



CEPII

**CENTRE
D'ÉTUDES PROSPECTIVES
ET D'INFORMATIONS
INTERNATIONALES**

No 1998 – 08
Septembre

Évolution sur longue période de l'intensité énergétique

Pierre Villa

TABLE DES MATIERES

| | |
|---|----|
| Summary | 5 |
| Résumé | 6 |
| Première partie – Problématique de la demande globale d'énergie dans les pays développés | 7 |
| I. Introduction | 7 |
| 1. Revue rapide des problèmes à travers les études descriptives de longue période | 8 |
| 1.1 Les études historiques : le démarrage, le plafond, la redescende | 8 |
| 1.2 Les études descriptives sur l'après-guerre | 11 |
| 1.3 De l'analyse descriptive à la modélisation | 16 |
| II. Les modèles MEGC | 16 |
| III. Les méthodes génériques de prévision de l'intensité énergétique à long terme | 18 |
| 3.1. L'estimation de la tendance par une logique | 18 |
| 3.2. Les modèles d'apprentissage (Furtado et Suslick) | 19 |
| 3.3. Les modèles trans-log (Furtado et Suslick) | 21 |
| IV. Les modèles économétriques | 23 |
| 4.1. La consommation des ménages : le modèle de Houthakker et Taylor | 23 |
| 4.2. Les modèles avec anticipations de prix | 26 |
| V. Conclusion | 30 |
| Annexe 1..... | 32 |
| Annexe 2..... | 33 |
| Annexe 3..... | 34 |
| Annexe 4..... | 36 |
| Deuxième partie – Estimation d'une fonction de demande agrégée d'énergie pour la France sur longue période | 40 |
| 1. Introduction | 40 |
| 2. Spécification de l'équation | 40 |
| 2.1. Remarques introductives | 40 |
| 2.2. Le modèle général proposé | 41 |

| | |
|---|----|
| 3. L'estimation de la demande d'énergie avant la seconde guerre mondiale | 44 |
| 3.1. L'estimation par les méthodes traditionnelles..... | 44 |
| 3.2. L'estimation par la cointégration..... | 44 |
| 4. L'estimation de la demande d'énergie après la seconde guerre mondiale | 47 |
| 4.1. Les estimations par les méthodes traditionnelles..... | 47 |
| 4.2. Les estimations par la cointégration | 49 |
| 4.3. Discussion sur le choix des variables explicatives..... | 51 |
| 4.3.1 L'influence du coût d'usage du capital | 51 |
| 4.3.2. L'effet de rigueur climatique | 52 |
| 4.3.3. La stabilité temporelle de l'estimation de la demande d'énergie | 53 |
| 5. Conclusion | 54 |
| Annexe 1 | 55 |
| Annexe 2 | 57 |
| Annexe 3 | 59 |
| Annexe 4 | 60 |
| Bibliographie | 65 |
| Liste des documents de travail du CEPII | 68 |

SUMMARY

According to historical studies the average intensity of energy usage decreased along the century in developed countries after a maximum. The curve of these maxima is the « real » curve of the world technical progress. After these maxima the decrease of the intensity of energy use expresses the trend of the technical progress. Undeveloped countries have not reached this maximum yet.

The intensity of energy use is a decreasing function of the relative price of energy according to the CPI for the households energy demand and according to the GDP price level for the firms one. Households demand depends on real wealth per capita and firms demand on the level of GDP. It depends also on technical progress and activity effects as specialization in sectors more or less energy consuming and as the share between final demand and intermediate consumption. The ratio of intermediate consumption of energy/investment is related to the relative user cost of energy to capital.

Literature on the subject is surveyed and estimates on French data are given. Indices of price and quantity of primary energy consumption and of the average energy activity effect are computed. The later is a weighted average of sectoral intensities of energy usage. Weights are shares of sectoral value added.

Estimates are done with these indices. Error correction model techniques are used to distinguish between short and long term effects.

The relative cost of energy to capital is not significant. Expectations of the change of the energy price are too changing over time according to the life duration of equipments.

Before as after World War II the elasticity of energy demand according to income is about 1.2-1.3. The elasticity according to relative prices is about -0.1. The activity effect is significant before 1938, but not after 1949, because production and energy resources diversified. Since World War II the trend of technical progress is about 1.0. These robust estimates over a long period of time are relevant to discuss long term energy saving.

Keywords : Intensity of (primary) energy usage, activity effect, intensity effect, relative user cost of energy to capital, error correction model.

JEL classification numbers : C8, N7, Q4.

RÉSUMÉ

Selon les études historiques les pays industrialisés ont connu une baisse séculaire de l'intensité énergétique après avoir connu un maximum. Une ligne reliant ces maxima représente ainsi la « vraie » courbe de progrès technique au niveau mondial. Après ces sommets, le progrès technique l'emporte sur les révolutions industrielles et la baisse de l'intensité énergétique exprime la tendance du progrès technique : les pays en développement n'ont pas encore atteint le maximum.

L'intensité énergétique est une fonction décroissante du prix relatif de l'énergie par rapport au prix à la consommation si elle provient des ménages ou au prix du PIB si elle provient des entreprises. Pour les ménages, elle est fonction croissante de la richesse réelle par tête et pour les entreprises du PIB en niveau. Elle dépend aussi du progrès technique et d'effets structurels comme le choix de la spécialisation de l'économie dans des secteurs à plus ou moins forte intensité énergétique, ou comme le partage de la demande finale des ménages et de la demande intermédiaire des entreprises : plus riches les ménages se chauffent plus et circulent plus ; et la croissance peut se faire avec un rapport consommations intermédiaires d'énergie/investissement différent selon les paramètres de l'économie comme le coût relatif des facteurs.

Après avoir passé en revue la littérature sur le sujet nous proposons une étude économétrique pour la France. Afin de distinguer l'effet de structure de la tendance du progrès technique nous calculons un indice de structure agrégé. Il est égal à la somme pondérée des intensités énergétiques des branches. Les poids sont les parts de la valeur ajoutée dans la valeur ajoutée totale.

Les tests économétriques utilisent l'intensité en énergie primaire calculée en volume et en valeur sur longue période. La technique des modèles à correction d'erreurs permet de séparer les effets de court et de long terme.

L'effet du coût d'usage relatif de l'énergie par rapport au capital n'est pas significatif sans doute parce que les anticipations de variation du prix de l'énergie variaient trop au cours du temps par rapport à la durée de vie des équipements.

Avant comme après la deuxième guerre mondiale l'élasticité de la demande au revenu sur longue période est de l'ordre de 1,2 à 1,3, alors que l'élasticité négative aux prix relatifs est environ de 0,1. Si l'effet de structure est crucial pour expliquer la demande d'énergie avant 1938, il n'en est pas de même après 1949, en raison sans doute de la diversification des ressources énergétiques et de la diversification de l'appareil industriel. Enfin il est apparu depuis la deuxième guerre mondiale une tendance de progrès technique dans l'utilisation de l'énergie qu'on peut évaluer à 1,0% sur longue période. Dans la perspective d'une discussion sur les économies d'énergie à long terme, les estimations économétriques robustes sur longue période prennent tout leur sens. Une analyse macroéconomique et une méthode de prévision traditionnelles ne sont pas à réfuter même dans un domaine aussi particulier que l'énergie.

Evolution sur longue période de l'intensité énergétique^()*

*Pierre Villa^(**)*

PREMIÈRE PARTIE – PROBLÉMATIQUE DE LA DEMANDE GLOBALE D'ÉNERGIE DANS LES PAYS DÉVELOPPÉS

1. INTRODUCTION

Depuis les deux chocs pétroliers et jusqu'en 1986, la demande d'énergie dans un pays comme la France semble avoir diminué considérablement par rapport à l'évolution du PIB, de la richesse par tête ou même simplement de la production marchande. S'agit-il d'une inflexion de long terme, signifiant que l'évolution de l'économie serait durablement économe en énergie, en raison des progrès techniques dans la production, de la saturation de la demande d'énergie des ménages lorsque le niveau de vie s'élève, ou des retombées des mouvements écologistes qui voient dans l'évolution économique "énergivore" une impasse parce que non extensible à la planète et poussent les gouvernements à prendre des mesures visant à réduire la pollution ou l'effet de serre ? Le point de vue économiste, stricto sensu, défendrait la thèse inverse : les économies d'énergie ne peuvent être réalisées durablement que si son prix relatif augmente, c'est à dire s'il apparaît une rareté durable au niveau mondial. Il ne semble pas que cela soit vrai sur une longue période qui dépasse la durée des deux chocs pétroliers, ni que cela se réalise prochainement, tant il est vrai que la baisse puis la stabilisation des prix du pétrole depuis 1985 et l'abandon récent et relatif des filières nucléaires dans la majorité des pays développés expriment plutôt un excédent de ressources.

* Convention n°96.2.18.09.95 signée entre le Ministère de l'industrie et le CEPII. ** CEPII, 9 rue Georges Pitard, 75015 Paris.

¹ On trouvera dans P. Stevens (1995) une discussion graphique des déterminants de l'offre de pétrole brut. Après avoir rappelé la périodisation habituelle (avant 1960 les prix sont fixés du brut vers le détail par les Majors, de 1960 à 1973 les prix sont fixés de la même manière selon la rente Ricardienne - qualité et géographie (coûts de transport) -, mais les majors ne jouent qu'un rôle directeur; entre 1974 et 1980, les prix sont fixés par les producteurs marginaux et les cours spot (Brent) servent de base aux gouvernements des pays offreurs, après 1980 l'Arabie Saoudite par exemple sert de producteur tampon et fixe les prix pour sauver le cartel d'offre), il montre ensuite que la capacité mondiale depuis 1986 est supérieure à la demande et que celle-ci peut-être satisfaite grâce à la « capacité de base » des producteurs à fortes réserves.

Il ne s'agit pas ici de discuter des potentialités de l'offre, ni de ses déterminants économiques (cartel et limitations volontaires des quantités)¹ mais d'essayer de préciser les déterminants sur longue période de la demande agrégée dans un pays développé comme la France.

I. REVUE RAPIDE DES PROBLÈMES À TRAVERS LES ÉTUDES DESCRIPTIVES DE LONGUE PÉRIODE

1.1. Les études historiques : le démarrage, le plafond, la redescente

Tous les économistes de l'énergie s'accordent à penser que la meilleure mesure de l'évolution de l'efficacité énergétique à long terme d'une économie est le ratio d'intensité énergétique défini par le rapport de la consommation d'énergie en quantité d'un pays sur son PIB mesuré à prix constants. En tout premier lieu, ce ratio présente l'avantage de distinguer les pays pour lesquels la structure de la production et les techniques sont relativement homogènes et stables au cours du temps, et qui présentent une spécialisation géographique liée aux dotations factorielles et de matières premières (par exemple la France a longtemps souffert de son manque de charbon et sa population agricole est restée suffisamment importante pour que les historiens attribuent une permanence et une originalité au contenu énergétique de ses techniques de production). Ce concept possède en outre l'avantage d'être exhaustif car le numérateur est la consommation totale d'énergie primaire mesurée comme une somme pondérée par des coefficients représentant les pouvoirs calorifiques des consommations d'énergie primaire. Toutefois les formes d'usage de l'énergie ont changé au cours du temps (la qualité de la houille constituée de charbon, lignite et coke ou le contenu en carbone du pétrole raffiné varient). Il faut donc, comme en comptabilité nationale pour le calcul du PIB, utiliser une année de base pour convertir les quantités en TEP. D'une manière générale nous prendrons pour les consommations énergétiques les coefficients de conversion utilisés à l'heure actuelle par le Conseil Mondial de l'Énergie (CME ou WEC) ou l'AIE, ou, pour la France, les coefficients d'équivalence retenus par l'Observatoire de l'Énergie. Pour les données de comptabilité nationale, nous utiliserons les bases de prix les plus récentes des pays et les dollars PPA de 1990 pour les comparaisons internationales.²

Malgré les limites associées à la constance des prix relatifs et des taux de conversion des énergies, cet indicateur représente bien la demande d'énergie car il ne dépend pas des techniques de production et de transformation des énergies secondaires qui varient au cours du temps. Il est donc indépendant de l'offre. En revanche, quand il est calculé au niveau global, il suppose que les formes d'énergie sont parfaitement substituables moyennant les coefficients de conversion. Pour tenir compte de l'imparfaite substituabilité, il faudrait soit étudier chaque type d'énergie séparément, soit construire un indicateur agrégé de type Cobb-Douglas ou CES dont les élasticités seraient tout aussi arbitraires dans l'état actuel des connaissances. C'est pourquoi, dans la suite de ce texte, nous utiliserons

² Source Chelem (1997).

d'une manière générale l'intensité énergétique comme indicateur de la demande d'énergie d'une nation, d'une branche ou d'un agent.

Du point de vue descriptif, les grands pays occidentaux³ ont été marqués par une baisse séculaire de l'intensité énergétique comme le montre le graphique 1.8 p.57 du rapport du CME (1993). Toutefois, les pays anglo-saxons, qui ont connu un décollage de la production industrielle plus tôt que les autres, présentent une tendance à la décroissance à partir d'un niveau très élevé d'intensité énergétique. En revanche, les pays dont la révolution industrielle a été plus tardive, ont connu une évolution beaucoup plus plate. D'une manière générale, comme le montre d'ailleurs l'étude de J. M. Martin (1988)⁴, les intensités énergétiques sur longue période peuvent être représentées par une courbe en accent circonflexe avec un méplat depuis le début des années 1950.

L'évolution de l'intensité énergétique du Royaume-Uni est intéressante à cet égard. Après une croissance de 1850 à 1880 associée à la disparition des formes d'énergie non marchandes (bois, énergies éolienne et hydraulique), à la substitution de la houille au bois, au développement de la sidérurgie et à l'utilisation de la vapeur dans les industries textiles, elle diminue à partir de 1880 jusqu'en 1910, se stabilise jusqu'en 1920, recommence à décroître jusqu'en 1950, se stabilise depuis 1950 jusqu'au premier choc pétrolier, pour finalement décroître fortement dans la période récente. Humphrey et Stanislaw (1979) attribuent la chute brutale de l'intensité énergétique à partir de 1880 à la hausse du prix relatif du charbon par rapport au bois⁵ qui aurait provoqué une restructuration de l'industrie anglaise (baisse de la part de l'industrie de l'acier) et une amélioration des techniques de production de la fonte et de l'acier⁶. Ils expliquent ensuite la baisse de l'intensité énergétique au cours de l'entre deux guerres par le développement des industries peu consommatrices d'énergie et par la dépression : les périodes de faible activité seraient caractérisées par le développement de techniques économes en énergie et par l'utilisation

³ Etats-Unis, Royaume-Uni, France, Allemagne, Japon.

⁴ Cette étude est reprise par le rapport du CME et tient compte de la consommation (marchande) de bois de chauffage (voir tableau page 13 et graphiques).

⁵ Ce point de vue est aussi soutenu par Markovitch (1966) qui calcule des séries de prix relatif de la houille et du bois (p. 58-59, série AF). A titre d'exemple, le prix relatif de la houille serait passé en France de 17,9 dans la décennie 1865-1874 à 26,7 et 25,6 dans les décennies 1875-1884 et 1885-1894.

⁶ Mais en Europe la diffusion au début du siècle des procédés Bessemer et Thomas-Gilchrist n'est peut-être pas un pur phénomène de prix relatif. De même en France, le développement de l'acier Martin est lié à la qualité phosphoreuse des minerais de Lorraine. La causalité des prix relatif à la technique n'est pas prouvée.

des équipements les moins énergivores⁷. De même, ils attribuent la chute de l'intensité énergétique depuis 1974 à la hausse du prix du pétrole et à la récession⁸. Par contre au cours des années 1960 et 1970 les prix du pétrole sont

bas; cela provoque la substitution avec la houille. De plus le prix de l'énergie est bas de sorte que la tendance à la baisse de l'intensité énergétique disparaît jusqu'en 1975.

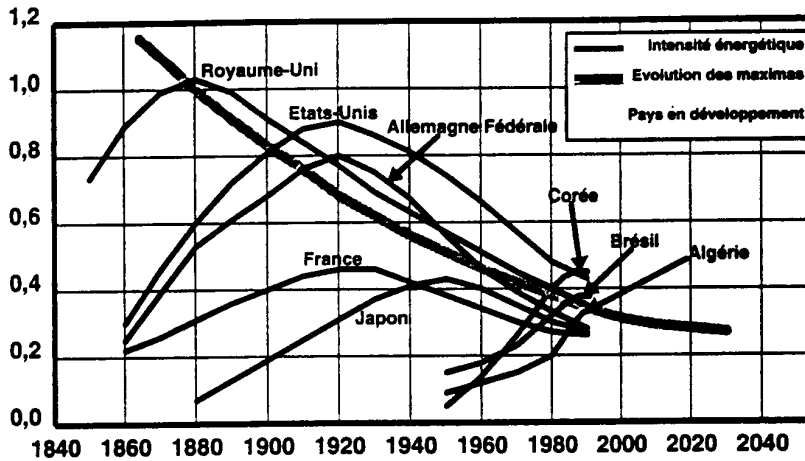
En revanche, les Etats-Unis auraient connu une baisse de l'intensité énergétique sur tous le XIXème siècle parce que le bois, qui était fortement utilisé dans les transports et la sidérurgie, était dès le début un produit marchand. Après la disparition du bois, l'intensité énergétique y a crû avec la diffusion du procédé Bessemer jusqu'au maximum de 1920.

D'une manière générale les pays industrialisés ont connu au XXème siècle un plafond de l'intensité énergétique moyenne que les économistes historiens attribuent plus au progrès technique et aux substitutions d'énergies qu'aux déterminants économiques comme la richesse (PIB par tête), les prix relatifs ou la conjoncture : montée au cours du développement de la part des énergies marchandes qui sont mesurées, plus ou moins grande précocité de l'industrialisation (un pays bénéficie des progrès techniques des pays à industrialisation ancienne). Ainsi le maximum d'intensité énergétique est d'autant plus tardif que le démarrage a été récent : il est daté de 1920 pour les Etats-Unis, la France et l'Allemagne (électrification) et de 1950 pour le Japon (usage prolongé du bois). Ce maximum correspond donc, dans chaque pays, au moment où les effets de montée en régime (disparition des énergies non marchandes, industrialisation) sont épuisés et où apparaît la tendance du progrès technique dans l'usage de l'énergie. Il semble dépassé pour les pays développés et à venir pour les pays en développement (voir graphique). Une ligne reliant ces maxima représente ainsi la " vraie " courbe de progrès technique au niveau mondial.

⁷ Cependant ils ne démontrent pas leur assertion parce que leur raisonnement ne tient pas compte des prix relatifs; de même, il peut exister des économies d'échelle qui rendent une période de dépression " énergivore " en termes d'intensité énergétique.

⁸ Toutefois leurs résultats sur la période récente paraissent bien brutaux. La chute du PIB se traduit par une baisse de l'intensité énergétique de court terme qui signifierait que dans les périodes de basse conjoncture on utiliserait les équipements les plus économes. Cependant leurs résultats sont accentués par le fait qu'ils utilisent pour indicateur " l'élasticité-croissance " : c'est à dire, le rapport du taux de croissance de la consommation d'énergie sur le taux de croissance du PIB. Ce ratio n'est pas adapté pour l'étude des fluctuations conjoncturelles.

