriel, les coefficients de prix sont également bien déterminés. La valeur moyenne de l'élasticité-prix à long terme résultant de l'analyse chronologique, soit -0,5, est plus élevée que pour le secteur du logement et de la distribution, mais proche des résultats obtenus par l'analyse de données combinées (-0,4 et -0,6, respectivement, pour les périodes 1960-78 et 1973-78). On pourrait en conclure que la période d'adaptation est de l'ordre de sept ans. En outre, on observe dans le secteur industriel à la fois un bas niveau et de faibles écarts des prix de l'énergie d'un pays à l'autre. Conjugés avec la faible imposition de l'énergie, ces phénomènes peuvent expliquer en partie que les calculs effectués à partir de données combinées aboutissent pour l'industrie à un coefficient de prix relativement bas.

Quant à l'élasticité-revenu, les résultats d'analyses chronologiques attribuent en général à l'industrie une valeur supérieure à un, coefficient élevé qui traduit dans une large mesure un effet statistique, à savoir l'utilisation comme variable représentative de la production du PIB réel connaissant en général des variations plus faibles que la production industrielle, cette méthode aboutit à surestimer l'élasticité-revenu. Lorsque l'on fait intervenir comme "variable de revenu" la production industrielle, on obtient des coefficients inférieurs à un (cf. Section IV, sous-section E).

Pour ce qui est du secteur des transports, l'analyse chronologique fournit des coefficients de prix faibles et dépourvus de signification statistique, sauf en ce qui concerne les Etats-Unis, le Japon, l'Autriche et le Danemark. Pour l'ensemble des 13 pays, l'élasticité-prix à long terme est -0,3 (données chronologiques, équation en niveau), mais elle approche de un lorsque l'on combine les données chronologiques et les données transversales par pays. Vu le niveau élevé, en moyenne, des taxes sur l'essence et les grands écarts qui les séparent d'un pays à l'autre, on peut s'attendre à voir l'analyse particulièrement élevée. Quant au coefficient afférent au revenu, les résultats de l'analyse chronologique indiquent une élasticité supérieure à un (sauf pour le Japon, la Belgique et le Danemark).

Les autres estimations empiriques relatives aux élasticités-prix et revenu du secteur des transports se situent également dans une fourchette très large, allant de 1,0 à 1,7 pour l'élasticité-revenu à long terme et de -0,2 à -0,9 pour

(a) R.S. Pindyck (11) attribue une valeur de -1,1 à l'élasticité-prix à long terme du secteur du logement de neuf pays (les sept grands pays de l'OCDE à l'exclusion du Japon, ainsi que la Belgique, les Pays-Bas et la Norvège).

l'élasticité-prix à long terme (Tableau 11). La plupart des études recourent à l'analyse chronologique et donnent à penser que l'écart entre les coefficients afférents au revenu et aux prix à long terme (en valeur absolue) est important.

D. Elasticités-prix variables

Dans l'analyse qui précède, on a mis en avant l'idée que l'élasticité-prix de la demande finale d'énergie pourrait ne pas être constante, mais varier dans le temps selon le niveau absolu des prix de l'énergie et d'autres facteurs. C'est ainsi que l'analyse chronologique montrait que les pays où les prix de l'énergie se situaient à un niveau élevé pour l'utilisateur final réagissaient fortement, en termes relatifs, aux variations de prix, l'inverse étant vrai pour les autres. Conformément à ce raisonnement, les secteurs où les prix de l'énergie sont élevés, tels que les transports, devraient présenter une plus grande élasticité-prix que ceux où ces prix sont bas, tels que l'industrie. De même, les secteurs où le prix réel de l'énergie a fortement augmenté depuis 1973 devraient également être ceux où l'élasticité-prix estimée à long terme a fortement augmenté, alors qu'on peut s'attendre à voir peu de changement pour des secteurs tels que les transports, où jusqu'en 1978 le prix réel de l'énergie n'a augmenté que relativement peu (Mittelstädt et Hall (16)).

L'hypothèse ci-dessus trouve une confirmation partielle dans les calculs effectués à partir de données combinées : l'élasticité-prix à long terme estimée pour la période 1960-72 atteint son maximum dans les transports (où les prix de l'énergie sont élevés) et son minimum dans l'industrie (où les prix sont bas), tandis que le secteur du logement et de la distribution occupe une position intermédiaire (Tableau 12). En outre, lorsqu'on compare les résultats obtenus pour la période 1960-72 avec ceux de la période 1973-78, c'est l'industrie (où les prix réels de l'énergie ont le plus augmenté) qui connaît la hausse la plus forte de son élasticité-prix, tandis que les transports (où la hausse des prix a été faible) connaissent l'augmentation la moins importante de cette élasticité.

Pour mieux étudier la variabilité de l'élasticité dans le temps, on a utilisé des données transversales par pays pour calculer une élasticité-prix de l'ensemble de la zone pour chaque année de la période 1960-78. Ce qui ressort de ce test, c'est une baisse de l'élasticité-prix à long terme entre 1960 et 1970, suivie jusqu'en 1977 par une forte hausse, et une nouvelle baisse en 1978 (Kouris (43)). Comme le montre le Graphique 2, cette évolution correspond de près à celle du prix réel de l'énergie pour l'utilisateur final. On peut donc s'attendre à voir la demande finale d'énergie réagir plus fortement aux variations de prix lorsque ces derniers montent que lorsqu'ils baissent, phénomène dont il convient de tenir compte lors de l'établissement de prévisions ou de scénarios.