Graphique 1 : Evolution de l'intensité énergétique (Tep/ 1000 US £ de 1980)



Source : Revue de l'énergie IFP/DSEP/1994

1.2. Les études descriptives sur l'après-guerre

Ces études, plus précises et détaillées veulent expliquer les évolutions de moyen terme en les décomposant entre une tendance de longue période analogue à celle qui a été mise en évidence dans les travaux évoqués au cours du paragraphe précédent et des fluctuations de plus court terme ayant des déterminants économiques. La question principale est de savoir si la diminution de l'intensité énergétique moyenne observée dans les pays de l'OCDE entre les deux chocs pétroliers est un phénomène durable ou un intermède entre la stabilisation de l'intensité observée dans les années 1960-1970 et depuis 1990. En d'autres termes, il s'agit de savoir si les économies d'énergie sont dues aux prix relatifs et à la moindre croissance et donc peut-être temporaires ou si elles proviennent du progrès technique et sont définitivement acquises.

Pour cela les études historiques (par exemple, Martin et alii) ou les travaux prospectifs de l'OCDE (par exemple, Schipper et Myers) décomposent l'intensité énergétique moyenne selon des fonctions : agriculture, industrie, transports (activité des branches et fonction de consommation des ménages), résidentiel (chauffage des logements...) et tertiaire (services et commerces). D'une manière générale, l'intensité énergétique est décomposée de la manière suivante :

$$(1) \quad \frac{E}{Y} = \sum_i \frac{E_i}{Y_i} \frac{Y_i}{Y} + \sum_j \frac{E_j}{C} \frac{C}{Y}$$

où : E_i sont les consommations intermédiaires en énergie des branches $[i]$ et E_j les consommations finales des ménages pour la fonction $[j]$ en millions de TEP, tandis que Y_i sont les valeurs ajoutées des branches (en volume : prix constants), Y est le PIB (marchand plus non marchand) et C la consommation marchande totale en volume. Parfois les valeurs ajoutées Y_i ou les consommations E_j sont remplacées par des indicateurs en quantités physiques (on note F les entreprises et M les ménages)⁹.

En différenciant logarithmiquement, on obtient :

$$(2) \quad \frac{dz_F}{z_F} = \sum_i \frac{E_i}{E_F} \frac{dz_i}{z_i} + \sum_i \frac{z_i}{z} dy_i$$

$$(3) \quad \frac{dz_M}{z_M} = \sum_j \frac{E_j}{E_M} \frac{dz_j}{z_j} + \frac{d(C/Y)}{C/Y}$$

$$(4) \quad \frac{dz}{z} = a \frac{dz_F}{z_F} + (1-a) \frac{dz_M}{z_M}$$

$$\text{où : } z_i = \frac{E_i}{Y_i}, \quad z_j = \frac{E_j}{C}, \quad E_F = \sum_i E_i, \quad E_M = \sum_j E_j, \quad E = E_F + E_M,$$

$$y_i = \frac{Y_i}{Y}$$

$$z_F = \frac{E_F}{Y}, \quad z_M = \frac{E_M}{Y} \quad \text{où } Y \text{ est le PIB en volume}$$

$a = E_F / (E_F + E_M)$ est la part de la consommation énergétique des entreprises.

Dans ce système de notations les z représentent les intensités énergétiques et les y les structures de valeur ajoutée.

Le premier terme des équations (2) et (3) représente l'effet de contenu et le second l'effet de structure. L'effet de contenu est une somme pondérée par les consommations énergétiques des variations de l'intensité énergétique des branches pour les entreprises et des contenus énergétiques de la consommation finale pour les ménages. L'effet de structure

⁹ Par exemple, Schipper et Myers utilisent le nombre de personnes-km et de tonnes-km pour les transports et la population pour le logement

dépend de la variation de la structure de valeur ajoutée des entreprises et de la variation de la propension moyenne à consommer des ménages.

Sur la base de cette décomposition Martin et alii obtiennent ainsi pour la France :

Tableau 1 :

Evolution de l'intensité énergétique moyenne de la France de 1973 à 1982

| MTEP/GF1970 | E/Y(%) en 1973 | Effet contenu(%) | Effet structure (%) |
|-----------------------------------|----------------|------------------|---------------------|
| Entreprises | | | |
| Métallurgie | 3.33 | -0.42 | -0.51 |
| Autres industries | 7.33 | -1.11 | -0.14 |
| Tertiaire, transport, agriculture | 6.46 | -0.34 | -0.01 |
| Total entreprises | 17.48 | -1.91 | -0.66 |
| Ménages | | | |
| Logement | 6.90 | -0.72 | 0.38 |
| Transport | 2.85 | -0.29 | 0.15 |
| Total ménages | 9.76 | -1.01 | 0.53 |
| Total (en %) | 26.88 | -2.92 | -0.13 |

Source : Martin et alii (1984). Le transport "entreprises" est la consommation intermédiaire de la branche et le transport "ménages" est la consommation de carburants.

Cette approche statistique se trouve aussi dans Howarth et alii (1993)¹⁰. Comme dans l'étude précédente, ils trouvent que l'effet de structure est faible et l'effet de contenu est élevé. Mais d'une manière générale les auteurs qui veulent distinguer l'effet de structure de l'effet de contenu font leurs calculs à partir d'une année de base de sorte qu'il faut soit ajouter un terme croisé de deuxième ordre, soit attribuer ce terme à l'effet d'intensité ou de structure. Il vaudrait mieux calculer l'effet de structure année par année, comme un indice chaîne (de Laspeyre ou de Paasche), en s'inspirant des formules (1) à (4) (qui fournissent les indices de Divisia correspondants). Ensuite, l'effet d'intensité pourrait être calculé par solde compte tenu de la variation de l'intensité énergétique globale qui est directement observable (voir annexe 4).

Tableau 1 bis :

Effet de structure et d'intensité pour des pays de l'OCDE (en %)

| Pays | USA | Norvège | Danemark | RFA | Japon |
|--------------------|-----|---------|----------|-----|-------|
| Energie/PNB | -23 | -20 | -26 | -17 | -28 |
| PNB | 45 | 71 | 39 | 33 | 77 |
| Effet de structure | 1.0 | -17.0 | -4.3 | 3.0 | -13.6 |

¹⁰ En anglais effet de structure se dit activity effect et effet d'intensité intensity effect.

Evolution sur longue période de l'intensité énergétique

| | | | | | |
|-------------------|-------|----|-------|-------|-------|
| Effet d'intensité | -23.8 | -3 | -22.7 | -19.4 | -16.7 |
|-------------------|-------|----|-------|-------|-------|

Source : Howarth et alii (1993), p. 39, le terme croisé a été affecté à l'effet de structure. Les valeurs sont des moyennes des taux de croissance sur 1973-1988, en pourcentages.

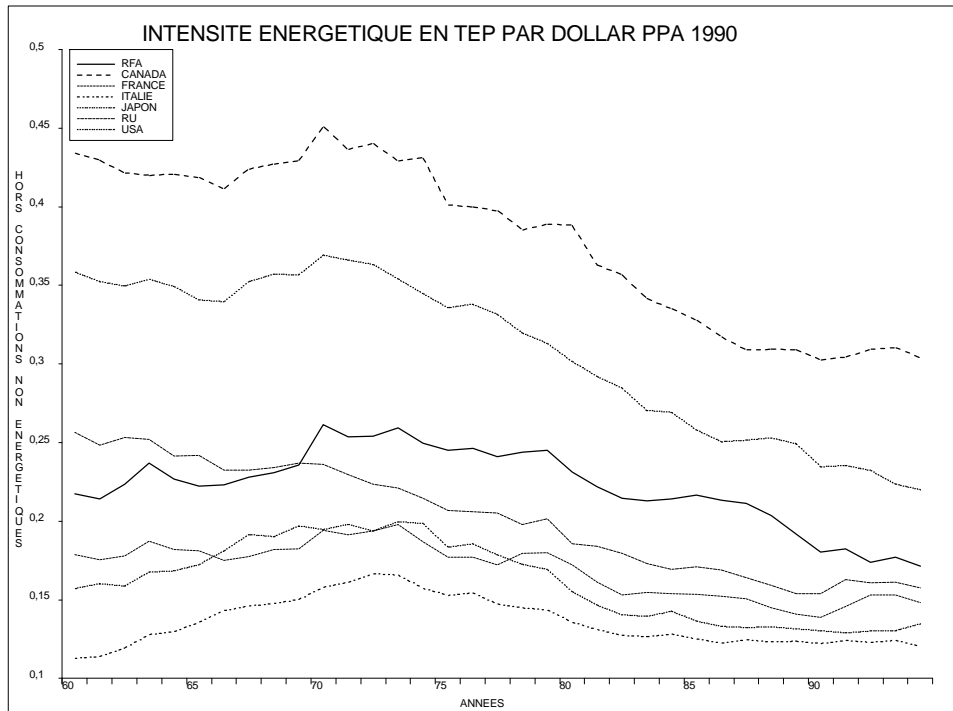
Tableau 2 :

Intensité énergétique des pays de l'OCDE (TEP/dollar ppa 1990)

| Pays | 1960 | 1973 | 1980 | 1986 | 1994 |
|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| RFA | 0.22 | 0.26 | 0.25 | 0.21 | 0.17 |
| Canada | 0.45 | 0.45 | 0.40 | 0.33 | 0.32 |
| France | 0.18 | 0.21 | 0.18 | 0.16 | 0.15 |
| Italie | 0.12 | 0.17 | 0.14 | 0.13 | 0.12 |
| Japon | 0.16 | 0.21 | 0.16 | 0.14 | 0.14 |
| Royaume-Uni | 0.27 | 0.23 | 0.19 | 0.17 | 0.16 |
| USA | 0.37 | 0.37 | 0.32 | 0.26 | 0.23 |

Sources : IEA pour la " final energy consumption " et Chelem pour le PNB dollars ppa. Les différences pour la France en 1973 avec l'estimation de Martin et alii (tableau 1) proviennent de la base de prix pour calculer le PNB. A partir de 1970, la RFA représente l'Allemagne réunifiée (il y a donc une rupture de série).

Graphique 2 :



L'après-guerre peut-être décomposé en quatre phases : décroissance de l'intensité énergétique dans les années 1950, stabilisation dans les années 1960, baisse dans les années 1970 et 1980 et stabilisation depuis. Les économistes "énergéticiens" expliquent l'évolution au cours de la première phase par une baisse du contenu énergétique : progrès technique, substitution des énergies (pétrole au charbon, puis gaz au pétrole). La deuxième phase est expliquée par une stabilisation du contenu énergétique, tandis que les effets de structure se seraient compensés : la croissance de consommation d'énergie, dans le logement et le transport personnel, liée à l'urbanisation, et le développement de la chimie du pétrole compensant la baisse relative des activités productives traditionnelles consommatrices d'énergie. L'évolution de la troisième phase est expliquée tout d'abord par un effet de structure général : la consommation des ménages s'est substituée à celle des entreprises et par un effet de contenu pour les entreprises (en France, l'effet de structure n'y représente que le tiers de l'effet de contenu). Ainsi les prévisions donnent-elles une tendance de baisse de 1% de l'intensité énergétique pour l'OCDE (Schipper et Myers p.269, op. cit) car l'effet de structure est très faible.

Le type d'analyse que nous venons de résumer sommairement sert de prémisses aux modèles de prévision d'énergie du type MEDEE (Chateau, Lapillonne (1977)). La demande globale d'énergie est le résultat d'une agrégation de demandes élémentaires extrêmement

détaillées par types d'énergie et par fonctions pour lesquels les coefficients ne dépendent que de tendances du progrès technique. Cette approche présente trois inconvénients :

- en premier lieu, elle ne permet pas de mesurer l'impact de la conjoncture, toutes choses égales par ailleurs, c'est à dire à prix relatifs fixes. Or deux thèses opposées sont possibles. Selon la première, les périodes de forte conjoncture et/ou de forte croissance permettent des gains d'intensité énergétique grâce à des économies d'échelle (quel que soient la technique de production ou l'âge des équipements). Selon la seconde, c'est au contraire les périodes de basse conjoncture qui "obligent" à rationaliser la production : la concurrence dans une situation où une partie des équipements est sous-utilisée et où la technologie ancienne est fixée (modèle Putty-Clay) oblige à utiliser les investissements les plus économes en énergie. Suivant les cas (années 1950 ou années 1980), on fait appel à l'une ou l'autre thèse, ce qui est peu satisfaisant.

- ensuite, elle renvoie à des exogènes le choix des techniques de production et de la structure de la demande finale, alors que les prix relatifs entre les formes d'énergie et les autres produits peuvent avoir une influence cruciale. Ainsi deux thèses peuvent s'opposer. Selon la première la stabilité de l'intensité énergétique dans les années 1960 est due au développement de la consommation des ménages; sa baisse ou sa stagnation dans les années récentes est l'expression d'un comportement logistique, avec saturation de la consommation finale liée au niveau de richesse (PIB per capita), ou des coefficients techniques en énergie dans le secteur productif associé à la disparition des vieilles techniques de production (il n'y aurait pas de retour des techniques par exemple¹¹). Selon la seconde, les mouvements de moyen terme de l'intensité énergétique sont dus au coût relatif du capital et de l'énergie et au prix relatif de la consommation et de l'énergie finale distribuée. Les variations de l'intensité énergétique seraient donc temporaires ou au minimum en escalier.

- enfin, elle ne prend pas en compte l'incertitude, les anticipations et l'irréversibilité. Les anticipations d'inflation, de croissance du prix de l'énergie, de croissance de l'activité ont une influence sur les "contenus" énergétiques. Dans un modèle prenant en compte ces effets, si le premier choc pétrolier avait par exemple été anticipé, il aurait eu des conséquences ambiguës à la fin des années 1960. La hausse anticipée des prix relatifs de l'énergie aurait conduit à des économies d'énergie, tandis que la baisse du taux d'intérêt réel aurait eu les effets inverses. Des économies d'énergie peuvent donc être faites apparemment à contre courant. De même des variables macro-économiques peuvent avoir une influence : un taux de change bas pour un pays importateur d'énergie le pousse à faire des économies ou à substituer des ressources nationales¹². Le but n'est pas ici de vouloir expliquer la demande d'énergie par

¹¹ L'acier "électrique" va-t-il remplacer définitivement l'acier à l'oxygène ? Filière sèche contre filière humide pour le ciment ? Voiture électrique contre voiture à essence ?

¹² Ainsi peut-on comparer la politique énergétique de la France dans les années 1973 à 1983 (taux de change bas, taxation de l'énergie, programme nucléaire) et la politique de l'Allemagne qui payait son pétrole relativement moins cher en terme d'exportations (taux de

ces variables d'anticipation ou macro-économiques, mais d'isoler leur impact potentiel, pour faire mieux ressortir les autres déterminants.

1.3. De l'analyse descriptive à la modélisation

Ainsi donc les études sur la demande d'énergie se clivent-elles en deux approches générales. Le point de vue des "énergéticiens" qui considèrent qu'il ne s'agit que d'un problème de moyen-long terme. Il faut donc raisonner en consommation d'énergie primaire per capita ou en intensité énergétique et étudier l'impact du progrès technique, de l'effet de structure, de la croissance à long terme et des substitutions entre énergies. Les techniques de modélisation employées sont constituées de gros modèles où la demande est finement décomposée en plusieurs énergies primaires utilisées dans de nombreuses fonctions (usages) économiques. La prévision des coefficients peut se faire en modélisant la tendance par des fonctions a priori (logistique, log-normale...) ou des processus adaptatifs. Le point de vue des économistes consiste à utiliser des modèles de demande, éventuellement en distinguant les usages (ménages, entreprises, secteurs d'activité) et les formes d'énergie. Ils distinguent alors essentiellement des effets prix relatifs (à la consommation finale ou à la consommation intermédiaire), des effets de revenu (demande et revenu disponible des ménages) et des effets de patrimoine (capital logement, capital productif, population, richesse réelle, effet d'habitude). Leurs techniques de modélisation sont les modèles d'Equilibre Général Calculable et les modèles économétriques (du type Houthakker-Taylor). Ils peuvent contrôler, au sens économétrique du terme, l'impact des variables structurelles précédentes par des variables conjoncturelles (taux d'utilisation des capacités, fluctuations du PIB, anticipations). La prévision se fait en projetant les exogènes.

C'est avec cette toile de fonds que nous allons maintenant passer en revue les modèles de demande d'énergie. Arbitrairement, nous les avons décomposés selon les techniques utilisées : les modèles de type MEGC, les modèles de prévision de tendance et les modèles économétriques traditionnels. Comme nous allons le voir dans la suite, ces techniques de prévision ne recouvrent pas la distinction entre "énergéticiens" et "économistes" qui est de ce fait en partie rhétorique.

II - LES MODÈLES MEGC

Les modèles MEGC ou Modèles d'Equilibre Général Calculable sont des modèles macro-économiques détaillés ayant des fondements micro-économiques qui permettent de dériver rigoureusement la forme des fonctions d'offre et de demande à partir des comportements de maximisation des fonctions d'utilité des ménages et de profit des entreprises. Ils servent surtout à étudier l'impact des politiques économiques (en particulier de la fiscalité) sur la demande d'énergie et sur les conséquences en matière d'environnement. Ils sont en général très détaillés et présentent l'avantage d'être cohérents

change élevé, forte dotation en énergie traditionnelle). Ainsi de la politique de L'Union Européenne ?

au niveau macro-économiques en formalisant toutes les simultanités. En revanche, ils ont la faiblesse de ne

pouvoir être estimés sur des situations concrètes par les méthodes traditionnelles puisqu'ils supposent que les économies sont à l'équilibre Walrasien. Ils sont en général calibrés sur une année plutôt qu'estimés. La difficulté pour calibrer les modèles est tournée en décomposant les économies en un grand nombre de secteurs ou de fonctions sur lesquels on dispose d'informations plus précises venant des gens de l'art.

On trouvera une présentation de ces modèles spécifiques à l'énergie dans Beaver et Huntington (1992), Beaver (1993) et Bhattacharyya (1996).

Ces modèles servent à faire des prévisions de long terme dont les principales exogènes sont la croissance de la population, la productivité globale des facteurs et les politiques fiscales et budgétaires (demande) des Etats (governments).

Ils distinguent essentiellement trois facteurs de production le capital physique, le travail et l'énergie. Ces facteurs peuvent être ensuite décomposés : par exemple on distinguera le capital matériel, du capital bâtiment et du logement et les différentes formes d'énergie. Dans ce dernier cas, les modèles ne travaillent pas en énergie primaire. Les demandes sont formulées en énergies finales consommées. De ce fait les modèles incluent un secteur énergétique (par exemple l'électricité) qui effectue la transformation de l'énergie primaire en énergie finale. Les prix sont endogènes et déterminés par l'équilibre de l'offre et de la demande. Comme les pays sont fortement spécialisés dans le domaine de l'énergie, ces modèles attachent beaucoup d'importance au commerce extérieur. En particulier ils donnent de nombreux effets purement liés à la théorie de la spécialisation internationale en relation avec la localisation géographique des facteurs primaires. Par exemple, une taxation de l'énergie dans les pays développés conduit, en général, à une amélioration de leurs termes de l'échange (ou une appréciation du taux de change réel) et une diminution des effets de pollution du fait que les pays en développement utilisent les sources d'énergie les plus polluantes en émissions de CO₂ (charbon et fuel).