Tableau 11

Elasticités par rapport au prix et au revenu estimées
pour les transports

	Type de demande	Elasticité-revenu		Elasticité-prix	
		Court terme	Long terme	Court terme	Long terme
<u>Etats-Unis</u>					
	Demande privée d'essence				
Houthakker et Taylor (37)		0,48	1,69	-0,14	-0,48
Philips (38)				-0,12	-0,68
Wildhorn (39)				-0,37	-0,92
FEA (40)			0,98		-0,48
	Demande totale d'essence				
CBO (41)				-0,15	-0,20
	Demande d'énergie des transports				
Ressources pour l'avenir (6)		1,06		-0,03	
	Demande privée d'essence				
Sweeney (42)					-0,70

Tableau 12

Résultats pour l'ensemble de la zone : élasticités
sectorielles par rapport au prix et au revenu de
la demande d'énergie finale

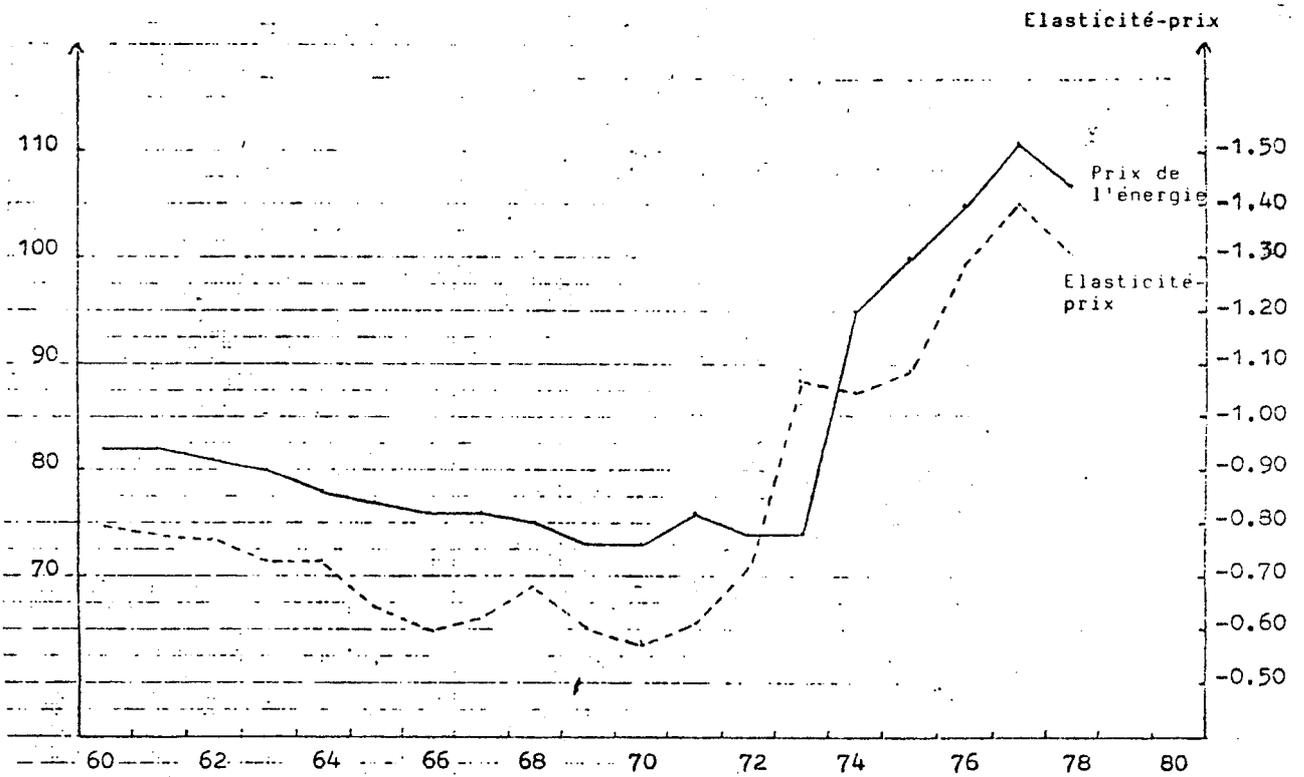
	Elasticité- revenu	Elasticité-prix	
		Court terme	Long terme
Séries chronologiques (1960-1978)			
Logement et distribution	0,91	-0,08	-0,32
Industrie	1,24	-0,13	-0,54
Transports	1,19	-0,08	-0,31
Données combinées (1960-1972)			
Logement et distribution	0,96	..	-0,67
Industrie	0,96	..	-0,18
Transports	1,06	..	-0,92
(1973-1978)			
Logement et distribution	0,99	..	-1,00
Industrie	0,97	..	-0,55
Transports	1,00	..	-1,12

Graphique 2

Données transversales par pays

Elasticité globale à long terme par rapport au prix réel de l'énergie : 1960)78, 11 pays de la zone de l'OCDE (a)

PRIX DE L'ENERGIE
(1975 = 100)



(a) Les sept grands pays, ainsi que l'Autriche, la Belgique, les Pays-Bas et la Suède.