Pour ce qui concerne la demande d'énergie, la formulation est générale. Elle s'inclue dans le bloc général des demandes de travail, de capital et de consommations intermédiaires selon des fonctions de coûts des entreprises et des fonctions de demande des ménages. Pour les entreprises, les modèles sont en général Putty-Clay : la demande d'énergie s'ajuste seulement en fonction des nouvelles générations de la capacité productive. Les proportions relatives d'intrants (input) restent constantes et inchangées pour le vieux capital. Cela permet d'avoir une élasticité de substitution forte à long terme, faible à court terme et donc d'ajuster les modèles aux faits. Pour les ménages, la modélisation est moins unifiée. En particulier, certains modèles font des hypothèses d'anticipations parfaites des prix et d'autres d'anticipations myopes.

Nous ne reprendrons pas ici les caractéristiques de la demande d'énergie de ces modèles qui sont présentées dans Beaver et Huntington tableau 1 et 2 p. 570-571 et Bhattacharyya p. 150-151. Nous en retiendrons les résultats essentiels à notre propos. L'efficacité énergétique, c'est à dire le rapport : « Consommation d'énergie finale en TEP/PIB », qui est un résultat agrégé de ces modèles, dépend principalement du choix des

techniques, de la structure de la production et du rapport entre capital nouveau et capital ancien.

Malgré l'apparition de modèles très détaillés et estimés économétriquement (Jorgenson et Wilcoxon, 1993), les effets prix sont encore sujets à discussion. Alors que les élasticités prix et revenu sont, selon les auteurs de ces modèles, les seuls paramètres qui affectent les résultats, il n'y a pas de consensus sur leur valeur. Nous retrouverons ce problème pour les estimations économétriques sur séries chronologiques longues.

III - LES MÉTHODES GÉNÉRIQUES DE PRÉVISION DE L'INTENSITÉ ÉNERGÉTIQUE À LONG TERME

Les économistes de l'énergie utilisent plusieurs méthodes pour prévoir l'évolution des intensités énergétiques. Ces techniques de prévision peuvent aussi être utilisées pour projeter des coefficients de consommation ou des paramètres des fonctions de production. Elles sont plus généralement utilisées par le courant des "énergéticiens" parce qu'elles visent à produire des prévisions à partir des variables elles-mêmes de façon à engendrer une dynamique, mais nous verrons qu'elles peuvent être facilement combinées avec des modèles économétriques traditionnels ou dans le cadre des MEGC.

3.1. L'estimation de la tendance par une logistique

Cette méthode est utilisée par exemple par Furtado-Suslick (1993) pour prévoir l'intensité en consommation de pétrole par rapport au PIB au Brésil et par Hourcade (1993) de manière systématique pour construire des scénarios macro-économiques¹³. La méthode consiste à supposer que les intensités énergétiques suivent une loi logistique avec un seuil asymptotique de saturation modulée par des composantes économiques comme les prix relatifs et les revenus. On peut toutefois douter a priori de la pertinence des modèles utilisés, car les intensités énergétiques présentent plus souvent des courbes en U ou en escalier qu'un seuil de saturation. En outre, les auteurs n'estiment jamais le modèle complet avec des variables économiques. Ainsi ils ne se demandent pas si les déterminants du taux de croissance de l'intensité énergétique sont différents de ceux d'un éventuel seuil de saturation. On pourrait, en effet,¹⁴ imaginer de tester un modèle où le taux de croissance dépendrait des

¹³ Ce dernier ne procède pas à des estimations, mais se contente de supposer que l'asymptote des logistiques décrivant les demandes d'énergie est déterminée par des dires d'experts.

¹⁴ La logistique simple devrait avoir la forme suivante en continu :

prix relatifs, des revenus et de variables conjoncturelles, tandis que l'asymptote serait fonction de la richesse par tête et de la population (ou de sa densité) :

$$(3) \quad \frac{\Delta e_t}{e_{t-1}(a(POP_t, W_t) - e_{t-1})} = b[\Delta(PIB_t), TU_t, \Delta(PR_t)]$$

e_t est l'intensité énergétique primaire, POP la population (ou sa densité), W la richesse par tête, TU le taux d'utilisation des capacités et PR les prix relatifs, PIB le PIB en volume, Δ étant l'opérateur de différences premières.

Cette formulation montre qu'il est possible de marier une recherche des tendances sans renoncer aux déterminants économiques habituels.

3.2. Les modèles d'apprentissage (Furtado et Suslick)

Ces modèles consistent à supposer que la tendance est le produit d'un processus adaptatif. Toutefois, là encore, il n'y a aucun comportement des agents réels puisque le processus d'apprentissage considéré ne concerne que le modélisateur. L'argument selon lequel la tendance de progrès technique serait le résultat d'un processus d'apprentissage n'a pas de fondement économique. En fait le modèle consiste à réviser les anticipations de l'intensité énergétique à la lumière des informations passées de l'économètre qui ne comprennent pas certaines informations de la période de prévision. Plus précisément, on suppose que l'économètre a pu observer sur la période $[1, T]$, la consommation primaire d'énergie E_t (en TEP), le PIB, Y_t en volume (et donc l'intensité énergétique $e_t = E_t / Y_t$). Mais le vrai modèle d'intensité énergétique consiste à relier linéairement $Log(e_t)$ à $Log(Y_t)$, d'autres variables Z_t et la constante. Si on pouvait observer Z_t , on pourrait l'estimer économétriquement. Soient \hat{a} , \hat{b} et \hat{c} les estimateurs (les coefficients) ainsi que $Log \hat{e}(T, Y, Z)$ l'estimateur de $Log(e_t)$. Ce dernier est sans biais car il y a une constante. La meilleure prévision en $T+1$ de E_{T+1} est donc :

$$\frac{de}{e(a-e)} = \frac{1}{a} dt \text{ ce qui, en intégrant, donne :}$$

$$\frac{e}{a-e} = \frac{1}{a}(t-t_0) + b \text{ où } a \text{ est la valeur limite de l'intensité énergétique et } t_0 \text{ la}$$

constante d'intégration correspondant au début du régime (par exemple 1950 environ pour la France).

$$\hat{E}_{T+1} = \hat{e}(T+1, Y, Z)Y_{T+1}$$

avec :

$$(A1) \quad \text{Log}(\hat{e}(t, Y, Z)) = \hat{a}_t \text{Log}(Y_t) + \hat{b}_t Z_t + \hat{c}_t \quad \text{où } t \geq T+1$$

Mais comme le modélisateur ne connaît pas $Z(T+1)$ à la date $T+1$, il ne peut faire de prévision avec le vrai modèle de l'économie. Cependant, on sent qu'intuitivement, compte tenu de son information et de la présence de la constante, une bonne prévision serait du type :

$$\text{Log}(\tilde{e}_T) = \sum_1^T \frac{1}{T} \text{Log}(\hat{e}_t) = \frac{1}{T} \sum_1^T \text{Log}\left(\frac{E_t}{Y_t}\right).$$

On introduit donc le modèle “intégral” auxiliaire ou “modèle d'apprentissage” suivant :

$$(A2) \quad \frac{1}{t} \sum_{u=1}^t \text{Log}(e_u) = a + \frac{1}{t} \sum_{u=1}^t \text{Log}(Y_u) + b + v_t$$

en supposant que le processus v_t vérifie :

$$(A3) \quad v_t = d \frac{1}{t} \sum_{u=1}^t Z_u + w_t \quad \text{où } w_t \text{ est un bruit blanc}$$

Le modèle auxiliaire (A2) peut être estimé et mis à jour car l'économètre dispose de l'information suffisante. Soit \hat{a}_T et \hat{b}_T les estimateurs des MCO sur la période (1,T) du modèle d'apprentissage (A2). La formule de mise à jour est du type :

$$(A4) \quad \hat{a}_{T+1} = \frac{b_T \hat{a}_T + y_T e_T}{b_{T+1}}$$

$$\text{où : } b_t = \sum_{\tau=1}^t \sum_{u=1}^{\tau} \text{Log}^2(e_u), \quad y_T = \sum_1^T \text{Log}(Y_u) \quad \text{et} \quad e_T = \sum_1^T \text{Log}(e_u)$$

On remarque que $\frac{b_T}{b_{T+1}} \rightarrow 1$ quand $T \rightarrow \infty$.

En raison du caractère intégral du modèle auxiliaire, il existe donc une solution limite qui pour être celle du vrai modèle doit vérifier :

$$\text{Log}(e) = a\text{Log}(Y) + dZ + b = a\text{Log}(Y) + bZ + c$$

Il faut donc que \hat{a}_T converge vers a . Cela est assuré en vertu de la loi des grands nombres, si on suppose que les processus sont stationnaires du second ordre.

Le modélisateur peut donc envisager un processus d'apprentissage qui converge vers le vrai modèle de l'intensité énergétique sans le connaître. Pour cela, il lui suffit de faire la régression (A2) par les moindres carrés ordinaires. Ce modèle aura la même prévision limite. Soit $A(T, Y_T)$ l'estimateur obtenu. Une prévision convergente asymptotiquement de la consommation d'énergie est donc :

$$E_{T+t} = \exp(A(T, Y_{T+1}))Y_{T+1}$$

A la période suivante, le modélisateur pourra mettre à jour son évaluation de l'intensité énergétique en rajoutant un point et calculer $A(T, Y_{T+2})$ et ainsi de suite. Le processus est donc adaptatif au sens où l'ensemble d'information du modélisateur est croissant, mais il n'est pas adaptatif au sens des comportements des agents réels qu'il est supposé représenter.

Cette méthode ne donne cependant pas de bonne prévision. En effet si le processus décrit bien l'ajustement lent de l'effet de la technique de production, il manque de déterminants économiques de long terme : tout se passe comme s'il n'y avait pas de modèle énergétique. En outre Furtado et Suslik n'estiment pas le modèle d'apprentissage (A2) mais une version légèrement différente : ils font les régressions sur les logarithmes des sommes et non sur les sommes des logarithmes, or cette dernière fonction est concave, ce qui biaise les estimateurs.

3.3. Les modèles trans-log (Furtado et Suslik)

Ces modèles sont basés sur l'observation statistique de longue période selon laquelle l'intensité énergétique peut-être décrite à long terme comme une courbe de type log-normale en fonction du revenu par tête avec une forte "skewness" (grosse queue à droite vers les forts revenus) comme nous l'enseigne l'analyse descriptive du premier

paragraphe¹⁵. Comme pour la logistique, cette forme générale de la courbe peut-être modulée à court terme par des déterminants économiques, comme les prix relatifs et le revenu, ainsi que des variables de fluctuations conjoncturelles (croissance du PIB, taux d'utilisation des capacités de production). Cette façon de modéliser la tendance présente l'avantage de pouvoir être traduite dans un modèle traditionnel de demande utilisant une fonction d'utilité indirecte trans-log.

On suppose donc que le modèle de long terme de l'intensité énergétique est donné par :

$$(5) \quad e_t = \frac{K(P_t, PE_t, t)}{s \sqrt{2p}} \exp \left[-\frac{1}{2} \left(\frac{\text{Log}(y_t) - m}{s} \right)^2 \right]$$

¹⁵ La " skewness " devrait permettre de rendre compte de la chute en escalier de la demande énergétique des pays ayant dépassé leur " mode ".

où :

$K(.,.,t)$ est l'intensité moyenne énergétique définie par des variables de long terme comme le prix relatif de l'énergie,

P est le prix du PIB ou de la consommation totale, PE est le prix de l'énergie, t est le trend de progrès technique,

Y est le PIB, POP est la population totale, y est le PIB par tête,

t est la tendance,

e est l'intensité énergétique considérée,

S est la variance du logarithme de la tendance de l'intensité énergétique et m est la moyenne de cette tendance.

Il est important de noter que cette loi empirique est supposée s'appliquer aussi bien à la répartition des revenus par tête entre pays qu'à la répartition des revenus des ménages à l'intérieur d'un même pays. Elle représente donc la demande d'énergie d'un ménage comme d'une nation.

En appelant E_t la demande d'énergie, on peut donc écrire :

$$(6) \quad \text{Log}(E_t) = \text{Log}(POP_t) + \text{Log}(A) + (1 + a_0 + a_1 \text{Log}(y_t)) \text{Log}(y_t)$$

Avec :

$$\text{Log}(A) = \text{Log}(K(P, PE, t)) - \text{Log}\sqrt{2p} - \text{Log}(S) - m^2 / 2S^2$$

$$a_0 = m / 2S^2 \quad \text{et} \quad a_1 = -1 / 2S^2$$

On remarque alors avec plaisir que l'équation (6) est une fonction de demande traditionnelle qu'on peut dériver à partir d'une fonction d'utilité indirecte dépendant des revenus et des prix relatifs.

On peut maintenant supposer que les revenus par tête d'un pays (si on veut estimer la demande pour celui-ci) suivent une loi de répartition $f(y)$ quelconque à support borné positif de moyenne \bar{y} . L'équation (6) est alors une fonction de demande traditionnelle qu'on

peut dériver à partir d'une fonction d'utilité indirecte trans-log dépendant du revenu moyen par tête et des prix relatifs¹⁶.

Les estimations de Furtado et Suslik pour la demande de pétrole du Brésil, à partir d'une fonction de demande trans-log proche de l'équation (6), semblent montrer que la méthode donne des estimations assez précises selon le critère de l'erreur quadratique moyenne. Il distingue les effets de revenu par tête, de prix et de progrès technique. Les principaux résultats sont les suivants :

- l'élasticité par rapport au revenu n'est pas significativement différente de 1,
- l'élasticité par rapport au prix est significativement négative,
- l'élasticité-prix par rapport aux produits de substitution n'est positive que parce qu'on la croise avec la tendance de progrès technique (variable temps),
- l'élasticité par rapport à la tendance du progrès technique est croissante au cours du temps.

Cependant cette spécification présente l'inconvénient de supposer implicitement que les élasticité-prix croissent avec le revenu par tête. Il n'est donc pas sûr qu'elle puisse s'appliquer telle quelle au niveau agrégé. Comme nous le verrons par la suite, il semblerait que les élasticités augmentent quand le prix relatif de l'énergie augmente, mais non pas quand le revenu par tête augmente. Sur ce dernier point, il n'existe aucune preuve empirique sur longue période.

IV - LES MODÈLES ÉCONOMÉTRIQUES

Les modèles de prévision de la demande énergétique sont donc basés sur deux idées qui s'appuient sur le point de vue des économistes et celui des énergéticiens. Selon les premiers la demande doit reprendre les éléments généraux de la théorie de la demande : revenus, prix et tendance de progrès technique. Selon les seconds, il faut tenir distinguer les déterminants de court terme et de long terme : richesse, population, tendance du progrès technique, effet de substitution entre énergies. C'est en gardant en tête cette distinction que nous allons aborder les différents types de modélisation macro-économique de la demande énergétique. Nous procéderons ainsi du modèle le plus simple et le plus général de consommation vers les modèles les plus spécifiques au domaine qui nous intéresse.

¹⁶ Voir par exemple l'ouvrage de microéconomie de Varian p.133.

4.1. La consommation des ménages : le modèle de Houthakker et Taylor

Historiquement la formalisation la plus simple des fonctions de demande finale, ce modèle présente l'avantage d'introduire, bien que de manière trop générale, les déterminants

en flux et en stocks de la consommation finale, ce qui permet de distinguer de manière théorique le court terme et le long terme.

On postule que la demande d'un bien dépend de la dépense totale, des prix relatifs et d'une variable d'état (ayant la dimension d'un stock) de la fin de la période précédente. Dans un cadre linéaire, on écrira :

$$(7) \quad E_t = a + bS_{t-1} + cY_t - dPR_t$$

où S_{t-1} est la variable d'état en fin de période (t-1) représentant la richesse accumulée par les ménages dans le bien considéré si c'est un bien durable ou un effet d'habitude si c'est un bien fongible, Y_t est le revenu total ou encore la dépense totale en volume, PR_t est le prix relatif du bien considéré et E_t est la consommation en volume du bien.

En supposant que la variable de stocks s'accumule avec un taux de déclassement constant, on peut écrire :

$$(8) \quad S_t - S_{t-1} = E_t - dS_{t-1}$$

soit :

$$(9) \quad E_t = da + (1+b-d)E_{t-1} + c(Y_t - Y_{t-1}) + cdY_{t-1} - d(PR_t - PR_{t-1}) - ddPR_t$$

Dans le cas de l'énergie, d est un taux d'oubli, b est un effet d'habitude, c et d sont les propensions marginales à consommer et la sensibilité aux prix à court terme tandis que $\frac{d}{d-b}c$ et $\frac{d}{d-b}d$ sont les effets de long terme.

Les estimations de Vallet (1978, p 210-212), effectuées sur la période 1956-1974 (actualisées sur 1959-1982, voir DMS), portent sur la demande d'énergie domestique et de carburant par les ménages. Le revenu a été remplacé par la dépense totale. Les résultats sont donnés dans le tableau suivant :

Tableau 3 :*Estimations en base 1971 en francs 1970 (1)*

| consommation | a | b (habitude) | c revenu (CT) | c revenu (LT) | d prix | d prix (LT) | d (oubli) |
|--|-----------|-----------------|---------------------|------------------|---------------------|---------------------|--------------|
| énergie domestique (1956-1974) | 0.07 5 | -0.051 | 0.055 (1.38) | 0.051 (1.27) | 0.0 (0.0) | 0.0 (0.0) | 0.60 |
| énergie domestique (1959-1982) (3) | 0.09 2 | 0.00 | 0.056 (1.40) | 0.056 (1.40) | 0.009 (0.77) | 0.009 (0.77) | 1.0 |
| carburant (1956-1974) | 0.0 | -0.151 | 0.0 (0.0) | 0.066 (3.00) | 0.039 (1.77) | 0.0 (0.0) | 0.0 |
| carburant (1959-1982) | 0.09 | 0.61 | 0.016 (0.73) | 0.041 (1.83) | 0.0011(2) (0.16) | 0.0029(2) (0.40) | 1.0 |

(1) Entre parenthèses, les élasticités à la dépense totale pour l'année de base 1970 : les calculs ont été faits avec une proportion de la consommation d'énergie domestique de 4% et de la consommation de carburant de 2,2% dans le total de la consommation marchande (valeurs de l'année 1970).

(2) Les évaluations publiées dans DMS4 présentent des erreurs sur la position de la virgule : -.04 et -.103 pour les élasticités de court et long terme de la demande de carburant en 1982.

(3) Estimation en logarithme.

Bien que ces équations soient détaillées par fonction, elles montrent une forte instabilité de tous les coefficients : si les propensions à consommer par rapport à la dépense totale sont clairement positives et correspondent à une élasticité revenu à long terme nettement supérieure à 1.0 dans les années récentes, les élasticité prix de long terme n'apparaissent significativement différente de 0 que lorsqu'on introduit les années 1970 et 1980. Ces résultats signifient que l'énergie est un bien normal dont la demande croit avec le revenu et la sensibilité aux prix relatifs est plus importante dans les années récentes qui couvrent le choc pétrolier. Cela incite à penser que l'apparente insensibilité de la demande des ménages en énergie dans les années précédant le choc de 1974 est le résultat statistique d'une baisse régulière du prix accompagnée par une hausse concomitante des transports et du capital en logement. Le modèle est d'une certaine manière sous-déterminé : il faudrait trouver des arguments de long terme à la variable de stocks, par exemple la population, la richesse totale, le parc logement (chauffage) ou le parc automobile (carburant). En outre, une estimation en logarithme plutôt qu'en niveau ou en propension devrait permettre de corriger de l'hétéroscédasticité des résidus et d'estimer directement les élasticités. Sur ce dernier point le modèle suppose implicitement que les élasticités sont variables au cours du temps, mais leur évolution dépend crucialement des prix relatifs. Ainsi, du fait de la hausse des prix relatifs de l'énergie depuis 1973, l'élasticité prix a augmenté depuis les chocs pétroliers.