Vu le faible nombre d'observations disponibles (11 pays seulement), il convient d'accueillir avec beaucoup de prudence les résultats figurant au Graphique 2.

E. Evolution cyclique de la demande finale d'énergie

Jusqu'ici, notre analyse a fait abstraction des différences entre le court et le long terme quant à l'élasticité de la demande finale d'énergie par rapport à la production ou au revenu. Pour reconstituer l'évolution de la demande d'énergie, on a effectué divers tests. En premier lieu, on a ajouté à la formulation initiale une variable dépendante affectée d'un retard, et remplacé, pour six grands pays de l'OCDE, le PIB réel par la production industrielle en tant que variable représentative de la production. Il en résulte une élasticité par rapport à la production très inférieure à un, allant de 0,5 pour le Royaume-Uni à 0,8 pour le Japon (Tableau 13, équation 1) et une élasticité à long terme proche de un (sauf pour le Royaume-Uni). L'écart entre élasticité à long terme et à court terme est important pour l'Allemagne, la France et le Canada, et faible pour le Royaume-Uni, de sorte que la distribution des retards varie fortement d'un pays à l'autre.

Un second test a consisté à insérer une variable de taux d'utilisation de la capacité tout en étalant l'effet de revenu sur une période de deux à quatre ans (par la méthode Almon de distribution des retards) (Tableau 13, équations 2 à 6). Il en résulte des coefficients de revenu affectés d'un retard, tous statistiquement significatifs. L'effet de revenu cumulé ne se modifie guère lorsqu'on allonge le retard (sauf pour les États-Unis et le Royaume-Uni). La variable d'utilisation de la capacité n'a d'incidence statistique que lorsqu'on étale l'effet de revenu sur un minimum d'un à deux ans. A ce stade, les élasticités par rapport à la production relatives à la première année sont bien inférieures (sauf pour le Royaume-Uni) à la valeur résultant d'équations comportant un retard de Koyck et pas de variable représentative de l'utilisation de la capacité. Cependant, ces résultats statistiques ne s'améliorent guère lorsque les coefficients afférents à la production sont affectés d'un retard et lorsque l'on insère une variable d'utilisation de la capacité (sauf dans le cas du Japon). Au contraire, dans bien des cas, cette dernière formulation aboutit systématiquement à des résultats moins bons que la formulation simple. Lorsque l'équation ci-dessus est estimée sous la forme de différences de premier ordre, sauf en ce qui concerne la variable d'utilisation de la capacité, cette dernière ne donne pas de résultat statistiquement significatif.

En troisième lieu, on a fait du logarithme de la demande d'énergie finale de l'industrie une fonction du prix, de la variable dépendante affectée d'un retard et de la déviation de la production industrielle par rapport au trend. Cette dernière variable prend alors une valeur statistiquement significative dans le cas des États-Unis, du Royaume-Uni et du Canada. Lorsque l'on explique le logarithme du rapport de la demande

d'énergie finale de l'industrie à la production industrielle (moyennes mobiles de trois ans) par le rapport entre le prix de la main-d'oeuvre et celui du capital, le rapport entre le prix du capital et celui de l'énergie et en outre la variable dépendante affectée d'un retard et l'utilisation de la capacité, cette dernière variable n'acquiert de signification statistique que dans le cas du Japon (équation des différences de premier ordre) et du Royaume-Uni (équation en niveau).

Contrairement à la plupart des résultats évoqués ci-dessus, on constate que le taux d'utilisation de la capacité est une variable systématiquement dotée de signification statistique lorsque l'on fait de la demande d'énergie primaire du secteur des entreprises privées non agricoles une fonction de la variable dépendante affectée d'un retard, du niveau "désiré" de la demande d'énergie et du taux effectif d'utilisation de la capacité. On obtient un effet important de l'utilisation de la capacité dans le cas du Japon, de la France et du Royaume-Uni et un effet plus faible pour les Etats-Unis et l'Allemagne (Tableau 14). Dans l'ensemble, ces résultats sont en accord avec ceux de l'équation 6 du Tableau 13, ce qui donne à penser que la "pression de la demande" intervient comme déterminant de la demande d'énergie et que l'élasticité à court terme s'écarte de l'élasticité à long terme, quoique de façon variable d'un pays à l'autre.

En résumé, on constate que l'élasticité à court terme de la demande industrielle d'énergie par rapport à la production est inférieure à un, ce qui s'explique dans une large mesure du fait que certains éléments de la demande d'énergie entrent dans les frais fixes. Les résultats de l'analyse empirique donnent donc à penser que le rapport entre la demande d'énergie et la production varie de manière anti-cyclique, augmentant lors d'une récession et diminuant lors d'une expansion de l'économie.

Au cours de la récession actuelle, on a vu se produire une chute beaucoup plus forte qu'on ne l'attendait de la demande de pétrole et d'énergie. Cette évolution est due pour l'essentiel à la croissance économique négative du premier semestre de 1982, ainsi qu'à l'augmentation de l'élasticité-prix de la demande d'énergie. Mais il se peut aussi qu'aient été à l'oeuvre d'autres facteurs, qui pourraient s'inverser lors de la reprise de la croissance. Il est concevable que d'importantes mesures temporaires d'économie d'énergie soient intervenues par suite de la durée exceptionnelle de la récession et du niveau élevé des taux d'intérêt ("tour de vis induit par la récession"). Il se peut que les agents économiques aient réduit leur consommation d'énergie par rapport à leur revenu réel pour pouvoir financer des dépenses irréversibles (telles que l'amortissement de leur dette). Lors d'une expansion de l'économie, les utilisateurs d'énergie pourraient donc employer davantage les équipements qui consomment de l'énergie, ce qui provoquerait, contrairement aux résultats empiriques évoqués plus haut, une hausse de la demande d'énergie et de pétrole par rapport au PIB réel, même sans changement du prix réel de l'énergie.

Tableau 13

Demande d'énergie finale de l'industrie : élasticité par rapport au prix et à la production

	Production industrielle					Somme des coefficients affectés d'un retard	Utilisation de la capacité	Demande d'énergie finale	Prix		R ²	DW
	Constante	t	t-1	t-2	t-3				t	Somme des coefficients affectés d'un retard		
Etats-Unis												
1. 1961-79	0,02*	0,76						0,21*	-0,22		0,96	2,10
2. 1967-78	1,15*	0,77					-0,25*		-0,24		0,71	1,80
3. "	-0,90*	0,69					-0,20*			-0,30	0,78	1,90
4. "	2,00	0,43	0,22			0,65	0,44*			-0,28	0,67	1,83
5. "	-2,88	0,34	0,22	0,11		0,67	0,64			-0,29	0,68	1,78
6. "	3,50	0,29	0,22	0,15	0,07	0,74	0,78			-0,32	0,73	1,91
Japon												
1. 1961-79	0,04	0,84						0,14*	-0,08		0,99	1,37
2. 1967-78	0,91*	0,93					-0,19*		-0,06*		0,98	1,42
3. "	0,52*	0,94					-0,11*			-0,09*	0,99	1,53
4. "	-0,99*	0,50	0,30			0,80	0,23*			-0,03*	0,97	2,14
5. "	-2,25*	0,43	0,29	0,14		0,87	0,51*			-0,03	0,97	2,29
6. "	-3,20	0,34	0,26	0,17	0,09	0,86	0,73			-0,02*	0,98	2,40
Allemagne												
1. 1961-79	0,03*	0,54						0,41	-0,27		0,97	2,01
2. 1967-78	2,47*	0,75					-0,54*		-0,38		0,86	2,06
3. "	0,31*	0,71					-0,07			-0,50	0,95	2,36
4. "	-0,88*	0,45	0,23			0,67	0,19*			-0,47	0,92	2,27
5. "	-1,86*	0,33	0,22	0,11		0,67	0,41*			-0,47	0,92	2,10
6. "	-2,49	0,27	0,21	0,14	0,06	0,68	0,55			-0,49	0,93	2,11
France												
1. 1961-79	0,07	0,64						0,35*	-0,18		0,94	1,51
2. 1967-78	-11,2	0,36					2,47		-0,19*		0,77	1,55
3. "	-9,3*	0,44					2,05*			0,14*	0,76	1,55
4. "	-10,6	0,29	0,15			0,44	2,33			0,17*	0,76	1,53
5. "	-11,5	0,22	0,14	0,07		0,43	2,53			0,17*	0,76	1,52
6. "	-11,9	0,17	0,13	0,09	0,04	0,43	2,64			0,18*	0,76	1,53
Royaume-Uni												
1. 1961-79	-0,04	0,50						0,06*	-0,27		0,90	1,80
2. 1967-76	-0,65	0,80					0,14*		-0,31		0,85	1,70
3. "	-2,74	0,95					0,61			-0,49	0,95	2,20
4. "	-3,79	0,68	0,34			1,02	0,85			-0,47	0,91	2,12
5. "	-4,85	0,56	0,37	0,19		1,11	1,09			-0,47	0,89	2,13
6. "	-5,60	0,48	0,36	0,24	0,12	1,20	1,26			-0,49	0,90	2,10
Canada												
1. 1961-79	0,16	0,59						0,35	-0,08		0,99	2,0
2. 1967-78	4,09	1,07					-0,91		0,18		0,99	2,4
3. "	1,82*	0,99					-0,41*			-0,21	0,99	2,6
4. "	-1,22*	0,63	0,31			0,94	0,28*			-0,14	0,99	2,6
5. "	-3,20	0,46	0,30	0,15		0,91	0,72			-0,10*	0,99	2,7
6. "	-4,30	0,36	0,27	0,18	0,09	0,89	0,97			-0,10*	0,99	2,7

Note : un astérisque indique que le coefficient "t" est inférieur à 2. Les régressions sont établies à partir d'observations annuelles. Les mesures du taux d'utilisation de la capacité proviennent d'études récentes effectuées par le Secrétariat au sujet du potentiel de production du secteur des entreprises privées non agricoles.