4.2. Les modèles avec anticipations de prix

Ces modèles partent de la constatation empirique selon laquelle la demande d'énergie n'a pas répondu à la chute des prix dans les années 1960 de manière symétrique à la hausse des prix de 1974 et 1980. Historiquement la croissance de la demande depuis 1986 associée à la baisse des prix de l'énergie aurait été plus faible que les économies d'énergie entre les deux chocs pétroliers. Ainsi comme nous l'avons vu dans le paragraphe précédent, les élasticités prix ont augmenté entre les deux chocs pétroliers. Wirl (1991) constate qu'elles ont diminué depuis 1987. Il attribue cette évolution non pas à un phénomène mécanique associé aux prix relatifs (comme dans les modèles précédents) mais aux coûts de changement des techniques et aux anticipations de hausses de prix. Pour vérifier sa thèse, il imagine un modèle intertemporel de demande des ménages. Ces derniers ont, à chaque date, une demande d'énergie optimale de long terme $E_t^d(Y_t^a, PR_t^a)$ dépendant de manière traditionnelle des revenus anticipés Y_t^a et des prix relatifs anticipés PR_t^a . Ils expriment sur le marché une demande effective d'énergie E_t qui minimise à chaque instant la valeur présente actualisée des coûts. Ceux-ci se décomposent en deux : les coûts quadratiques d'écart de la demande effective en début de période à la demande optimale de long terme de fin de période, et les coûts quadratiques d'ajustement de la demande qui proviennent des changements des équipements ménagers et des automobiles. Ce modèle est très général et pourrait s'appliquer aux entreprises¹⁷ (voir annexe 2). Avec anticipations myopes ou adaptatives, cette dérivation donne un modèle de type Houthakker-Taylor¹⁸ généralisé dont les coefficients dépendent du taux d'intérêt r_t : les délais d'ajustement s'allongent avec le taux d'intérêt. Avec anticipations rationnelles, il donne le même type de modèle avec une contrainte supplémentaire sur les coefficients qui permet d'estimer le taux d'actualisation implicite des ménages (voir annexe 2).

Les résultats de l'estimation avec anticipations myopes donnent les élasticités prix et revenu suivantes :

¹⁷ L'auteur complique d'ailleurs beaucoup les calculs en se plaçant en temps continu et en appliquant le contrôle optimal, ce qui l'oblige à ensuite à faire un passage en temps discret. Or en temps discret, on trouve immédiatement les résultats.

¹⁸ Voir Houthakker-Kennedy (1979).

Tableau 4 :*Estimation des paramètres de la demande de carburant (anticipations myopes)*

| Pays | élasticité prix | élasticité revenu | délai d'ajustement |
|--------|-----------------|-------------------|--------------------|
| USA | -0.56 (3.3) | 1.02 (6.0) | 0.74 (8.6) |
| France | -0.43 (5.1) | 1.34 (41.7) | 0.52 (5.2) |
| RFA | -0.29 (2.8) | 1.42 (17.5) | 0.48 (3.1) |

Source : Wirl (1991) ; période d'estimation 1962-1985, anticipations myopes.

Si les estimations des élasticités prix et revenus sont robustes et comparables pour la France à celles du modèle Houthakker-Taylor (voir tableau 3, carburants), en revanche, les résultats ne permettent pas de vérifier la thèse de l'auteur parce que les coefficients qu'il estime ne dépendent pas du taux d'intérêt comme le voudrait son modèle théorique et parce que les anticipations sont supposées myopes. Or lorsqu'il estime le modèle avec anticipations rationnelles, s'il obtient approximativement les mêmes élasticités prix et revenu (voir p. 252, op. cit), le taux d'actualisation implicite estimé est négatif dans tous les pays. Cela signifie que les anticipations ne sont pas rationnelles.

C'est sur la base de ce résultat que Kauffman (1994) a cherché à généraliser la méthode et à l'étendre à l'ensemble de la demande d'énergie.

Tout d'abord, il constate qu'aux Etats-Unis les anticipations de prix ne sont ni myopes, ni rationnelles, mais qu'elles sont fondées sur les prévisions de prix des organismes institutionnels et en particulier du DOE (Department of Energy). Ainsi le DOE anticipait en 1975 ou 1976 une stabilisation du prix de l'énergie puis une hausse à partir de 1978; en 1981 il anticipait une hausse du prix de l'énergie qui aurait eu lieu à partir de 1986 (exactement le contraire de ce qui s'est passé). Pour cette raison l'auteur considère tout d'abord que les anticipations sont fondées sur les travaux du DOE parce que le coût d'achat des prévisions est faible et aussi parce que le DOE avait une légitimité. Ces anticipations sont très fluctuantes et expliqueraient *a priori* pourquoi les Etats-Unis n'ont pas fait d'économies supplémentaires d'énergie dans les années 1970 et auraient commencé à les faire à la fin des années 1980. Le point de vue est donc différent de celui de Wirl : il ne s'agit pas de faire une hypothèse *a priori* sur les anticipations mais de les mesurer à partir des prévisions du DOE, puis d'estimer par un modèle économétrique leur influence sur la demande d'énergie.

Pour cela il se base sur un modèle général intertemporel de production. S'il s'agit d'entreprises, celles-ci ont une fonction de production dépendant du travail, du capital et de l'énergie. L'investissement ayant une durée de vie qui dépasse la période (capital fixe), il est nécessaire de répartir le coût d'achat du capital sur toute sa durée de vie si l'on veut le comparer au coût du travail et de l'énergie. Dans le cas où la technologie est Putty-Clay, c'est à dire peut être choisie *ex ante* (avant d'investir), mais est fixée *ex post*

(l'investissement une fois réalisé), parce qu'il y a irréversibilité de l'investissement, le coût relatif capital/énergie dépend du taux de croissance anticipé du prix de l'énergie. La demande d'énergie dépendra

donc positivement du coût du capital en énergie, c'est à dire du prix relatif du capital par rapport à l'énergie multiplié par le taux d'intérêt réel anticipé (par rapport au prix de l'énergie) corrigé du taux de dépréciation du capital; soit, dans le cas où le capital se déprécie à taux constant, de la variable :

$$(10) \quad C_{K,E} = \frac{p_K}{p_E} (r - \hat{p}_E + d)$$

où : p_K est le prix d'achat du capital, p_E est le prix d'achat de l'énergie, \hat{p}_E est le taux de croissance anticipé du prix de l'énergie (en nominal), r est le taux d'intérêt nominal et d est le taux de dépréciation du capital (voir annexe 3).

Cette analyse ajoute aux prix relatifs le taux d'intérêt réel relatif à l'énergie pour tenir compte de la dimension intertemporelle¹⁹. Elle peut de plus être étendue sans difficulté aux ménages. Il suffit de supposer que dans le modèle de Houthakker-Taylor, la variable d'état est un capital des ménages (automobile pour les carburants et installation domestique de chauffage pour la consommation d'énergie domestique) qui a une durée de vie déterminée (technique : exogène, ou économique : endogène). Là encore le taux d'actualisation des ménages aura la même expression que dans l'équation (10).

De ce modèle général couvrant les entreprises et les ménages on attend les propriétés suivantes :

- un taux d'intérêt plus élevé augmente le coût du capital et donc retarde le rythme de renouvellement des équipements et décale la demande d'énergie par rapport aux prix relatifs;

- un taux d'intérêt plus élevé incite à réduire l'intensité capitaliste, mais à choisir des techniques plus dispendieuses en énergie;

- une hausse du taux de croissance anticipé du prix de l'énergie signale une augmentation de ses coûts actualisés vis à vis du capital : ainsi la demande d'énergie devrait être plus faible que n'indiquent les prix relatifs de court terme : effet de substitution;

- une baisse du taux de croissance anticipé du prix de l'énergie indique une baisse du coût actualisé de l'énergie par rapport au capital et à l'investissement : on investira donc

¹⁹ On trouvera en annexe 3 une présentation de la définition du coût relatif du capital en énergie. Il est très important de noter que ce coût relatif ne dépend pas de l'inflation mais du taux de croissance anticipé du prix de l'énergie.

plus car la rentabilité anticipée est plus forte (effet de revenu) mais on utilisera aussi des techniques plus intensives en énergie (effet de substitution).

Si l'idée paraît intéressante, les estimations de Kauffman souffrent à notre avis d'une erreur de spécification de la variable de taux d'actualisation. En effet, il considère la statistique :

$$OILAP5 = r - \hat{p} - \hat{p}_E$$

où r est le taux moyen des bons du trésor à 5 ans, \hat{p} est le taux d'inflation de la date de publication des prévisions énergétiques du DOE et \hat{p}_E est le taux de croissance annuelle moyen sur 5 ans du prix du pétrole correspondant aux prévisions du DOE. Cette statistique présente deux inconvénients :

- d'une part, elle n'est pas cohérente parce que non homogène : on ne peut déduire deux fois le "taux d'inflation" pour calculer un taux d'intérêt réel : la variable qui préside au choix de la technique est en fait le taux d'intérêt réel rapporté au taux de croissance anticipé du prix de l'énergie : voir annexe 3.

- d'autre part, elle ne prend pas en compte l'amortissement du capital. Or c'est bien le but du modèle proposé de considérer la dynamique intertemporelle qui comprend un effet d'actualisation et des coûts d'ajustement liés à l'irréversibilité de l'investissement. S'il n'y a pas de coûts d'ajustement, on comprend mal pourquoi on ne changerait pas de technique instantanément.

Toutefois, malgré ces deux remarques liminaires, nous allons commenter ses estimations parce qu'elles présentent aussi un intérêt à titre de méthode générale et pour faire des comparaisons internationales.

La demande d'énergie est décomposée en 5 secteurs : l'agriculture, l'industrie, les services et les commerces, le secteur résidentiel et les transports²⁰. Pour chaque secteur les équations de demande d'énergie sont décomposées en charbon (CMS), pétrole, gaz naturel et électricité il s'agit donc de demandes en quantités physiques (TEP). Les variables explicatives sont le revenu réel, les prix, la tendance, l'effet de structure et les anticipations. Les équations estimées sont du type :

²⁰ Ces deux derniers secteurs comprennent les activités industrielles de services du logement et de transports et les dépenses d'énergie et de carburants des ménages pour compte propre (logements et transports des ménages).

$$EI = aEXP + bY + cPR + dT + eSTRUC$$

où EXP est la variable d'anticipation du taux d'actualisation;

- Y est une variable de revenu réel;
- PR est une variable de prix relatif ou de prix si les élasticités sont différenciées;
- T est une tendance du temps;
- STRUC est une variable prenant en compte l'effet de structure;
- EI est l'intensité énergétique, c'est à dire la consommation d'énergie primaire par type d'énergie et par secteur d'activité rapportée à la valeur ajoutée du secteur pour l'industrie, à la consommation totale pour les ménages et à l'activité économique pour les transports²¹.

Les variables de prix et l'effet de structure sont parfois prises en logarithme.

Nous présentons les résultats de Kaufmann pour la demande de pétrole dans le tableau ci-dessous.

Tableau 5 :

Estimation de l'intensité énergétique en pétrole par fonctions

| intensité énergétique | élasticité prix | élasticité revenu | effet de structure | tendance | variables spécifiques | effet d'anticipation |
|-----------------------|---------------------|-------------------|--------------------|------------------|-------------------------------|----------------------|
| agriculture | -0.097 (3.61) | - | -0.097 | -0.044 (4.22) | - | - |
| industrie | -0.158 (9.53) | - | 0.0 | 0.0 | - | 0.0 |
| transports | -0.000034 (2.41) | - | 0.0 | 0.0 | 0.587 (5.06) (PNB/tête) | 0.0 |
| résidentiel | -0.0002 | - | 0.0 | -0.0095 | -0.051 | 0.082 |

²¹ L'auteur semble assimiler les transports à l'activité transport de la comptabilité nationale; il ne semble pas faire la distinction entre transports marchands des entreprises (fret ou transports de personnes par voie ferroviaire et aérienne) et transports pour compte propre par automobile des ménages (p. 176).

| | | | | | | |
|-----------|--------------------|---|------------------|--------|--|-------------------|
| | (3.51) | | | (6.12) | (7.13) (taux d'accumulation logement) | (4.00) |
| tertiaire | -0.00013 (6.44) | - | -0.15 (15.64) | 0.0 | - | -0.0356 (2.55) |

Source : Kaufmann (1994) pp. 179-182.

De ces estimations on peut déduire, compte tenu des réserves que nous avons faites précédemment, que les effets d'anticipations sont très faibles. On peut attribuer cela au fait que la DOE n'était pas "crédible" aux Etats-Unis. Ainsi donc les estimations semblent montrer que les agents ne sont ni rationnels (Wirl), ni n'utilisent vraiment les prévisions des organismes officiels (Kaufmann). En outre, les estimations de Kaufmann montrent que les élasticités prix ne sont significatives que parce qu'il distingue les différentes formes d'énergie (charbon, gaz naturel, pétrole et électricité). Ainsi les élasticités prix sont surtout dues à des phénomènes de substitution entre énergies plutôt qu'à des substitutions entre facteurs ou entre l'énergie et les autres consommations. Cependant on peut retenir de cette étude qu'il est intéressant de contrôler les estimations à l'aide de variables spécifiques : taux d'accumulation en logement comme indicateur du renouvellement des techniques de chauffage, taux de croissance du PNB/tête ou des immatriculations comme indicateur du renouvellement du parc automobile.

5. CONCLUSION

Les estimations de la demande d'énergie montrent que le vieux modèle traditionnel de Houthakker-Taylor est robuste, qu'il soit dérivé d'une fonction d'utilité CES ou translog ou qu'il soit posé *a priori*. D'une manière générale l'effet revenu est très proche de 1 alors qu'il y a une certaine difficulté à estimer les élasticités prix. La difficulté à estimer les élasticités prix peut être attribuée à des phénomènes économiques ou à des raisons statistiques. Dans le premier ordre d'idées la substitution entre consommations énergétiques et autres consommations serait faible pour les entreprises (consommations intermédiaires) comme pour les ménages (consommations finales) en raison de l'incertitude sur les prix de l'énergie qui réduit la fiabilité (argument numérique) et l'intérêt (argument théorique lié au risque) du calcul intertemporel. En revanche les effets prix joueraient surtout sur les substituabilités inter-énergétique, justifiant ainsi indirectement l'usage d'un indicateur agrégé de demande. Dans le second ordre d'idées l'économétrie serait impuissante à évaluer de manière fiable les élasticités prix relatifs parce que ces derniers sont intégrés d'ordre 0 (ne présentent pas de tendance) alors que les autres variables explicatives sont intégrées d'ordre au moins 1 (possédant ainsi une tendance comparable à celle de la demande énergétique globale)²². Ainsi, le fait de détailler la demande d'énergie par type d'énergie

²² Afin de tourner cette difficulté, on peut procéder à des estimations économétriques par la méthode de la cointégration. Malheureusement la seule estimation de ce type que nous connaissons (voir Masih et Masih (1996)) porte sur les pays en développement et

permet de mieux identifier les élasticités prix mais de manière sans doute artificielle au niveau macro-économique : cette méthode met surtout en évidence des élasticités de substitutions entre les énergies plutôt qu'entre l'énergie et les autres demandes.

Les anticipations de prix de l'énergie ne semblent pas avoir d'impact significatif sur la demande. D'une part les anticipations de prix ne sont pas rationnelles et d'autre part elles ne semblent pas basées sur les institutions publiques de prévision. Ainsi, si l'on veut estimer un modèle robuste de demande macro-économique d'énergie, vaut-il mieux estimer un modèle néokeynésien qui distingue les élasticités prix de l'énergie et des autres biens de substitutions et qui introduit des retards plutôt que de chercher à estimer un modèle intertemporel avec anticipations rationnelles.

De plus, il faudrait contrôler l'estimation avec des variables spécifiques au domaine : richesse approximée par le PIB par tête; logement approximé par le capital logement par tête ou le taux de croissance du capital logement des ménages; enfin l'effet de structure mesuré à l'aide d'un indice chaîne qui prendrait en compte les coefficients techniques et la structure de la valeur ajoutée globale.

Pour finir, il faudrait distinguer les effets de court terme (revenus, prix) des effets de long terme (richesse, structure, logement, tendance) en utilisant soit un modèle avec retard échelonnés et tendance linéaire, soit un modèle de type logistique dont l'asymptote dépendrait des déterminants de long terme.

n'introduit justement pas les prix relatifs probablement parce qu'ils sont intégrés d'ordre 0 ou peut-être parce qu'ils ne sont pas connus sur longue période dans ces pays.

ANNEXE 1 :

DÉFINITION DE L'INTENSITÉ ÉNERGÉTIQUE MOYENNE

Dans ce texte, nous avons défini l'intensité énergétique d'un pays par le rapport :

$$e = \frac{\sum a_i E_i}{PIB}$$

où E_i est la consommation d'énergie primaire [i] par le pays (charbon, pétrole, gaz naturel, électricité nucléaire et hydraulique, bois, autres) et a_i sont les coefficients de conversion en TEP constants au cours du temps, égaux à leur valeur des années récentes (voir publications de l'IEA) ou pour la France celles de l'observatoire de l'énergie.

Les notions de “ Primary Energy Use ” ou “ utilisation d'énergie primaire ” qu'on trouve dans les articles ou de “ Total Final Consumption of Energy ” ou “ Consommation Finale Totale en Energie ” des bilans énergétiques de l'IEA sont équivalentes.

Ce concept a l'avantage, du point de vue de la demande, de ne pas faire intervenir la technique de production de l'énergie. Il a le désavantage de supposer que les différentes énergies ont le même taux de conversion, c'est à dire la même qualité au cours du temps : la définition du coke ou du lignite est-elle la même au cours du temps ? Gageons que l'évolution du raffinage des produits énergétiques est un problème secondaire et plus proche de la physique que de l'économie. Il suppose en outre que les différentes formes de l'énergie sont substituables du point de vue de la demande.

Enfin, ce concept a le désavantage de ne pas mesurer vraiment la demande. En effet la demande d'énergie est la consommation finale d'énergie. Mais on ne sait mesurer que la consommation primaire d'énergie. Celle-ci est en effet calculée à partir de la production et du commerce extérieur (bilans énergétiques).

Le PIB est calculé, pour les comparaisons internationales, selon les prix PPA de 1990.

ANNEXE 2 :

COÛTS D'AJUSTEMENT

Il s'agit de minimiser en E_t la fonction de coûts :

$$\sum_{t=0}^{\infty} \frac{1}{(1+r)^t} [a(E_t^d - E_{t-1})^2 + b(E_t - E_{t-1})^2]$$

avec $E_t^d(Y_t^a, PR_t^a)$.

$$\text{Soit : (1) } E_t - E_{t-1} = (1+r)(E_{t-1} - E_{t-2}) - a/b(E_t^d - E_{t-1})$$

Cette équation donne la dynamique avec anticipations rationnelles en faisant :

$$(2) Y_t^a = Y_t \text{ et } PR_t^a = PR_t.$$

Le taux d'actualisation r est alors identifiable puisque E_t, Y_t et PR_t sont observables.