Tableau 14

Elasticité de la demande d'énergie primaire des entreprises privées non agricoles (a)
(1967-1978)

	Demande d'énergie primaire	Niveau "désiré" de la demande d'énergie primaire	Utilisation de la capacité	R ²	DW	Données
Etats-Unis	0,79	0,07*	1,57	0,95	2,19	Trimestrielles
Japon	0,47	0,18*	2,20	0,89	1,33	Semestrielles
Allemagne	0,24	-0,01*	1,35	0,98	1,13	Semestrielles
France	0,45	0,05	2,01	0,98	1,08	Semestrielles
Royaume-Uni	0,65	0,21*	1,81	0,71	2,54	Trimestrielles

(a) Equation : $\log EN_t = \lambda \log EN_{t-1} + (1 - \lambda) (a + \log EN^*) + b \log (GAP)$

lorsque EN = demande d'énergie primaire

EN* = demande d'énergie primaire correspondant à l'utilisation
complète de la capacité

GAP = taux d'utilisation effectif de la capacité.

Note : un astérisque indique que le coefficient "t" est inférieur à 2.

D'un autre côté, on peut soutenir le point de vue opposé, à savoir que la demande de pétrole et d'énergie pourrait augmenter moins que la production lorsque celle-ci reprendra sa croissance, cette baisse relative tenant à des facteurs spéciaux qui viendraient s'ajouter au caractère en partie fixe de la demande d'énergie. Il est probable qu'il est moins difficile de réaliser des investissements visant à économiser l'énergie lorsque la demande globale est forte que lorsqu'elle est faible (retard cyclique des investissements consacrés à la demande d'énergie). Par voie de conséquence, l'orientation favorable aux équipements plus efficaces quant à leur consommation de pétrole et d'énergie devrait tendre à s'accélérer après la fin de la récession, surtout lorsque les taux d'intérêt réels commenceront à baisser plus fortement. Malheureusement, le passé ne permet guère de choisir entre ces hypothèses opposées, ce qui souligne le degré d'incertitude inhabituel qui entoure l'évolution de la demande de pétrole et d'énergie au cours des deux ou trois années à venir et nous met en garde contre une utilisation mécanique des élasticités de la demande d'énergie.

V. Conclusions

Lorsque l'on estime l'élasticité de la demande d'énergie en vue de s'en servir pour l'établissement de prévisions ou de scénarios, il convient de tenir compte de plusieurs facteurs :

- (i) vu la fragilité du marché pétrolier international (où des variations mêmes faibles de l'approvisionnement sont susceptibles d'entraîner de violents mouvements de prix) il est impératif d'être prudent dans le maniement de l'élasticité de la demande. Les pénalités résultant d'erreurs de prévision sont probablement très asymétriques. Un optimisme injustifié en matière d'élasticité-prix risque de conduire à sous-estimer la nécessité de maintenir une politique ferme de l'énergie, ce qui exposerait les pays non producteurs de pétrole au danger de nouveaux chocs pétroliers ;
- (ii) les coefficients calculés empiriquement au titre du prix et du revenu le sont à partir de périodes passées qui risquent de différer, peut-être de manière fondamentale, de ce qui se passera sans doute sur la scène énergétique à moyen et à plus long terme. Les estimations tirées de séries chronologiques subissent fortement l'influence des mouvements du prix réel de l'énergie, qui connaissait jusqu'en 1973 une baisse persistante. Quant aux estimations qui se fondent sur la période postérieure à 1973, en combinant séries chronologiques et données transversales par pays, il se peut qu'elles n'appréhendent pas encore l'effet, qui pourrait se révéler important, exercé sur la demande d'énergie par l'anticipation d'un prix réel de l'énergie élevé et éventuellement en hausse ;

- (iii) on a quelques raisons de penser que l'estimation de l'élasticité à long terme par rapport au prix dépend, entre autres facteurs, du niveau du prix de l'énergie, et éventuellement de son taux d'augmentation ;
- (iv) les investissements afférents à la demande d'énergie, et par suite la réaction de la demande d'énergie aux variations de prix, subissent fortement l'influence des anticipations à moyen et plus long terme quant au prix réel de l'énergie. L'attente d'un prix élevé et éventuellement en hausse incite fortement à s'orienter vers des modes de production utilisant l'énergie de manière plus efficiente et à s'écarter des consommations à forte intensité énergétique. En revanche, de fortes oscillations des prix autour d'un trend généralement considéré comme indéterminé retardent inévitablement les investissements consacrés à la demande d'énergie, ce qui affaiblit la réaction de cette dernière aux hausses de prix antérieures.
- (v) l'élasticité-prix à court terme donne lieu à des marges d'incertitude particulièrement importantes. Il se peut que depuis le premier choc pétrolier les possibilités de réaliser à court terme des économies "faciles" d'énergie se soient restreintes, encore que l'évolution intervenue depuis le second choc pétrolier ne semble pas corroborer ce point de vue ;
- (vi) dans l'interprétation des élasticités-prix calculées de manière empirique, on est en outre gêné du fait que la durée de l'ajustement et l'allure de celui-ci au cours de cette période diffèrent d'un pays à l'autre, et d'un secteur à l'autre au sein du même pays. Dans des conditions idéales, il conviendrait de rendre les retards endogènes en se fondant sur les coûts d'adaptation, tant internes qu'externes qui interviennent lors de la mise en place d'équipements utilisant l'énergie de manière plus efficiente.
- (vii) Il convient de même d'être très prudent dans l'emploi d'élasticités-revenu calculées empiriquement aux fins de la prévision ou de l'établissement de scénarios. Les résultats des analyses empiriques donnent à penser que l'élasticité à court terme est inférieure à un et l'élasticité à long terme de l'ordre de un, la différence correspondant sans doute au caractère fixe d'une partie de la demande d'énergie. Toutefois, il se peut qu'au cours de la récession actuelle des facteurs spéciaux aient tendu à comprimer artificiellement la demande d'énergie. L'un de ces facteurs pourrait être représenté par

des économies temporaires d'énergie (tour de vis induit par la récession), ce qui laisse prévoir une augmentation relativement forte de la demande d'énergie lors de la reprise de la croissance économique. D'un autre côté, il convient de mettre en balance l'utilisation étonnamment faible des équipements actuels (consommateurs d'énergie) avec la mise en place de nouveaux équipements (utilisant l'énergie de façon plus efficace), processus qui sera sans doute plus important au cours d'une expansion de l'économie qu'au cours d'une récession. A l'heure actuelle, toute projection de la demande à court ou à moyen terme est donc frappée d'une incertitude plus grande que de coutume.

En ce qui concerne l'élasticité de substitution entre facteurs, les résultats les plus fréquents des analyses empiriques conduisent à considérer l'énergie et la main-d'oeuvre et le capital comme des substituts. On obtient ces résultats aussi bien pour l'ensemble de l'industrie que pour les branches d'industrie. De ce fait, une hausse du prix de l'énergie réduit la demande globale d'énergie de l'industrie, tant par une évolution de la demande au détriment des produits à forte intensité énergétique que par une modification des proportions factorielles au niveau des branches.

En ce qui concerne l'interaction de l'énergie et du capital, les résultats empiriques restent ambigus, encore que les analyses les plus récentes, s'appuyant sur des séries chronologiques, ne confirment pas la forte complémentarité antérieurement constatée. Certaines études empiriques effectuées à partir de ces données vont même jusqu'à faire de l'énergie et du capital des substituts au niveau de l'industrie et de ses sous-secteurs (quel que soit le niveau de l'intensité énergétique de la production). Cette évolution a donc atténué la dichotomie entre résultats tirés de séries chronologiques et résultats de données transversales par pays, convergence qui s'explique en partie sur le recours à des données plus récentes et plus raffinées.

Il se peut que l'estimation de l'élasticité de substitution entre facteurs subisse de nouvelles révisions lorsque l'on intégrera dans la période d'observation les données de 1979-81. Ces données concernent une période où les agents économiques ont pris leurs décisions dans le cadre d'anticipations de prix qui différaient fondamentalement de celles qui étaient en vigueur après le premier choc pétrolier. Si les nouvelles estimations effectuées à partir de ces données confirment l'impression que l'énergie et le capital sont faiblement ou fortement substituables (et non pas fortement complémentaires), les craintes antérieurement exprimées quant à une forte baisse de la demande de biens d'équipement se révéleraient sans fondement. Néanmoins, le potentiel de croissance peut se trouver diminué malgré les possibilités de

substitution entre l'énergie et le capital, effet lié à un ralentissement de la croissance de la productivité globale des facteurs, que l'on a observé au niveau des secteurs (Jorgenson (44), Rao (28)).

En ce qui concerne l'élasticité de substitution entre combustibles, elle est en général supérieure à l'élasticité de substitution entre facteurs, ce qui indique qu'il existe de larges possibilités d'interaction entre combustibles, notamment entre le charbon, le gaz naturel et le pétrole. Vu la spécificité de son emploi, il apparaît que l'électricité a une élasticité-prix directe relativement faible. On observe les mêmes résultats dans les branches à forte intensité énergétique. Bien entendu, l'élasticité de substitution entre combustibles est faussée par l'existence de réglementations et de contrôles des prix. Il convient donc d'utiliser les méthodes de travail de l'ingénieur pour vérifier la possibilité de réalisation technique des conclusions tirées d'estimations économétriques.

ANNEXE

TROIS APPROCHES ECONOMETRIQUES DE LA CONSTRUCTION
D'UN MODELE (a)

Dans la construction de modèles économétriques de la demande d'énergie, on a pu distinguer trois méthodes d'approche (Berndt, Morrison et Watkins (24)) :

- (i) les modèles à équation unique utilisant l'ajustement partiel de Koyck ou la méthode Almon de distribution des retards ("modèles de première génération") ;
- (ii) les modèles incorporant la demande interconnectée de facteurs dans les réactions à court terme de la demande des entreprises ("modèles de deuxième génération") ;
- (iii) les modèles plus élaborés dits de "troisième génération", où la rapidité et l'allure de l'ajustement des facteurs quasi-fixes à leur niveau d'équilibre à long terme sont endogènes et variables dans le temps, et non pas fixes. Ces modèles se fondent sur une optimisation dynamique et fournissent des mesures de l'élasticité-prix à court, moyen et long terme.

La principale difficulté à laquelle donnent lieu les modèles à équation unique est qu'ils négligent les interactions entre l'énergie et les autres facteurs de production, qu'ils se fondent sur une approche statique à long terme et une distribution des retards ad hoc (imposée de l'extérieur) et qu'ils aboutissent parfois à attribuer au prix un coefficient trop élevé pour être réaliste.