Avec anticipations myopes, on a $E_t^d = E_0^d(Y_0, PR_0)$. On peut donc intégrer cette équation du second ordre :

$$(3) E_t - E_{t-1} = q(r)(E_t^d - E_{t-1}).$$

$q(r)$ est la racine positive de l'équation du deuxième degré sans second membre sous-jacente à l'équation (1) : c'est une fonction décroissante du taux d'actualisation ou du taux d'intérêt réel en concurrence parfaite.

ANNEXE 3 :

COÛT D'USAGE DE L'ÉNERGIE (NOTION PUTTY-CLAY)

Le concept de “coût d’usage de l’énergie” a pour but de mesurer le coût intertemporel en énergie pour une entreprise de la mise en oeuvre d’une technique donnée utilisant du capital et du travail.

On suppose qu’à la date $t=0$, l’entreprise doit faire un plan de production qui consiste à installer une capacité qui dépend des trois facteurs : capital, travail et énergie : le troisième facteur est un flux, les deux autres sont des stocks. Le plan optimal consiste à choisir la technique de production sachant que l’investissement est irréversible et qu’il définit la technique de production. Ainsi l’entreprise a le choix *ex ante* de la technique (proportions respectives de capital, travail et énergie) mais celle-ci est fixée *ex post* (modèle Putty-Clay). Cependant l’entreprise n’a pas les mains liées définitivement. La technique est installée pour une période finie appelée durée de vie. Le choix de cette dernière permet de remplacer la technique de production à un rythme optimal.

On supposera que l’entreprise dispose d’une information complète sur les prix et l’ensemble des techniques de production.

Plus précisément le programme de l’entreprise consiste, pour une durée de vie donnée finie T à maximiser son profit intertemporel :

$$(1) \quad \rho = \int_0^T (pY - wN - p_E E) e^{-rt} - p_K(0)I_0$$

sous la contrainte de l’ensemble des techniques :

$$(2) \quad Y_t = f(I_0, N_t, E_t) e^{-dt}$$

Y est la production, E la consommation d’énergie, I est l’investissement, N est l’emploi, p le prix de vente, w le coût salarial, p_E le prix de l’énergie et p_k le prix du capital. d est le taux d’usure du capital de sorte que la durée de vie économique est toujours inférieure à la durée de vie technique.

On suppose que l’entreprise fait des anticipations de croissance des prix à la date 0 :

$$\hat{p}_E, \hat{p}, \hat{w}$$

La maximisation du profit donne :

$$\frac{f'_{N_0}}{f'_{I_0}} = C_{N,K} \text{ et } \frac{f'_{E_0}}{f'_{I_0}} = C_{E,K}$$

où $C_{N,K}$ et $C_{E,K}$ sont les coûts relatifs d'usage du travail et de l'énergie par rapport au coût du capital :

$$C_{N,K} = \frac{w(0)}{p_K(0)} \frac{1 - \exp(-(r - \hat{w} + d)T)}{r - \hat{w} + d}$$

$$C_{E,K} = \frac{p_E(0)}{p_K(0)} \frac{1 - \exp(-(r - \hat{p}_E + d)T)}{r - \hat{p}_E + d}$$

Ces expressions signifient que le prix de l'investissement est réparti sur toute la durée de vie de l'équipement avec un taux d'actualisation qui dépend de la croissance des salaires ou des prix de l'énergie.

Si la fonction de production est homogène, l'intensité énergétique : $\frac{E_0}{Y_0}$ dépendra

des coûts relatifs d'usage du capital par rapport au travail ou à l'énergie. Si la croissance anticipée du prix de l'énergie augmente, cela signifie que le " coût en valeur présente " du capital et le coût du travail diminuent relativement : il faudra utiliser une technique plus économe en énergie pour le même investissement. Si le taux d'intérêt nominal augmente, le " prix d'achat en valeur présente " de l'investissement augmente par rapport au prix des autres facteurs et il faudra utiliser une technique plus économe en capital.

Il est important de noter que l'inflation (la hausse des prix de vente) n'intervient pas dans le choix de la technique de production. Par contre, elle intervient dans le choix de la durée de vie optimale, c'est à dire le rythme de renouvellement des équipements. Par exemple, si la fonction de production est homogène, l'égalité des prix et des coûts optimaux en concurrence parfaite permet d'écrire :

$$p_K C_{E,K} \frac{E_0}{Y_0} + p_K C_{N,K} \frac{N_0}{Y_0} + p_K \frac{I_0}{Y_0} = p(0) \frac{1 - \exp(-(r - \hat{p} + d)T)}{r - \hat{p} + d}$$

Si le taux d'intérêt augmente ou l'inflation diminue, on renouvellera plus souvent les équipements, donc les techniques d'utilisation de l'énergie. Les coûts d'irréversibilité diminuent.

ANNEXE 4 :**PROPOSITION DE CALCUL DE L'EFFET DE STRUCTURE**

Nous proposons de calculer ici l'effet de structure par un indice chaîne de Paasche sur une base de la comptabilité nationale. Plus précisément l'indice est décomposé en deux : entreprises et ménages.

Pour les entreprises, on calcule l'indice suivant :

$$(1) \quad S_F = \sum_{i=1}^{13} \frac{z_i(t)}{z_F(t)} [X_i(t) - X_i(1980)]$$

Les définitions sont les suivantes :

$z_i(t)$ est le rapport en francs 1980 pour l'année (t) de la consommation intermédiaire en produits énergétiques U03 de la branche $[i]$ à la valeur ajoutée en francs 1980 de la branche $[i]$. z_F est défini sur l'ensemble des branches marchandes hors énergie.

$X_i(t)$ est le rapport en francs 1980 pour l'année (t) de la valeur ajoutée de la branche $[i]$ rapportée à la valeur ajoutée de l'ensemble des branches marchandes hors énergie. $X_i(1980)$ est le même rapport calculé pour l'année de base 1980.

La nomenclature de branche est la nomenclature U de l'INSEE allant de U01 (agriculture) à U13 (assurances). La branche non marchande (U14) est exclue parce que nous rapporterons l'intensité énergétique au PIB marchand : le PIB non marchand est mal évalué dans les périodes récentes et inconnu avant 1949.

Les consommations intermédiaires sont calculées sur la base d'un TES en 40 branches (nomenclature T), puis les intraconsommations d'énergie de la branche U03 (T03+T04+T05) sont annulées. Les séries avant l'année 1970 sont calculées par rétropolation à partir des comptes nationaux de l'INSEE en base 1970.

Par définition, et avec des notations évidentes :

$$z_F = \frac{\sum_{i=1}^{13} CIZP3i}{\sum_{i=1}^{13} VAZUi}$$

Pour les ménages on calcule l'indice suivant :

$$(2) \quad S_M = \frac{c(t) - c(1980)}{c(1980)}$$

où $c(t)$ est la propension marchande à consommer à la date t et $c(1980)$ sa valeur l'année de base 1980, c'est à dire le rapport en francs 1980 de la consommation marchande totale des ménages au PIB marchand.

On pondère ensuite les deux indices par :

$$(3) \quad S = a(t)S_F + (1 - a(t))S_M$$

où a est la part de la consommation d'énergie des entreprises :

$$(4) \quad a(t) = \frac{\sum_i CIZP3i}{\sum_i CIZP3i + CARZ + DOMZ}$$

CARZ et DOMZ sont les consommations en francs 1980 en carburants et en énergie domestique des ménages.

Cet indice peut ensuite servir à calculer par solde l'effet d'intensité énergétique ou être introduit tel quel dans une équation économétrique.

Si l'on veut que l'indice de structure n'ait qu'un effet conjoncturel, on le calculera de la manière suivante :

$$(4) \quad S_F = \sum_{i=1}^{13} \frac{z_i(t)}{z_F(t)} [X_i(t) - X_i(t-1)]$$

$$(5) \quad S_M = \frac{c(t) - c(t-1)}{c(t-1)}$$

$$(6) \quad S = a(t)S_F + (1 - a(t))S_M$$

Cette façon de calculer l'indice de structure est adaptée à la comptabilité nationale française. En effet dans celle-ci les consommations intermédiaires d'énergie de l'industrie manufacturière sont évaluées directement en niveau à partir des enquêtes énergie (enquêtes

EACEI du SESSI), les coefficients techniques étant ensuite calculés comme quotient des consommations intermédiaires à la valeur ajoutée (INSEE 1993).

DEUXIÈME PARTIE – ESTIMATION D'UNE FONCTION DE DEMANDE AGRÉGÉE D'ÉNERGIE POUR LA FRANCE SUR LONGUE PÉRIODE

1. INTRODUCTION

Le travail statistique de J. Rouchet (1997-a et b) montre que l'intensité énergétique primaire globale de la France, mesurée par le rapport de la consommation d'énergie primaire totale en Tep rapportée au PIB marchand en francs constants, sur longue période, présente des ruptures de tendance marquées. Grosso-modo de 1838 à 1938, la croissance de l'intensité énergétique est de 0,6 à 0,7% par an et est assez régulière. Depuis la deuxième guerre mondiale au contraire le ratio présente une décroissance de 0,7% par an en moyenne. L'observation des données suggère donc que les deux périodes sont de nature différente. Dans la mesure où les sources originelles sont les mêmes, l'explication ne peut être qu'économique. Le contenu énergétique de la demande globale et donc le progrès technique dans son utilisation ont changé. La période 1838-1938 est caractérisée par la substitution du charbon au bois puis à partir de 1920 par le développement de l'électricité hydraulique. L'après deuxième guerre mondiale est une période de diversification des ressources : développement du pétrole et du gaz de 1946 à 1973 environ, déclin du charbon depuis le début des années 1960 et développement de l'électricité d'origine nucléaire depuis 1975. Cette modification des ressources a forcément eu un effet sur le progrès technique de l'usage de l'énergie et peut-être sur la structure de la demande, alors qu'à l'inverse les prix relatifs, la richesse et l'effet de structure ont joué sur l'intensité énergétique.

De cette analyse descriptive succincte nous tirons deux enseignements. Tout d'abord les périodes séparées par la deuxième guerre mondiale sont hétérogènes et doivent être étudiées séparément. Ensuite le sens de la causalité (par exemple des prix vers l'intensité énergétique ou l'inverse) et le délai d'action des variables n'est pas clair *a priori*.

L'étude économétrique vise à répondre à ces questions générales. Elle est divisée en trois parties. Dans la première nous proposons une spécification et commentons la construction des indicateurs quand cela est nécessaire. La deuxième et la troisième sont consacrées au résultats sur les deux périodes.

2. SPÉCIFICATION DE L'ÉQUATION

2.1. Remarques introductives

D'une manière générale l'intensité en énergie primaire est un indicateur de la demande macroéconomique agrégée d'énergie, même si du point de vue statistique le numérateur du ratio est calculé à partir de la production (et du commerce extérieur) d'énergie primaire. On l'explique en tendance de long terme par des variables macroéconomiques traditionnelles comme le revenu par tête (le PIB par tête) et le prix

relatif moyen de l'énergie par rapport au prix à la consommation ou par rapport au prix du PIB. A ces explications

traditionnelles on ajoute le progrès technique (en général exogène et mesuré par une tendance) et un effet de structure qui vise à prendre en compte le déplacement des activités vers des produits dont la production nécessite plus ou moins d'énergie (coefficient technique). Avant la deuxième guerre mondiale, il s'agit essentiellement du développement des industries intermédiaires (particulièrement la sidérurgie) au détriment de l'agriculture. Dans l'après deuxième guerre mondiale, la situation est plus complexe. En même temps que se poursuivait la réduction de la part de l'agriculture, se développait le secteur tertiaire, comprenant les transports qui utilisent beaucoup d'énergie, tandis que simultanément, surtout depuis les années 1970, les substitutions internes dans l'industrie entre activités productives de biens intermédiaires (sidérurgie, ciment) et de biens d'équipement (machines outil et informatique) rendaient l'effet de structure plus difficile à mettre en évidence à un niveau aussi grossier de la nomenclature. Enfin à court terme la demande d'énergie peut fluctuer en fonction des variations de prix et de la demande globale. Ainsi estimer une équation de demande d'énergie globale se heurte à la difficulté de séparer les effets de court terme et de long terme sur les mêmes variables.

Plusieurs méthodes peuvent être mises en oeuvre. La méthode traditionnelle consiste à estimer une fonction de demande globale par des moindres carrés ordinaires en niveau ou en taux de croissance. La seconde, plus moderne, consiste à procéder en deux temps. Tout d'abord, on cherche la relation de long terme entre la demande, les prix relatifs, le revenu (et éventuellement l'effet de structure) par une méthode de cointégration des séries; ensuite on estime la relation de court terme en supposant que la relation de long terme joue comme une "force de rappel" : modélisation à correction d'erreur. En quelque sorte, la demande d'énergie fluctue à court terme autour d'une demande désirée de long terme. Dans la suite nous présenterons les résultats des deux méthodes. Cependant, à titre liminaire, nous allons d'abord aborder les problèmes de spécification et de mesure.

1.2. Le modèle général proposé

Le modèle le plus général en niveau est le suivant²³ :

$$(1) \quad LDIS = a + b * temps + c * STRU + d * LPIBT + e * LPR$$

La définition des variables est la suivante :

$LDIS = \text{Log}(DIS / PIBZ)$ est le logarithme de l'intensité énergétique primaire globale. Au numérateur se trouvent les disponibilités en charbon, gaz naturel, électricité primaire et pétrole en millions de TEP, c'est à dire en quantités physiques pondérées par les coefficients de conversion énergétique. Les disponibilités en bois et autres

²³ voir Houthakker et Taylor (1970) et Houthakker et Kennedy (1979), et Vallet (1978) pour la France.

énergies nouvelles (éolienne par exemple) ont été exclues parce qu'on ne disposait pas sur longue période d'un

indice de prix de ces énergies²⁴. Les séries et leur mode de calcul sont présentées dans Rouchet (1997-a). Au dénominateur se trouve le PIB marchand en francs constants de 1980 (séries Toutain de 1820 à 1889, Villa de 1890 à 1948, INSEE base 1970 de 1949 à 1969 et base 1980 à partir de 1970, raccordées).

LPIBT est le logarithme du PIB marchand par tête²⁵. C'est un indicateur de la richesse des individus. Cette variable peut avoir un signe positif ou négatif selon que l'élasticité de la demande d'énergie par rapport au PIB est supérieure ou inférieure à 1.

LPR est le logarithme du prix relatif de l'énergie par rapport au prix du PIB ou de la consommation. Le prix de l'énergie est, sur la période de 1949 à 1996, le prix à la consommation INSEE. Pour les années antérieures le prix a été calculé comme un indice pondéré par les différentes disponibilités en énergie :

$$(2) \quad PXE = \sum_{i=1}^4 (PXE_i \cdot DIS_i / DIS) \text{ avec } DIS = \sum_{i=1}^4 DIS_i$$

Le calcul est fait pour le charbon, l'électricité primaire, le gaz naturel et le pétrole. Les prix élémentaires de l'énergie sont tirés des statistiques séculaires de Fourastié (1962) et de l'INSEE disponibles de 1900 à 1957. Cet indice a ensuite été raccordé à l'indice INSEE en 1949. Le prix de l'électricité est le tarif de la première tranche, le prix du charbon est le prix de gros moyen à l'extraction du charbon et du lignite, le prix du pétrole est le prix du litre au détail à Paris et le prix du gaz, le prix à la consommation du m3 TTC.

La variable *STRU* représente l'effet de structure de la demande d'énergie dans le secteur productif marchand²⁶. Sur longue période, et de manière grossière, on peut le décomposer en trois : le primaire, le secondaire et le tertiaire. Dans ce cas il suffit d'introduire comme variables exogènes dans l'équation, la part des valeurs ajoutées primaire et secondaire dans la valeur ajoutée totale marchande hors énergie, soit :

$$(3) \quad ZPRIM = \frac{VAZU01}{VAZ}$$

²⁴ Nous présentons en annexes 3 et 4 des estimations avec le bois afin de montrer la robustesse des résultats.

²⁵ rapporté à la population totale annuelle moyenne calculée à l'aide des publications INSEE : moyenne simple entre les données du 1er janvier et du 31 décembre.

²⁶ voir Chateau et Lapillonne (1977), Martin, Chateau, Criqui et Lapillonne (1984), ou Howarth, Schipper et Andersson (1993).

$$(4) \quad ZSEC = \frac{\sum_{i=02}^{07} VAZU0i}{VAZ}$$

$$(5) \quad ZTER = \frac{\sum_{i=08}^{13} VAZU0i}{VAZ} = 1 - ZPRIM - ZSEC$$

où U01 représente l'agriculture et U0i représente l'indice des secteurs marchands U02 à U13 de la nomenclature U²⁷. VAZU0i est la valeur ajoutée de la branche en francs constants 1980 et VAZ la somme des valeur ajoutées en volume des branches marchandes hors énergie.

Mais ces variables sont trop grossières pour prendre en compte l'effet de structure dans l'après guerre. C'est pourquoi nous avons utilisé aussi un indicateur plus détaillé correspondant toujours à la nomenclature U :

$$(6) \quad STRU = \sum_{i=1}^{13} \frac{z_i}{z} (y_i - y80_i)$$

$$\text{où : } z_i = \frac{E_i}{Y_i}, \quad z = \frac{\sum_{i=1}^{13} E_i}{\sum_{i=1}^{13} Y_i}, \quad y_i = \frac{Y_i}{Y}, \quad Y = \sum_{i=1}^{13} Y_i$$

z_i représente l'intensité énergétique de la branche (i) et z l'intensité énergétique moyenne des branches non marchandes, mesurées par les coefficients techniques en énergie de la

nomenclature U : $z_i = \frac{E_i}{Y_i} = \frac{CIZU0i}{VAZU0i}$ où $CIZU0i$ est la consommation intermédiaire en

énergie de la branche $U0i$ en francs 1980²⁸. Y_i est la valeur ajoutée de la branche (i), y_i est la structure de la valeur ajoutée et $y80_i$ est la même structure en 1980 (année de base). Le calcul est mené pour l'ensemble des branches marchandes, à l'exclusion de l'énergie (branche U03).

²⁷ La branche énergie U03 a été exclue ainsi que la branche non marchande U14. La nomenclature est donnée en annexe 4, note 32, page 61..

²⁸ Les branches de biens d'équipement ont été regroupées (U05) ainsi que les services U10+U11 et les institutions financières U12+U13.

Les valeurs postérieures à 1970 sont calculées en base 1980 à prix 1980; elles ont été rétropolées jusqu'en 1949 à partir des données de la base 1970.

Lorsqu'on voudra que l'effet de structure n'ait qu'un impact conjoncturel, on le calculera par :

$$(7) \quad DSTRU = \sum_{i=1}^{13} \frac{z_i(t)}{z(t)} (y_i(t) - y_i(t-1))$$

Enfin *temps* est la tendance déterministe.

C'est à estimer ce modèle général que sont dévolus les deux paragraphes suivants.

3. L'ESTIMATION DE LA DEMANDE D'ÉNERGIE AVANT LA SECONDE GUERRE MONDIALE

3.1. L'estimation par les méthodes traditionnelles

Le modèle estimé est de la forme :

$$(8) \quad LDIS = a1 + a2 * ZPRIM + a3 * ZSEC + a4 * LPIBT - a5(L) * LPR + a6 * temps$$

LDIS est le logarithme de l'intensité énergétique primaire, *LPIBT* le logarithme du PIB marchand en volume par tête, *LPR* le logarithme des prix relatifs de l'énergie par rapport au prix du PIB marchand, *ZPRIM* la part de la valeur ajoutée agricole, *ZSEC* la part de la valeur ajoutée de l'industrie y compris Bâtiment et Travaux Publics, enfin *temps* la tendance.

a5(L) est un polynôme de retards.