(a) Parmi les méthodes non économétriques de construction de modèles, on peut citer :

- (i) les modèles d'ingénierie ou de processus, qui portent essentiellement sur l'analyse de la production de combustibles, sur les économies potentielles d'énergie déterminées du point de vue technique et sur les innovations technologiques. On trouve parfois cette approche combinée à la méthode économétrique ;
- (ii) les modèles de dynamique des systèmes, utilisés essentiellement pour l'analyse des coûts et des avantages énergétiques. Cette méthode sert à l'examen des rapports entre l'énergie et les activités socio-économiques.

Les trois approches que l'on évoquera ci-après traitent la demande d'énergie en tant que bien intermédiaire.

Le deuxième ensemble de modèles engendre des équations de demande à court terme pour des facteurs de production variables à partir de la minimisation statique d'une fonction restreinte des coûts variables, et établit un rapport entre le déséquilibre observé sur le marché d'un facteur et le degré de déséquilibre qui règne sur celui des autres. Ces modèles n'envisagent pas les coûts d'ajustement internes (condition nécessaire de la détermination rigoureuse d'élasticité-prix à court, moyen et long terme), mais constituent bel et bien un cadre raisonnable pour la détermination d'élasticités de substitution à long terme.

Les modèles de "troisième génération" admettent l'existence de contraintes d'ajustement s'exerçant dans un cadre dynamique, compte tenu des coûts d'ajustement internes qui résultent d'une modification des prix de facteurs relatifs. A court terme, la demande de facteurs variables dépend des prix, des stocks de facteurs quasi-fixes et de la production, la demande d'énergie étant déterminée par le prix de l'énergie, le stock de capital en place au début de l'année et la production effective. Dans ce cadre, le rapport entre l'énergie et le capital (rapport E/K) est endogène et représente une mesure du taux d'utilisation à court terme de la capacité. La progression vers l'équilibre à long terme se fonde sur une optimisation économique continue (ajustement dynamique), la rapidité et l'allure de l'ajustement des facteurs quasi-fixes étant déterminées par un comportement qui tend à minimiser les coûts. Cette méthode fournit des élasticités à court, moyen et long terme bien définies. Toutefois, son défaut principal est qu'elle réduit le nombre de degrés de liberté, ce qui accroît l'écart-type des paramètres estimés. En outre, on ne sait guère si les entreprises se conforment réellement aux méthodes évoquées ci-dessus.

Bibliographie

- (1) OCDE, Perspectives économiques, No. 28, décembre 1980, p. 52.
- (2) United Kingdom Department of Energy, Report of the Working Group on Energy Elasticities, Energy Paper No. 17, 1977.
- (3) Energy Modelling Forum, Aggregate Elasticity of Energy Demand, Volume 1, Stanford University, août 1980.
- (4) Lau, L.J., "A Note of Exact Index Numbers", Department of Economics, Stanford University, Stanford, California, mars 1977.
- (5) Lau, L.J., "Existence Conditions for Aggregate Demand Functions", Technical Report No. 248, Institute for Mathematical Studies in the Social Sciences, Stanford University, Stanford, California (révision de février 1980).
- (6) Resources for the Future, Analysis of Dynamic Aspects of International Energy Relationships, draft report, mai 1979.
- (7) Gorbet, F.W., Energy Demand Projection for Canada: An Integrated Approach, paper presented at the 104th AIME Annual Meeting held on 16th-20th February, 1975, New York.
- (8) Taux de conversion équiementés à: International Institute for Applied System Analysis, Proceedings of the Workshop on Energy Demand, Nordhaus, W.D., editor, (Laxenburg, Autriche, 1975, p. 527, ayant comme source Hottel, H.C., et Howard, J.B., New Energy Technology: Some Facts and Assessments (Cambridge, Mass., MIT Press, 1971).
- (9) Baughman, M. et Jaskow, P., "The Effects of Fuel Prices on Residential Appliances Choice in the United States", Land Economics, 50, No. 1, février 1974.
- (10) Fuss, M. et Waverman, L., "Residential Commercial and Industrial Demand for Energy in Canada: Projections to 1985 with Duree Alternative Models", in Nordhaus, W.D., Proceedings of the Workshop on Energy Demand.
- (11) Pindyck, R.S., The Structure of World Energy Demand, the MIT Press, Cambridge (Mass.) et Londres (Angleterre), 1979.
- (12) Hall, V., "The Formulation and Econometric Estimation of Interfuel Substitution Models and Elasticities" (rapport non publié d'un consultant de l'OCDE), juillet 1981.