Les estimations des coefficients de retards ont été réalisées par la méthode d'Almon en prenant un polynôme de degré 1 ou 2 et en contraignant le quatrième retard à 0. Si la somme des effets prix est significativement différente de zéro, la structure des retards est mal estimée et en grande partie arbitraire (voir tableau 1). Toutefois les estimations traditionnelles amènent aux conclusions suivantes :

- on ne peut estimer simultanément la tendance du progrès technique et l'effet de richesse mesuré par le PIB marchand par tête parce que cette variable présente une tendance linéaire sur la période.
- l'effet de structure est très important. La baisse de la part de l'agriculture correspond à une hausse de l'intensité énergétique. Cependant la hausse de la part de l'industrie a un effet négatif contraire au signe attendu. On peut y voir l'effet du progrès technique qui pousse à économiser l'énergie dans la sidérurgie ou le ciment

et aussi le développement des consommations pour le transport qui fait partie du tertiaire.

L'élasticité au PIB par tête est estimée de manière robuste (lorsqu'on retire la tendance) et vaut environ 0,3.

L'élasticité aux prix relatifs est aussi très robuste et vaut environ 0,11 à long terme. Mais la structure de retard estimée est assez imprécise et somme toute peut-on se contenter de supprimer les effets prix retardés.

En conclusion la meilleure estimation traditionnelle est celle des moindres carrés ordinaires, mais les coefficients peuvent être biaisés par un effet de régression fallacieuse.

Tableau 1 :

*Demande d'énergie LDIS (période 1900-1938 : 39 observations)
Estimation par les méthodes traditionnelles(1)*

| LDIS | MCO (2) | ALMON | ALMON | ALMON | ALMON | ALMON | ALMON |
|--------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|--------------------|--------------------|
| Constante | -10,48 (0,86) | -10,43 (0,92) | -10,43 (0,91) | -10,53 (0,94) | -10,55 (0,92) | -7,88 (0,27) | -7,82 (0,27) |
| ZPRIM | -3,02 (0,41) | -3,04 (0,46) | -3,04 (0,45) | -3,12 (0,46) | -3,12 (0,46) | -3,25 (0,57) | -3,43 (0,55) |
| ZSEC | -2,17 (0,24) | -2,16 (0,28) | -2,15 (0,27) | -2,34 (0,26) | -2,34 (0,26) | -1,76 (0,33) | -1,77 (0,33) |
| LPIBT | 0,31 (0,09) | 0,30 (0,09) | 0,30 (0,09) | 0,32 (0,09) | 0,32 (0,09) | - | - |
| LPR(3) | -0,11 (0,03) | -0,12 (0,04) | -0,12 (0,04) | -0,13 (0,04) | -0,13 (0,04) | -0,20 (0,04) | -0,20 (0,04) |
| DLPBZ | - | 0,0075 (0,09) | - | 0,018 (0,09) | - | 0,11 (0,10) | - |
| Tendance | - | - | - | - | - | 0,0027 (0,0012) | 0,0023 (0,0011) |
| Degré poly. | - | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| nb retards | 0 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 |
| Retard moyen | 0 | 0,11 (0,96) | 0,11 (0,92) | 1,0 (2,91) | 1,0 (2,89) | 1,0 (1,08) | 1,0 (1,11) |
| R^2 | 0,89 | 0,89 | 0,89 | 0,88 | 0,88 | 0,86 | 0,86 |
| DW | 2,44 | 2,42 | 2,40 | 2,37 | 2,34 | 2,25 | 2,12 |

(1) entre parenthèses les écarts-type.

(2) meilleure estimation.

- (3) effet de long terme.
 (4) variation du log de PIB/PIB(-1) : effet conjoncturel.

3.2. L'estimation par la cointégration

On commence par tester le degré d'intégration des séries. On constate (voir tableau 2) que le logarithme de l'intensité énergétique, du PIB par tête et du prix relatif moyen de l'énergie, ainsi que la part de l'agriculture et de l'industrie sont des variables toutes intégrées d'ordre 1.

Tableau 2 :

Test d'intégration (1900-1938 et 35 degré de liberté)(1)

| Variabes | test DF | I(1) | nombre de retards optimal |
|----------|---------|------|---------------------------|
| LDIS | -1,27 | oui | 3 |
| ZPRIM | -1,56 | oui | 2 |
| ZSEC | -2,14 | oui | 2 |
| LPIBT | -1,45 | oui | 2 |
| LPR | -2,02 | oui | 3 |

(1) avec constante et sans tendance, la valeur critique du test de Dickey-Fuller est de -3,56 (voir tableau B6, Hamilton, p. 763). Le nombre de retards optimal est choisi de manière à maximiser la vraisemblance.

Ensuite on teste les relations de cointégration entre ces variables. Une relation de cointégration, ou relation de long terme, est acceptée si les coefficients en sont significatifs et si le résidu n'est pas intégré. Les tests sont présentés dans le tableau 3 et montrent qu'il existe une relation de long terme robuste entre les cinq variables (voir EQ1).

Tableau 3 :

Relations de cointégration (variable dépendante : LDIS)(1)

| Variabes | EQ1 | EQ2 |
|----------|-------------|-------------|
| LPIBT | 0,31(0,09) | 0,48(0,08) |
| LPR | -0,12(0,03) | -0,04(0,06) |
| ZPRIM | -3,01(0,41) | - |
| ZSEC | -2,17(0,24) | - |

| | | |
|----------------------|--------------|--------------|
| Constante | -10,48(0,86) | -13,64(0,74) |
| R^2 | 0,89 | 0,53 |
| DW | 2,44 | 0,79 |
| Test DF(sans retard) | -7,34 | -2,77 |
| Résidu : I(1) | Non | Oui |
| Conclusion | Acceptée | Refusée |

(1) La valeur critique du test de Dickey-Fuller à 5% avec constante (table de Phillips-Ouliaris) est de -4,45 pour 4 variables explicatives et -3,77 pour 2 variables explicatives : voir Hamilton, table B9, case 2, p. 766. Elle est de -4,16 et -3,45 à 10%. Les valeurs des tests correspondent ici à des retards nuls.

Enfin, on estime la relation de court terme qui explique la variation du logarithme du taux d'intensité énergétique en fonction des variables conjoncturelles (variation des prix relatifs, du PIB par tête et des effets de structure) ainsi que d'une force de rappel (résidu retardé de l'équation de long terme) :

$$DLDIS = a1 * DZPRIM + a2 * DZSEC - a3 * DLPIBT - a4 * DLPR - a5 * U(-1)$$

$$\text{avec : } DLDIS = LDIS - LDIS(-1)$$

$$DZPRIM = ZPRIM - ZPRIM(-1)$$

$$DZSEC = ZSEC - ZSEC(-1)$$

$$DLPIBT = LPIBT - LPIBT(-1)$$

$$DLPR = LPR - LPR(-1)$$

$U(-1)$ est le résidu retardé d'une période de la relation de cointégration.

Les résultats du tableau 4 (équation EQ1) montrent que toutes les variables ont un effet conjoncturel significatif en plus de l'effet de long terme. La relation de court terme correspondant à l'équation EQ2 n'étant pas d'aussi bonne qualité, on est conduit à rejeter ce modèle partiel.

Tableau 4 :

Relations de court terme : variable dépendante $DLDIS(1)$

| DLDIS | DZPRIM | DZSEC | DLPIBT | DLPR | U(-1) | R^2 | DW |
|--------------|-----------------|-----------------|----------------|-----------------|-----------------|-------|------|
| MCO (EQ1) | -2,79 (0,53) | -1,95 (0,50) | 0,27 (0,12) | -0,11 (0,04) | -1,22 (0,17) | 0,69 | 1,98 |
| MCO (EQ2) | -2,29 (0,76) | -1,39 (0,70) | 0,35 (0,18) | -0,10 (0,06) | -0,30 (0,12) | 0,36 | 2,72 |

Evolution sur longue période de l'intensité énergétique

(1) période 1900- 1938. $U(-1)$ est le résidu retardé de la relation de cointégration.

Si l'on tient compte des fluctuations de court terme, l'intensité énergétique jusqu'à la deuxième guerre mondiale est donc très sensible aux effets de structure, a une élasticité à la richesse proche de 0,30 à long terme et une sensibilité aux prix relatifs de -0,10 environ, significativement différente de 0.

4. L'ESTIMATION DE LA DEMANDE D'ÉNERGIE APRÈS LA SECONDE GUERRE MONDIALE

4.1. Les estimations par les méthodes traditionnelles

L'équation générale estimée est de la forme :

$$(9) \quad LDIS = a1 + a2 * temps + a3 * STRU + a4 * LPIBT - a5(L) * LPR$$

$LPIBT$ est le logarithme du PIB marchand en volume par tête.

$STRU$ est l'effet de structure définie par l'équation (6).

LPR est le logarithme du prix à la consommation finale d'énergie au prix de la consommation finale totale. Cette variable prend donc en compte l'effet du prix relatif et de la taxation.

$LPIBT$ est le logarithme du PIB par tête.

$a5(L)$ est un polynôme de retard.

Les résultats sont donnés dans le tableau 5. L'effet de structure quelque soit sa mesure n'est jamais significatif. Plusieurs explications peuvent être données. Tout d'abord la part de la valeur ajoutée agricole présente une tendance qui est corrélée avec la tendance temporelle sensée représenter le progrès technique²⁹. En outre la part du secteur secondaire est non significativement différente de 0 : la diminution de la part de la valeur ajoutée de la sidérurgie et des ciments a été compensée par l'augmentation de la part des transports. Il en résulte que la part des industries intermédiaires et du secteur des transports et télécommunications ne sont pas des variables explicatives de l'intensité énergétique moyenne³⁰. Force est donc de mesurer l'effet de structure par un indicateur global : nous avons pris la variable $STRU$ définie par l'équation (6). Les résultats économétriques ci-dessous montrent que cette variable n'est pas significative. Cela suggère que le développement des transports peut avoir compensé la baisse de la part des industries intermédiaires ou que le niveau sectoriel utilisé est trop gros grossier : peut-être faudrait-il utiliser la nomenclature en 40 secteurs (nomenclature T de l'INSEE) pour mesurer un effet de structure significatif ?

L'estimation par les moindres carrés ordinaires en imposant un retard, ou en fixant une structure de retards par la méthode d'Almon, donne une tendance de -1,3 % environ, une élasticité au PIB par tête de 0,20 et une élasticité aux prix relatifs de -0,10 environ. Si la somme des effets prix est significativement différente de 0, en revanche la structure des retards est arbitraire et le délai moyen ne peut être estimé de manière satisfaisante. En conséquence, l'estimation par les moindres carrés ordinaires avec un retard d'un an pour les

²⁹ La colinéarité de la part de l'agriculture et du temps rend la tendance non significative.

³⁰ Les variables ZSEC (équation 4), ZU04=VAZU04/VAZ (part de la valeur ajoutée des biens intermédiaires) et ZU09=VAZU09/VAZ (part de la valeur ajoutée des transports et télécommunications) ne sont pas significatives.

effets prix est suffisante. Son pouvoir explicatif est de 89%, mais les résidus présentent une autocorrélation du premier ordre positive de 0,7 qui ne peut être corrigée de manière satisfaisante par une méthode de type Cochrane-Orcutt.

Tableau 5 :

Variable dépendante LDIS (période 1953-1996)

| LDIS | MCO | MCO | ALMO N | ALMO N | ALMO N | ALMO N | AR1 | AR1 |
|----------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|--------------------|---------------------|---------------------|
| cste | -10,85 (0,45) | -11,57 (0,89) | -11,62 (0,97) | -1,75 (0,90) | -10,97 (0,48) | -11,03 (0,46) | -10,27 (1,32) | -10,38 (1,06) |
| tendance | -0,0126 (0,0018) | -0,0142 (0,0027) | -0,0139 (0,0029) | -0,0144 (0,0027) | -0,0122 (0,0019) | -0,125 (0,0018) | -0,0092 (0,0047) | -0,0094 (0,0035) |
| STRU | - | -0,21 (0,22) | -0,16 (0,21) | -0,19 (0,20) | - | - | - | - |
| LPIBT | 0,20 (0,06) | 0,28 (0,10) | 0,26 (0,11) | 0,27 (0,10) | 0,19 (0,06) | 0,20 (0,06) | 0,10 (0,16) | 0,10 (0,12) |
| LPR total | - | - | -0,13 (0,06) | -0,13 (0,06) | -0,12 (0,06) | -0,11 (0,05) | -0,13 (0,12) | -0,16 (0,10) |
| LPR | - | - | -0,03 (0,07) | -0,05 (0,02) | -0,01 (0,064) | -0,05 (0,02) | -0,18 (0,07) | -0,06 (0,04) |
| LPR(-1) | -0,10 (0,05) | -0,12 (0,05) | -0,04 (0,02) | -0,04 (0,02) | -0,04 (0,016) | -0,03 (0,016) | -0,04 (0,04) | -0,05 (0,03) |
| LPR(-2) | - | - | -0,04 (0,04) | -0,03 (0,01) | -0,04 (0,036) | -0,02 (0,01) | 0,04 (0,04) | -0,03 (0,02) |
| LPR(-3) | - | - | -0,03 (0,04) | -0,01 (0,005) | -0,03 (0,03) | -0,01 (0,005) | 0,05 (0,04) | -0,02 (0,01) |
| délai moyen | 1 | 1 | 1,5 (5,5) | 1,0 (3,8) | 1,8 (8,0) | 1,0 (4,8) | 1,4 (8,8) | 1,0 (4,4) |
| degré poly. | - | - | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 |
| R^2 | 0,89 | 0,90 | 0,90 | 0,90 | 0,90 | 0,89 | 0,48 | 0,59 |
| DW | 0,68 | 0,71 | 0,73 | 0,70 | 0,73 | 0,67 | 1,45 | 1,39 |

4.2. Les estimations par la cointégration

Selon les tests d'intégration, toutes les séries sont intégrées d'ordre 1 avec tendance déterministe et constante (voir tableau 6).

Tableau 6 :

Tests d'intégration (période 1953-1996)(1)

| variable | test DF | I(1) | nombre de retards optimal |
|----------|---------|------|---------------------------|
| LDIS | -1,77 | Oui | 3 |
| STRU | -2,80 | Oui | 3 |
| LPIBT | -0,44 | Oui | 3 |
| LPR | -1,97 | Oui | 2 |

(1) avec constante et tendance, et 40 degrés de liberté, la valeur critique du test de Dickey-Fuller à 5% est de -3,66 : voir Hamilton, cas 4, table B6, p.763, interpolée pour 40 points. Le retard optimal est choisi en maximisant la vraisemblance.

Il est donc possible d'envisager une relation de long terme de cointégration entre ces variables. Nous l'avons estimée par les moindres carrés ordinaires. Les résultats sont donnés dans le tableau 7.

Tableau 7 :

Relations de cointégration (variable dépendante LDIS, période 1953-1996)(1)

| variables | EQ1 | EQ2 |
|----------------------|----------------|----------------|
| STRU | -0,19(0,20) | - |
| LPIBT | 0,28(0,10) | 0,20(0,06) |
| LPR(-1) | -0,12(0,05) | -0,10(0,05) |
| tendance | -0,014(0,0027) | -0,013(0,0018) |
| constante | -11,57(0,87) | -10,85(0,45) |
| R^2 | 0,90 | 0,89 |
| DW | 0,71 | 0,68 |
| test DF | -3,15 | -3,10 |
| valeur critique (5%) | -4,16 | -3,80 |
| I(1) | ambigü | non |
| conclusion | ambigü | acceptée |

(1) valeurs critiques données pour 500 points avec constante et tendance par la table de Phillips-Ouliaris, voir Hamilton table B9, cas 3, p. 766. A 10% les valeurs critiques pour 3 et 2 variables explicatives sont -3,84 et -3,52. Le nombre de retards optimal est de 3 et maximise la vraisemblance.

Ces relations montrent qu'on peut accepter à l'extrême limite une relation de cointégration faisant dépendre à long terme le taux d'intensité énergétique primaire du PIB par tête, des prix relatifs et d'une tendance du progrès technique. En revanche l'effet de structure n'est pas significatif à long terme, sans doute parce que le progrès technique est prépondérant et que le niveau d'agrégation choisi est trop grossier.

On estime ensuite la relation de court terme par un modèle VAR avec correction d'erreur. La formule adoptée (en faisant apparaître les signes des coefficients) est la suivante :

$$DLDIS = a1 * DSTRU - a2 * DLPIBT - a3(L) * DLPR - a4 * U(-1)$$

DSTRU est la variation de l'effet de structure donné par la formule (7).

DLPIBT est la variation du logarithme du PIB en volume par tête.

DLPR est la variation du logarithme du prix relatif à la consommation de l'énergie.

U(-1) est le résidu de la relation de long terme retardé d'un an.

a3(L) est un polynôme de retard.

L'estimation par les moindres carrés ordinaires (EQ2) montre qu'à court terme l'élasticité de la variation de l'intensité énergétique primaire a une élasticité de 0,48 par rapport à l'effet de structure, de -0,26 par rapport aux variations du PIB par tête et de -0,22 par rapport aux variations des prix relatifs. Cela montre que la demande d'énergie est relativement rigide à court terme et qu'elle est peu sensible à la richesse à court terme. Toutefois l'estimation est peu précise puisqu'elle n'explique que 33% de la variance.

Tableau 8 :

Relations de court terme (période 1953-1996)

| DLDIS | EQ2 | EQ2 | EQ2 | EQ2(*) | EQ1 | EQ1 | EQ1 | EQ1(*) |
|-----------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| DSTRU | 0,62 (0,278) | 0,57 (0,26) | 0,51 (0,27) | 0,48 (0,26) | 0,61 (0,26) | 0,56 (0,26) | 0,48 (0,27) | 0,46 (0,26) |
| DLPIBT | -0,24 (0,11) | -0,25 (0,11) | -0,25 (0,11) | -0,26 (0,11) | -0,24 (0,12) | -0,24 (0,11) | -0,25 (0,11) | -0,26 (0,11) |
| DLPR | - | -0,12 (0,08) | - | -0,22 (0,11) | - | -0,12 (0,08) | - | -0,23 (0,10) |
| DLPR(-1) | - | - | -0,12 (0,08) | - | - | - | -0,13 (0,08) | - |
| U(-1) | -0,34 (0,12) | -0,30 (0,12) | -0,35 (0,12) | -0,30 (0,12) | -0,35 (0,12) | -0,30 (0,12) | -0,36 (0,12) | -0,30 (0,12) |
| <i>R</i> ² | 0,26 | 0,30 | 0,30 | 0,33 | 0,25 | 0,30 | 0,30 | 0,33 |
| DW | 1,48 | 1,49 | 1,41 | 1,34 | 1,50 | 1,50 | 1,42 | 1,34 |

(*) prix pondérés par $0,6 * DLPR + 0,4 * DLPR(-1)$.