- (13) Denny, M., Fuss, M., et Waverman, L., "The Substitution Possibilities for Energy: Evidence from U.S. and Canadian Manufacturing Industries", National Science Foundation Conference on the Economics of Substitution with Special Reference to Natural Resources, Key Biscane, Florida, décembre 1980.
- (14) Fuss, M.A., "The Demand for Energy in Canadian Manufacturing", Journal of Econometrics, 1977.
- (15) Sahi, R.K. et Erdman, R.W., "A Policy Model of Canadian Interfuel Substitution", paper presented at the Canadian Energy Policy Modelling Conference in Vancouver, mai 1978.
- (16) Mittelstädt, A. et Hall, V., "Price and Income Elasticities of Final Energy Demand in OECD Countries", paper presented at the third Annual IAEE Conference on International Energy Issues, University of Toronto, Toronto, Ontario, juin 1981.
- (17) Griffin, J.M. et Gregory, P.R., "An Intercountry Translog Model of Energy Substitution Responses", the American Economic Review, décembre 1976.
- (18) Ceriani, B., "Substitution of Factor Inputs in the United Kingdom, Germany and Italy", Energy Research Group, Cavendish Laboratory, Cambridge, England, 1981.
- (19) Nordhaus, W.D., "Oil and Economic Performance in Industrial Countries", Brookings Papers on Economic Activity, No. 2, 1980.
- (20) Berndt, E.R., et Wood, D.O., "Technology, Prices and the Derived Demand for Energy", Review of Economics and Statistics, août 1975.
- (21) Berndt, E.R., Hirsch, R.B., et Wood, D.O., "An Intercountry Translog Model of Energy Substitution Responses: Comment", Energy Laboratory Working Paper, No. MIT-EL 81-039 WP, juin 1981
- (22) Hogan, W.W., et Manne, A.S., "Energy Economy Interactions: the Fable of the Elephant and the Rabbit?" Working Paper EMF No. 13, Energy Modelling Forum, Stanford University, 1977.
- (23) Secrétariat de l'OCDE, "Substitution entre facteurs et croissance potentielle de la production", Réunion spéciale d'experts gouvernementaux sur les interrelations entre les politiques énergétiques et les politiques et performances économiques, Paris, Avril 1981.

- (24) Berndt, E.R., Morrison, C.J. et Watkins, G.C., "Dynamic Models of Energy Demand: An Assessment and Comparison", University of British Columbia, Resources Paper No. 49, février 1980.
- (25) Berndt, E.R., Fuss, M.A., et Waverman, L., "A Dynamic Model of Costs of Adjustment and Interrelated Factor Demands, with an Empirical Application to Energy Demand in U.S. Manufacturing", Discussion Paper No. 79-30, Department of Economics, University of British Columbia, août 1979.
- (26) Katsumura, Y., et Arai, H., "Energy Conservation in Japanese Industries", Economic Planning Agency, (projet de document interne), Tokyo, mars 1981.
- (27) INSEE, "Estimation de fonction de production avec facteur énergie: premiers résultats", (document interne), Paris, août 1980.
- (28) Rao, P.S., "Factor Prices and Labour Productivity", a paper prepared for the Economic Council of Canada, Discussion Paper 194, mars 1981.
- (29) Cameron, T.A., et Schwartz, S.L., "Sectoral Energy Demand in Canadian Manufacturing Industries", (projet non publié), 1980.
- (30) McRae, R.N., "Regional Demand for Energy by Canadian Manufacturing Industries", Canadian Energy Research Institute, Working Paper 78-7.
- (31) Denny, M., May, J.D., et Pinto, C., "The Demand for Energy in Canadian Manufacturing: Prologue to an Energy Policy", Canadian Journal of Economics, 1980.
- (32) Ozatalay, S., Grubaugh, S., et Veach Long II, T., "Energy Substitution and National Energy Policy", American Economic Association, mai 1979.
- (33) Hudson, E.A., et Jorgensen, D.W., "Energy Policy and U.S. Economic Growth", American Economic Review, mai 1978.
- (34) Hudson, E.A. et Jorgensen, D.W., "Energy Policy and United States Economic Growth - A Dynamic General Equilibrium Model of the United States and its Application", Seventh International Conference on Input-Output Techniques, Innsbruck, Autriche, avril 1979.
- (35) Turnovsky, M., Folie, M., et Ulph, A., "Factor Substitutability in Australian Manufacturing with Emphasis on Energy Inputs", the Economic Record, mars 1982.

- (36) Yergin, D., "Crisis and Adjustment: An Overview", in *Global Insecurity, A Strategy for Energy and Economic Renewal*, edited by Yergin, D., and Hillenbrand, M., Boston 1982.
- (37) Houthakker, H.S., et Taylor, L.D., "Consumer Demand in the United States", 2nd edition, Harvard University Press, Cambridge, Mass.
- (38) Philips, L., "A Dynamic Version of the Linear Expenditure Model", Review of Economics and Statistics, 54, novembre.
- (39) S.B. Wildhorn, B.K. Burrigh, B.K. Ennis et T.F. Kirkwood, "How to Save Gasoline: Public Policy Alternatives for the Automobile", Rand Corporation, Santa Monica, California, octobre 1974.
- (40) Federal Energy Administration (FEA), 1976 National Energy Outlook, Washington D.C., 1976.
- (41) Congressional Budget Office (CBO), "Preliminary Projections of Fuel Savings and Revenues Associated with Increased Taxes on Motor Fuels", Technical Note, décembre 1979.
- (42) Sweeny, J.L., "Passenger Car Gasoline Demand Models", Terman Engineering Center, Stanford University, Stanford, California, novembre 1979 (projet non publié).
- (43) Kouris, G., "Elasticities - Science of Fiction?", *Energy Economics*, Vol. 3, No. 2, avril 1981.
- (44) Jorgensen, D.W., "Energy Prices and Productivity Growth", *Scandinavian Journal of Economics*, 1981.
- (45) International Energy Agency, *World Energy Outlook*, Paris 1982.