Ainsi une méthode de cointégration aboutit à une tendance très élevée, à une élasticité-revenu de la demande d'énergie nettement supérieure à 1 et à une élasticité-prix à long terme significativement négative. Toutefois l'estimation de court terme par le modèle

VAR à correction d'erreur est peu fiable et seule l'équation de long terme nous semble robuste bien que la cointégration ne soit pas clairement confirmée par les tests.

4.3. Discussion sur le choix des variables explicatives

Afin d'évaluer la robustesse des estimations, il est utile d'étudier des spécifications avec d'autres variables explicatives. Dans ce paragraphe nous étudierons successivement le rôle du coût du capital, l'influence de la rigueur climatique et les conséquences du choix de la période d'estimation sur l'effet de structure et la tendance.

4.3.1. L'influence du coût d'usage du capital

Cette approche est centrée sur le coût relatif de l'énergie par rapport au capital. Plus précisément, afin de choisir la technique de production, les entreprises doivent répartir sur la durée de vie du capital le coût de l'énergie. Ainsi, en raison de l'irréversibilité de l'investissement telle qu'on peut la modéliser dans un modèle Putty-Clay, le choix de la technique de production doit s'effectuer en fonction du prix anticipé de l'énergie.

Le coût d'usage relatif du capital est calculé comme le rapport du prix du capital actualisé au prix de l'énergie (voir annexe 1) :

$$CUK = \frac{p_E}{p_K(r - \hat{p}_E + d)}$$

où p_E est le prix de l'énergie, p_K est le prix du capital, r est le taux d'intérêt, d est le taux d'amortissement du capital et \hat{p}_E est le taux de croissance anticipé du prix de l'énergie. Ce dernier est calculé par une formule adaptative à partir des taux de croissance du prix de l'énergie sur 4 années tandis que le prix du capital est approximé par le prix du PIB marchand.

Le prix relatif de l'énergie p_E/p_K devrait avoir un effet négatif sur l'intensité énergétique. De plus un taux d'intérêt élevé augmente le coût du capital et réduit le coût actualisé de l'énergie lorsqu'on escompte le coût de l'énergie dans le futur en fonction du capital utilisé. Ainsi le taux d'intérêt devrait avoir un impact positif sur la demande d'énergie des entreprises. De même une anticipation de croissance du prix de l'énergie réduit le coût actualisé du capital et doit avoir un effet négatif sur la demande d'énergie.

Les tests de racine unitaire montrent que le coût relatif des facteurs est une variable intégrée d'ordre 1. Mais le test de la relation d'intégration montre que le coût d'usage relatif

du capital a un effet positif sur la demande d'énergie avant la deuxième guerre mondiale. Ce signe est l'opposé du signe attendu et l'équation ne peut donc être retenue. Sur l'après guerre le coût d'usage n'est jamais significatif. Les entreprises n'ont en effet pas anticipé correctement les prix de l'énergie lors des chocs pétroliers. Ainsi la croissance de l'intensité énergétique aurait été plus faible avant 1975 et plus forte après le contre-choc pétrolier si les anticipations avaient été correctes et si la demande d'énergie correspondait à ce modèle.

Les résultats sont donc négatifs : le taux d'intérêt réel et le taux de croissance anticipé du prix de l'énergie n'ont pas eu d'effet significatif sur la demande d'énergie sur les 35 dernières années.

4.3.2. L'effet de rigueur climatique

Les séries utilisées pour les estimations ne sont pas corrigées des effets de rigueur climatique. Or les observations montrent que les fluctuations de court terme de la demande d'énergie dépendent du climat. En outre la part de la consommation des ménages pour le chauffage augmente au cours du temps. Les ménages chauffent plus leur logement rendant la demande globale d'énergie plus sensible au climat. Il faudrait donc estimer un modèle du type :

$$\frac{E}{PIB} = \left(\frac{E}{PIB} \right)^d (1 + a \text{ RIGUEUR})$$

où RIGUEUR est la correction pour les effets climatiques calculée en degré-jour unifiés par rapport à une norme moyenne, et $\frac{E}{PIB}$ ainsi que $\left(\frac{E}{PIB} \right)^d$ sont les intensités énergétiques observées et désirées pour une norme moyenne de climat.

En passant en logarithme on obtient :

$$\text{Log} \left(\frac{E}{PIB} \right) = \text{Log} \left(\frac{E}{PIB} \right)^d + a \text{ RIGUEUR}$$

Il suffit donc d'ajouter la variable explicative RIGUEUR aux équations estimées précédemment. Il reste cependant à tester si l'effet climatique a un impact à court terme où à long terme.

Les résultats sont malheureusement très décevants. La variable RIGUEUR n'est pas intégrée d'ordre 1 comme les autres variables, mais dans une équation économétrique de long terme elle a un effet significativement positif alors qu'elle n'est jamais significative dans les équations de court terme (voir annexes 2, 3 et 4). Cela montre qu'elle prend un effet de tendance qui ne peut être que l'évolution à long terme de la part du chauffage des ménages dans la demande globale d'énergie. Toutefois en contrôlant la régression par l'effet de rigueur, les autres effets sont assez stables : l'élasticité au PIB par tête est de 1,11, celle aux prix relatifs de -0,13 et la tendance est de -1%. Ceci montre la robustesse de la spécification adoptée.

4.3.3. La stabilité temporelle de l'estimation de la demande d'énergie

De manière surprenante l'effet de structure n'est pas significatif à long terme alors que la tendance est assez forte. Or l'intensité énergétique diminue dans les années 1950, est relativement constante dans les années 1960 et décroît depuis le premier choc pétrolier. Cette évolution est parallèle à celle des prix relatifs. Pour voir si l'estimation de l'effet prix relatif est robuste nous avons estimé l'équation de long terme sur la période 1970 à 1996. Les résultats sont donnés dans le tableau 9 ci-dessous.

Tableau 9 :

Estimation de l'intensité énergétique y compris bois (MCO)

| LDIS | constante | STRU | LPIBT | LPR(-1) | RIGUEUR | DW | R^2 |
|-----------|-----------------|----------------|-----------------|-----------------|----------------|------|-------|
| 1970-1996 | -5,66 (0,70) | 0,97 (0,41) | -0,39 (0,07) | -0,09 (0,05) | - | 0,93 | 0,91 |
| 1970-1996 | -6,73 (0,65) | 1,08 (0,34) | -0,32 (0,06) | -0,13 (0,04) | 0,25 (0,07) | 0,73 | 0,94 |

La tendance n'est plus significative car l'effet de structure présente sur cette période une tendance temporelle. De plus l'élasticité au PIB est inférieur à 1 en revanche l'élasticité prix reste proche de -0,10. La modification de la structure au cours des années 1970 et 1980 explique donc indirectement la tendance fortement décroissante de l'intensité

énergétique. Ce résultat paraît contradictoire avec l'estimation sur longue période. Toutefois on peut le remettre en cause dans la mesure où la période d'estimation est courte et où l'effet de structure ici choisi dépend fortement du niveau de désagrégation adopté pour calculer la variable.

5. CONCLUSION

L'intensité énergétique primaire semble être le bon concept pour mesurer et estimer la demande d'énergie sur longue période. Les tests économétriques montrent que la théorie traditionnelle selon laquelle la demande macroéconomique d'énergie est une fonction croissante de la richesse par tête, décroissante des prix relatifs de l'énergie, et dépend d'effets de structure est assez bien vérifiée. Avant, comme après la deuxième guerre mondiale, l'élasticité de la demande au revenu sur longue période est de l'ordre de 1,2 à 1,3, alors que l'élasticité négative aux prix relatifs est environ de 0,1. Si l'effet de structure est crucial pour expliquer la demande d'énergie avant 1938, il n'en est pas de même après 1949, en raison sans doute de la diversification des ressources énergétiques et de la diversification de l'appareil industriel. Enfin il est apparu depuis la deuxième guerre mondiale une tendance de progrès technique dans l'utilisation de l'énergie qu'on peut évaluer à 1,0% sur longue période. Toutefois cette tendance temporelle est fortement corrélée à l'effet de structure depuis 1970 qui rend la tendance non significative. Mais cette constatation est à relativiser dans la mesure où la disparition de la tendance du progrès technique correspond aux chocs pétroliers. Ainsi le résultat peut être seulement une apparence liée à la corrélation des variables exogènes alors que la tendance du progrès technique est un phénomène séculaire. Malgré tout l'élasticité prix est robuste au choix de la période. Ce dernier point est important en prévision, si l'on veut estimer la demande d'énergie de la France pour les 10 ou 20 prochaines années, dans le cadre d'une stabilité du prix relatif de l'énergie et d'une croissance relativement forte. Dans la perspective d'une discussion sur les économies d'énergie à long terme, les estimations économétriques robustes sur longue période, comme celles que nous avons présentées, prennent tout leur sens. Elles suggèrent qu'une analyse macroéconomique et une méthode de prévision traditionnelles ne sont pas à réfuter même dans un domaine aussi particulier que l'énergie.

ANNEXE 1 :

ESTIMATION AVEC LE COÛT D'USAGE DU CAPITAL (VOIR WIRL (1991) ET KAUFFMANN (1994))

Nous avons aussi estimé une équation avec le coût d'usage du capital.

(A1)

$$LDIS = a1 + a2 * temps + a3 * ZPRIM + a4 * ZSEC + a5 * LPIBT - a6 * LCUK$$

$LCUK$ est le logarithme du coût d'usage relatif de l'énergie par rapport au coût du capital :

$$(A2) \quad LCUK = \text{Log}(CUK)$$

$$(A3) \quad CUK = \frac{C_E}{C_K}$$

$$(A4) \quad C_E = p_E$$

$$(A5) \quad C_K = p_K (r - \hat{p}_E + d)$$

CUK est le coût relatif de l'énergie par rapport au coût du capital, C_E est le prix moyen de l'énergie, C_K est le coût du capital, r est le taux de rendement réel des obligations de deuxième catégorie (source INSEE), \hat{p}_E est le taux de croissance du prix de l'énergie et d est le taux de déclassement du capital en matériel. \hat{p}_E est calculé à l'aide des poids 0,4 ; 0,3 ; 0,2 ; 0,1. r est le taux de rendements obligations de deuxième catégorie. Le coût relatif des facteurs revient à répartir le prix de l'énergie sur la période d'usage du capital. Ici cette période est infinie avec un taux de déclassement exponentiel mais variable calculé en supposant que le capital a en moyenne une durée de vie constante répartie selon une loi log-normale.

On s'attend à ce que le prix de l'énergie ait un effet négatif sur la demande, mais qu'une hausse du taux d'intérêt réel corrigé de la dépréciation du capital ait un effet positif sur la demande d'énergie. En effet une hausse du taux d'intérêt ou une baisse du taux de croissance anticipé du prix de l'énergie renchérisse le capital et incitent à utiliser des techniques plus intensives en énergie.

Evolution sur longue période de l'intensité énergétique

Les résultats sont donnés dans le tableau suivant :

| LDIS | a1 | a2 | a3 | a4 | a5 | a6 | R ² | DW |
|-----------|------------------|---------------------|-----------------|-----------------|----------------|--------------------|----------------|------|
| 1900-1938 | -10,86 (0,70) | - | -2,78 (0,33) | -2,27 (0,22) | 0,34 (0,07) | -0,034 (0,0067) | 0,91 | 1,95 |
| 1953-1996 | -10,61 (0,51) | -0,0136 (0,0018) | - | - | 0,23 (0,06) | 0,006 (0,010) | 0,88 | 0,65 |

Les estimations montrent qu'avant la deuxième guerre mondiale le coût relatif des facteurs aurait eu un effet positif sur la demande d'énergie. Ce résultat est assez improbable. Sur l'après guerre le signe du coût relatif est négatif, mais non significatif. Il est toutefois remarquable que ces estimations ne remettent pas en cause l'ordre de grandeur des autres coefficients. Peut-être l'idée d'une durée de vie infinie du capital, même avec ajustement exponentiel, est-elle trop frustrante et de toute façon elle ne correspond pas exactement avec la méthode statistique de calcul du taux de déclassement.

ANNEXE 2 :*ESTIMATION AVEC L'EFFET DE RIGUEUR CLIMATIQUE*

Nous présentons dans cette annexe les estimations sur l'après guerre tenant compte des effets de rigueur climatique. La statistique *RIGUEUR* est calculée en degrés jour unifiés par rapport à une norme moyenne. La méthode utilisée est celle des moindres carrés ordinaires. La variable *RIGUEUR* n'est pas intégrée d'ordre 1. Elle ne devrait donc pas intervenir dans une relation de long terme. Les résultats sont cependant assez robustes pour le PIB par tête et les prix-relatifs.

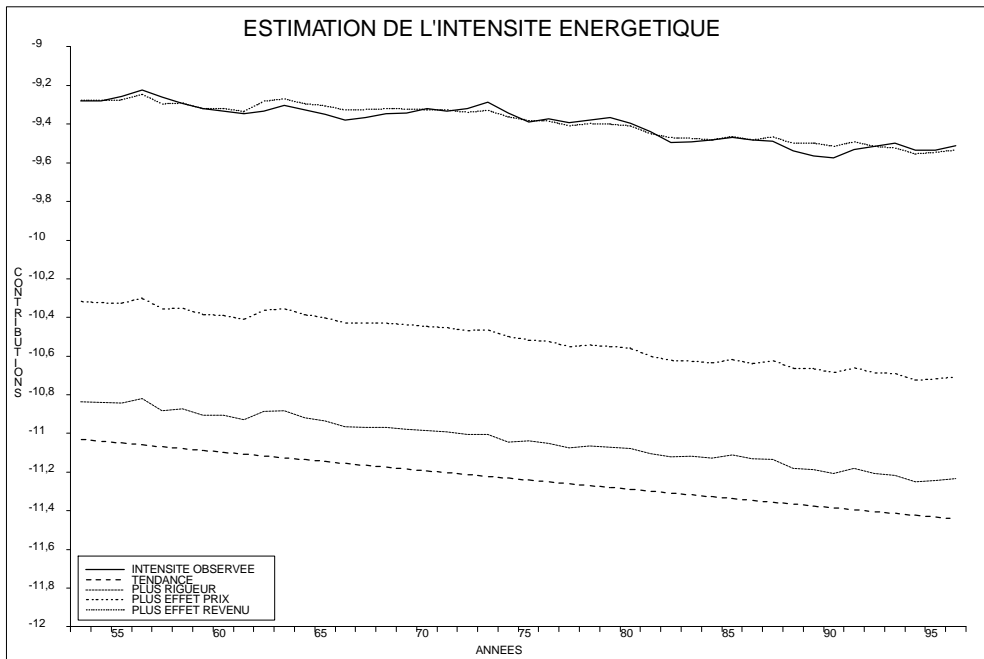
Estimation de l'intensité énergétique par les moindres carrés ordinaires

| LDIS | constante | temps | LPIBT | LPR(-1) | RIGUEUR | DW | R ² |
|-----------|------------------|---------------------|----------------|-----------------|------------------|------|----------------|
| hors bois | -10,95 (0,40) | -0,0115 (0,0016) | 0,17 (0,05) | -0,12 (0,05) | 0,205 (0,059) | 0,48 | 0,92 |
| avec bois | -10,47 (0,39) | -0,0098 (0,0015) | 0,11 (0,05) | -0,11 (0,04) | 0,20 (0,06) | 0,49 | 0,92 |

L'estimation montre que la tendance est proche de -1,0%, plus faible que dans les estimations présentées dans le texte, l'élasticité au PIB marchand est de 1,1 et l'élasticité aux prix relatifs de -0,10. La variable *RIGUEUR* sert ici de variable de contrôle.

Graphique :

Contributions cumulées de l'estimation avec bois et effet de rigueur



Annexe 3 :***ESTIMATION DE L'INTENSITÉ ÉNERGÉTIQUE TOTALE Y COMPRIS BOIS***

Nous donnons ici une estimation de l'intensité énergétique totale y compris bois en tenant compte de l'effet de rigueur climatique. En outre nous comparons les estimations sur l'après guerre avec le prix relatif à la consommation de l'énergie rapporté au prix de la consommation totale ou au prix du PIB marchand.

Estimation de l'intensité énergétique y compris bois (MCO)

| LDIS | Const- tante | temps | ZPRIM | ZSEC | LPIBT | LPR (-1) | RI- GUEUR | DW | R ² |
|------------------|------------------|---------------------|-----------------|-----------------|----------------|--------------------|----------------|------|----------------|
| 1900- 1938 | -19,40 (0,82) | - | -2,77 (0,39) | -1,87 (0,23) | 0,17 (0,08) | -0,12(*) (0,03) | - | 2,42 | 0,86 |
| 1953- 1996(a) | -10,36 (0,44) | -0,011 (0,0018) | - | - | 0,14 (0,06) | -0,10 (0,05) | - | 0,68 | 0,89 |
| 1953- 1996(a) | -10,47 (0,39) | -0,0098 (0,0015) | - | - | 0,11 (0,05) | -0,11 (0,04) | 0,20 (0,06) | 0,49 | 0,92 |
| 1953- 1996(b) | -9,94 (0,46) | -0,011 (0,0018) | - | - | 0,14 (0,06) | -0,09 (0,045) | - | 0,67 | 0,89 |
| 1953- 1996(b) | -9,95 (0,41) | -0,0095 (0,0016) | - | - | 0,11 (0,05) | -0,11 (0,04) | 0,20 (0,06) | 0,49 | 0,92 |

(*) non retardé sur l'avant guerre ; (a) avec prix relatifs rapportés au prix à la consommation ; (b) avec prix relatifs rapportés au prix du PIB marchand.

Les estimations des élasticités prix (-0,11 environ) et des élasticités revenu (1,14 environ) sont comparables à celles obtenues sans bois données dans le texte principal. La tendance temporelle sur l'après guerre est de l'ordre de -1,0 %. L'effet de rigueur climatique est significativement positif et différent de 0.

Annexe 4 :

**DEMANDE AGRÉGÉE D'ÉNERGIE GLOBALE POUR LA FRANCE SUR L'APRÈS GUERRE
AVEC EFFET DE STRUCTURE DES MÉNAGES**

Cette annexe présente une estimation de la demande d'énergie totale y compris bois, sur l'après guerre, tenant compte de l'effet de structure des entreprises et des ménages combinés. Nous commencerons par rappeler la définition de l'indice de structure global proposé, puis nous donnons les estimations.

L'effet de structure est calculé par un indice chaîne de Paasche, en base 1980 de comptabilité nationale. Il est décomposé en deux : entreprises et ménages.

Pour les entreprises (notées F), l'indice de structure en niveau est donné par :

$$(1) S_F = \sum_{i=1}^{13} \frac{z_i(t)}{z_F(t)} [X_i(t) - X_i(1980)]$$

Les définitions des variables sont les suivantes :

$z_i(t)$ est le rapport, en francs 1980 et pour l'année (t), de la consommation intermédiaire en produits énergétiques U03 de la branche $[i]$ à la valeur ajoutée en francs 1980 de la branche $[i]$. z_F est défini sur l'ensemble des branches marchandes hors énergie³¹.

$X_i(t)$ est le rapport, en francs 1980 et pour l'année (t), de la valeur ajoutée de la branche $[i]$ rapportée à la valeur ajoutée de l'ensemble des branches marchandes hors énergie. $X_i(1980)$ est le même rapport calculé pour l'année de base 1980.

La nomenclature de branche est la nomenclature U de l'INSEE allant de U01 (agriculture) à U13 (assurances). La branche non marchande (U14) est exclue parce que nous rapporterons l'intensité énergétique au PIB marchand : le PIB non marchand est mal évalué dans les périodes récentes et inconnu avant 1949.

Les consommations intermédiaires sont calculées sur la base d'un TES en 40 branches (nomenclature T), puis les intraconsommations d'énergie de la branche U03 (T03+T04+T05)

³¹ La nomenclature est la suivante : U01 : agriculture, U02 : IAA, U03 : énergie, U04 : biens intermédiaires, U05 : biens d'équipement, U06 : biens de consommation, U07 : BGCA, U08 : commerces, U09 transports et télécommunications, U10 ; services, U11 : logement, U12 : institutions financières, U13 : assurances, U14 : non marchand.

sont annulées. Les séries avant l'année 1970 sont calculées par rétropolation à partir des comptes nationaux de l'INSEE en base 1970.

Par définition z_F est le coefficient technique moyen des entreprises non énergétiques. En notant $CIZP3i$ et $VAZUi$ les consommations intermédiaires en énergie et la valeur ajoutée en volume des branches, on a :

$$z_F = \frac{\sum_{i=1}^{13} CIZP3i}{\sum_{i=1}^{13} VAZUi}$$

Pour les ménages (notés M), l'indice de structure en niveau est donné par :

$$(2) S_M = \frac{c(t) - c(1980)}{c(1980)}$$

où $c(t)$ est la propension marchande à consommer à la date t et $c(1980)$ sa valeur l'année de base 1980, c'est à dire le rapport en francs 1980 de la consommation marchande totale des ménages au PIB marchand.

On pondère ensuite les deux indices par :

$$(3) STRU = a(t)S_F + (1 - a(t))S_M$$

où a est la part de la consommation d'énergie des entreprises :

$$(4) a(t) = \frac{\sum_i CIZP3i}{\sum_i CIZP3i + CMZP3}$$

$CMZP3$ est la consommation en francs 1980 en carburants et en énergie domestique des ménages.

Si l'on veut que l'indice de structure n'ait qu'un effet conjoncturel, on calculera un indice en variation de la manière suivante :

$$(4) DS_F = \sum_{i=1}^{13} \frac{z_i(t)}{z_F(t)} [X_i(t) - X_i(t-1)]$$

$$(5) DS_M = \frac{c(t) - c(t-1)}{c(t-1)}$$

$$(6) DSTRU = a(t)DS_F + (1 - a(t))DS_M$$

Ces façons de calculer l'indice de structure sont adaptées à la comptabilité nationale française. En effet dans celle-ci les consommations intermédiaires d'énergie de l'industrie manufacturière sont évaluées directement en niveau à partir des enquêtes énergie, les coefficients techniques étant ensuite calculés comme quotient des consommations intermédiaires à la valeur ajoutée (INSEE 1993).

Les résultats des estimations sont donnés dans les tableaux A4-1 et A4-2

Tableau A 4-1 :

DEGRÉ D'INTÉGRATION DES SÉRIES

Test d'intégration (1953-1996 et 43 degrés de liberté)(1)

| variables | test DF | I(1) | nombre de retards optimal |
|------------------|---------|---------|---------------------------|
| LDIS(1) | -1,94 | Oui | 3 |
| LPIBT | -0,44 | Oui | 2 |
| LPR(-1) | -1,98 | Oui | 2 |
| STRU | -2,95 | Ambigü | 2 |
| RIGUEUR | -3,21 | Non | 5 |
| Cointégration(2) | -2,88 | Rejetée | 2 |

(1) avec constante et tendance, et 400 degré de liberté, la valeur critique du test de Dickey-Fuller à 5% est de -3,66 (voir tableau B6, cas 4, Hamilton, p. 763). Le nombre de retards optimal est choisi de manière à maximiser la vraisemblance.

(1) La valeur critique du test de Phillips-Ouliaris, voir Hamilton, Table B9, cas 3, p. 766 est de -4,49 et -4,16 pour 4 et 3 variables explicatives. A 10%, les valeurs critiques sont : -4,20 et -3,84.

L'estimation de la fonction de long terme est donnée ci-dessous.

Tableau A 4-2 :

Estimation de la demande totale d'énergie (avec bois) par les MCO (1953-1996)

| | EQ1 | EQ2 | EQ3 | EQ4 |
|------------|--------------------|--------------------|---------------------|-------------------|
| LDIS | | | | |
| STRU | -0,57 (0,35) | -0,23 (0,40) | - | - |
| constante | -11,05 (0,53) | -10,60 (0,60) | -10,47 (0,39) | -10,37 (0,44) |
| tendance | -0,011 (0,0017) | -0,011 (0,0020) | -0,0098 (0,0016) | -0,11 (0,0018) |
| LPIBT | 0,17 (0,06) | 0,17 (0,07) | 0,11 (0,05) | 0,14 (0,08) |
| LPR(-1) | -0,13 (0,04) | -0,11 (0,05) | -0,13 (0,04) | -0,10 (0,05) |
| RIGUEUR | 0,23 (0,06) | - | 0,20 (0,06) | - |
| R^2 | 0,92 | 0,90 | 0,92 | 0,89 |
| DW | 0,64 | 0,72 | 0,49 | 0,68 |
| Test de PP | -3,17 | -3,78 | -2,81 | -3,55 |
| Conclusion | acceptée | acceptée | refusée | acceptée |

Tableau A 4-3 :

Estimation de la relation de court terme (avec bois) par les MCO (1953-1996)

| DLDIS | EQ2 | EQ4 |
|-----------|-----------------|-----------------|
| DSTRU | 0,98 (0,47) | 1,02 (0,47) |
| DLPIBT | -0,21 (0,10) | -0,21 (0,10) |
| DLPRIX(1) | -0,21 (0,10) | -0,20 (0,10) |
| U(-1) | -0,29 (0,12) | -0,28 (0,12) |
| R^2 | 0,36 | 0,36 |
| DW | 1,45 | 1,45 |

(1) DLPRIX=0,*DLPR+0,4*DLPR(-1).

L'estimation avec un effet de structure tenant compte des entreprises et des ménages ne modifie pas les résultats fondamentaux du texte principal. L'élasticité à long terme au PIB est environ de 1,2 et celle aux prix relatifs de l'ordre de -0,10. Cependant l'effet de structure est peu significatif à long terme et non significatif à court terme.

BIBLIOGRAPHIE

Bhattacharyya S. C. (1996) : “ Applied general equilibrium models for energy studies : a survey ”, *Energy Economics*, vol 18, N°3, Juillet, pp 145-164.

Beaver R. D. et H. G. Huntington (1992) : “ A comparison of aggregate energy demand models for global warming policy analysis ”, *Energy Policy*, june, pp. 568-574.

Beaver R. D. (1993) : “ Structural Comparison of the Models in EMF 12 ”, *Energy Policy*, march, pp. 238-248.

Chateau B. et B. Lapillonne (1977) : “ *La prévision à long terme de la demande d'énergie : le modèle MEDEE* ”, collection énergie et société, CNRS, Paris

CME (1993) : “ *L'énergie pour le monde de demain* ”, Edition TECHNIP, Paris, chapitres 1 et 2.

DMS (1987) : “ DMS-4, modèle dynamique multi-sectoriel ”, collection de l'INSEE, série C, N°139, INSEE, Paris, juillet.

Fourastié J. (1970) : “ Documents pour l'élaboration d'indices de coûts de la vie en France de 1910 à 1965 ”, Mouton, Paris.

Furtado A. T. et S. B. Suslick (1993) : “ Forecasting of petroleum consumption in Brazil using the intensity of energy technique ”, *Energy Policy*, pp. 958-968, September.

Hamilton J. D. (1994) : “ Time Series Analysis ”, Princeton University Press, Princeton, New Jersey, USA.

Hourcade J. C. (1993) : “ Modelling long-run scenarii : methodology lessons from a prospective study on low CO2 intensive country ”, *Energy Policy*, vol 21, N°3, March, p. 309-326.

Howarth R. B. , L. Schipper et B. Andersson (1993) : “ The structure and Intensity of Energy Use : Trends in Five OECD Nations ”, *The Energy Journal*, vol 14, N°2, p. 27-45.

Houthakker H. S. et L. D. Taylor (1970) : “ Consumer demand in the United States ”, Harvard University Press.

Houthakker H. S. et M. Kennedy (1979) : “ A long run model of world energy demands, supplies, and prices ” in B. Kursunoglu et A. Perlmutter, eds : “ *Directions in energy policy* ” : *A comprehensive approach to energy resource decision making* ” (Ballinger, Cambridge, MA).

Humphrey W. S. et J. Stanislaw (1979) : “ Economic growth and energy consumption in the UK, 1700-1975 ”, *Energy policy*, March, pp. 29-42.

INSEE (1993) : “ Le produit national brut : sources et méthodes ”, partie 3, chap. 5, les consommations intermédiaires, INSEE méthodes, N° 34-35-36, pp. 125-130.

International Energy Agency (1997) : “ Indicators of energy use and efficiency ”, OECD/IEA, and LBNL (Lawrence Berkeley National Laboratory), Paris, France.

Jorgenson D.W. et P. J. Wilcoxon ((1993) : “ Reducing US carbon emissions : an econometric general equilibrium assessment ”, *Resources and Energy Economics*, vol 15, pp 7-25.

Kauffmann R. K. (1994) : “ The effect of expected energy prices on energy demand : implications for energy conservation and carbon taxes ”, *Resources and Energy Economics*, vol 16, pp. 167-188.

Markovitch T. J. (1966) : “ L'industrie Française de 1789 à 1964 ”, *Cahiers de l'ISMEA*, AF6, N°174, juin, chapitre VIII, Energie.

Martin J. M. (1988) : “ L'intensité énergétique de l'économie l'activité économique dans les pays industrialisés : les évolutions de très longue période livrent-elles des enseignements utiles ? ”, *Economies et sociétés*, Revue de l'ISMEA, vol 4, pp.9-27.

Martin J. M., B. Chateau, P. Criqui, B. Lapillone (1984) : “ La diminution de la consommation d'énergie en France : réaction conjoncturelle ou inflexion de tendance sur longue période ”, *Revue de l'énergie*, N°363, avril, pp. 181- 191.

Masih A. M. M. et Masih R. (1996) : “ Energy consumption, real income and temporal causality : results from a multi-country study based on cointegration and error-correction modelling techniques ”, *Energy Economics*, vol 18, N°3, juillet, pp. 165-183.

Rouchet J. (1997-a) : “ La consommation d'énergie en France sur longue période, I- Sources et méthodes ”, Direction Générale de l'Energie et des Matières Premières, N°320, octobre.

Rouchet J. (1997-b) : “ La consommation d'énergie en France sur longue période, II- Résultats ”, Direction Générale de l'Energie et des Matières Premières, N°321, octobre.

Schipper L. et S. Myers (1993) : “ Using scenarios to explore future energy demand in industrialized countries ”, *Energy Policy*, vol 21, N°3, March, pp. 264-275.

Stevens P. (1995) : “The determination of oil prices : a diagrammatic interpretation”, *Energy Policy*, vol 23, N°10, Octobre, pp. 861-870.

Vallet D. (1978) : “Les ménages”, in “*DMS*” par Fouquet D., J. M. Charpin, H. Guillaume, P. A. Muet et D. Vallet, INSEE, N°64-65, Paris.

Wirl F. (1991) : “Energy demand and consumer price expectations : an empirical investigation of the consequences from the recent oil price collapse”, *Resources and Energy*, vol 13, N°3, pp. 241-262.

LISTE DES DOCUMENTS DE TRAVAIL DU CEPII³²

1998

"Sacrifice Ratios in Europe: a Comparison", Laurence Boone, Benoît Mojon, *document de travail n°98-07*.

"La politique japonaise et la crise monétaire", Stéphanie Guichard, *document de travail n°98-06*.

"La régionalisation du commerce international : une évaluation par les intensités relatives bilatérales", Michaël Freudenberg, Guillaume Gaulier, Deniz Ünal Kesenci, *document de travail n°98-05*.

"Pegging the ceec's currencies of the euro", Agnès Bénassy-Quéré et Amina Lahèche-Révil, *document de travail n°98-04*.

"The international role of the euro", Agnès Bénassy-Quéré, Benoît Mojon, Armand-Denis Schor, *document de travail n°98-03*.

"EMU and Transatlantic Exchange Rate Stability", A. Bénassy Quéré et B. Mojon, *document de travail n°98-02*.

"Programme de travail 1998", Jean-Claude Berthélemy, *document de travail n°98-01*.

1997

"Why the Euro Will Be Strong : an Approach Based on Equilibrium Exchange Rates", Michel Aglietta, Camille Bauland, Virginie Coudert, *document de travail n°97-18*, décembre.

"How foreing Direct Investment Affects International Trade and Competitiveness. An Empirical Assessment", Lionel Fontagné, Mickaël Pajot, *document de travail n°97-17*, décembre.

"Cycles de production industrielle : une analyse historique dans le domaine des fréquences", Pierre Villa *document de travail n°97-16*, novembre.

"International and External Policy Coordination: a Dynamic Analysis", Fabrice Capoen,

³² Les documents de travail sont diffusés gratuitement sur demande dans la mesure des stocks disponibles. Merci d'adresser votre demande au CEPII, Sylvie Hurion, 9 rue Georges Pitard, 75015 Paris ou par fax : 01.53.68.55.03.

Pierre Villa, *document de travail n°97-15*, octobre.

"Optimal Pegs for Asian Currencies'", Agnès Bénassy-Quéré, *document de travail n°97-14*, octobre.

"Pour ou contre le système commun de TVA?", Stéphanie Guichard, Claire Lefèbvre, *document de travail n°97-13*, juin.

"The Euro and Exchange Rate Stability", Agnès Bénassy-Quéré, B. Mojon, Jean Pisani-Ferry, *document de travail n°97-12*, juin.

Estimation du cycle à l'aide d'un modèle à tendance stochastique et application au cas du Royaume-Uni", Laurence Boone, *document de travail n°97-11*, juin.

"Looking for French Monetary Policy", Benoît Mojon, *document de travail n°97-10*, juin.

"Incertitude sur le choix du modèle et rationalité", Pierre Villa, *document de travail n°97-09*, mai.

"Quel est l'impact du commerce extérieur sur la productivité et l'emploi ?", Olivier Cortes, Sébastien Jean, *document de travail n°97-08*, avril

"Trade Patterns Inside the Single Market" Lionel Fontagné, Michael Freudenberg & Nicolas Péridy, *document de travail n°97-07*, avril.

"The Exchange Rate Policy of the Euro: A Matter of Size", Philippe Martin, *document de travail n°97-06*, avril. (épuisé)

"Ces taux de change réels qui bifurquent", Pierre Villa, *document de travail n°97-05*, avril.

"Chômage non-qualifié et imitation : les raisons d'un accord international sur la propriété intellectuelle", Lionel Fontagné & Jean-Louis Guérin, *document de travail n°97-04*, mars.

Symmetry and Asymmetry of Supply and Demand Shocks in the European Union a Dynamic Analysis", Laurence Boone, *document de travail n°97-03*, février. (épuisé)

"Interest Rates in East Asian Countries: Internal Financial Structures and International Linkages", Isabelle Bensidoun, Virginie Coudert et Laurence Nayman, *document de travail n°97-02*, janvier. (épuisé)

"Intra-Industry Trade: Methodological Issues Reconsidered", Lionel Fontagné, Michael Freudenberg, *document de travail n°97-01*, janvier. (épuisé)

1996

"The Cost of Fiscal Retrenchment Revisited: How Strong is the Evidence?", Philippine Cour, Eric Dubois, Selma Mahfouz & Jean Pisani-Ferry, *document de travail n°96-16*, décembre.

"Les dynamiques sectorielles de la croissance en Europe centrale", Françoise Lemoine, *document de travail n°96-15*, décembre.

"Growth and Agglomeration", Philippe Martin & Gianmarco I.P. Ottaviano, *document de travail n°96-14*, décembre.

"La coordination interne et externe des politiques économiques : une analyse dynamique", Fabrice Capoen et Pierre Villa, *document de travail n°96-13*, décembre. (épuisé)

"L'intégration asymétrique au sein du continent américain : un essai de modélisation", Philippine Cour et Frédéric Rupprecht, *document de travail n°96-12*, octobre.

"Croissance et contrainte financière dans les PED", Pierre Villa, *document de travail n°96-11*, octobre.

"Bulgaria From Entreprise Indiscipline to Financial Crisis", Roumen Avramov et Jérôme Sgard, *document de travail n°96-10*, juillet.

"Potentialities and Opportunities of the Euro as an International Currency", Agnès Bénassy-Quéré, *document de travail n°96-09*, août. (épuisé)

"Credit Crisis and the Role of Banks During Transition: a Five-Country Comparison", Jérôme Sgard, *document de travail n°96-08*, août.

"Exchange Rate Regimes and Policies in Asia", Agnès Bénassy-Quéré, *document de travail n°96-07*, juillet.

"France in the Early Depression of the Thirties", Pierre Villa, *document de travail n°96-06*, juillet.

"Pays émergents, emploi defficient ?", Olivier Cortès et Sébastien Jean, *document de travail n°96-05*, mars.

"Trade with Emerging Countries and the Labor Market : the French Case", Olivier Cortès, Sébastien Jean et Jean Pisani-Ferry, *document de travail n°96-04*, mars.

"The Transmission of Monetary policy in the European Countries", Fernando Barran, Virginie Coudert et Benoit Mojon, *document de travail n°96-03*, février. (épuisé)

"Trade Policy and Trade Patterns During Transition : A Comparison Between China and CEECs", Françoise Lemoine, *document de travail n°96-02*, février.

"Financial Markets Failures and Systemic Risk", Michel Aglietta, *document de travail n°96-01*, janvier

1995

"Why NAFTA Might be Discriminatory", Lionel Fontagné, *document de travail n° 95-12*, décembre. (épuisé)

"Régionalisation et échanges de biens intermédiaires", Lionel Fontagné, Michael Freudenberg et Deniz Ünal-Kesenci, *document de travail n° 95-11*, décembre.

"The Geography of Multi-speed Europe", Philippe Martin et Gianmarco I.P. Ottaviano, *document de travail n° 95-10*, novembre.

"The Political Economy of French Policy and the Transmission to EMU", Christian de Boissieu et Jean Pisani-Ferry, *document de travail n° 95-09*, octobre (épuisé).

"L'importance des exclus de l'intégration monétaire en Europe", Philippe Martin, *document de travail n° 95-08*, novembre.

"Asymétries financières en Europe et transmission de la politique monétaire", Virginie Coudert et Benoit Mojon, *document de travail n° 95-07*, septembre (épuisé).

"La mesure du capital éducatif", Pierre villa, *document de travail n° 95-06*, septembre.

"Capital humain, mobilité des capitaux et commerce international", Pierre Villa, *document de travail n° 95-05*, juin.

"L'Europe à géométrie variable : une analyse économique", Jean Pisani-Ferry, *document de travail n° 95-04*, avril. (épuisé)

"Comparaison de l'efficacité énergétique des pays d'Europe centrale et orientale avec celle des pays de l'OCDE", Nina Kounetzoff, *document de travail n° 95-03*, mars.

"L'organisation de la politique économique dans un cadre stratégique", Pierre Villa, *document de travail n° 95-02*, mars.

"Interest Rates, Banking, Spreads and Credit Supply: The Real Effects", Fernando Barran, Virginie Coudert, Benoit Mojon, *document de travail n° 95-01*, mars. (épuisé)