

Analyse Microéconométrique des Substitutions Inter-énergétiques : Application au Secteur Bois et Papier Français

Raja Chakir

14 janvier 2005

Plan de la présentation

- ❑ Motivations, objectifs et apports
- ❑ Littérature sur la demande d'énergie
- ❑ Les dépenses nulles : explication économique et traitement économétrique
- ❑ Présentation des données
- ❑ Le modèle économique
- ❑ Le modèle économétrique
- ❑ Résultats des estimations
- ❑ Simulation d'une taxe sur le CO₂
- ❑ Conclusion

Motivations

- L'intérêt des études sur la demande d'énergie s'est accru après les deux **chocs pétroliers** des années 1970
 - Nombreuses études empiriques ont analysé les effets de chocs sur les prix de l'énergie
 - **Débat National** sur l'énergie de janvier à juin 2003
 - Préparation d'une loi d'orientation définissant la politique énergétique en France pour les trente années à venir
 - Nouvel élément du débat : la protection de l'environnement
- ⇒ L'évaluation de l'efficacité des politiques énergétiques et environnementales nécessite l'analyse de la demande d'énergie

Objectifs

- Question posée :
 - Comment les entreprises industrielles réagissent-elles face à une variation des prix de l'énergie ou à la mise en place d'une taxe sur le CO₂ ?
- Outils :
 - Analyse économétrique de la demande d'énergie
- Intérêts :
 - Évaluation des **effets de variation des prix** ou de **politiques environnementales** (taxe sur le CO₂) sur la demande d'énergie

Littérature sur la demande d'énergie

- La plupart des études précédentes : Analyse agrégée
 - Modèles KLEM : Études des relations entre l'énergie et les autres facteurs de production (Berndt & Wood, 1975; Griffin & Gregory, 1976;...)
 - **Substitutions inter-énergétiques** : Études des possibilités de substitution entre formes d'énergie : électricité, gaz, fioul lourd,... (Fuss, 1977; Griffin, 1977;...)
- Inconvénient : application des modèles conçus au niveau des firmes individuelles à des données agrégées

Littérature sur la demande d'énergie

- L'analyse micro-économétrique avec données individuelles
 - Avantages :
 - Une meilleure prise en compte des choix des agents et de leurs contraintes
 - Eviter les biais d'agrégation inéluctables et toujours difficiles à cerner dans les études sur données agrégées
 - Inconvénient :
 - **Une proportion significative des agents présente des dépenses nulles en un ou plusieurs biens**

Dépenses nulles dans le cas de l'énergie : explications économiques

Rationnement exogène

- Existence de coûts de raccordement ou coûts fixes (Woodland, 1993; Bjørner & Jensen, 2002)

« Rationnement » endogène

- Le prix d'une forme d'énergie est plus élevé que sa productivité marginale
(Lee & Pitt, 1987; Bousquet, Ivaldi & Ladoux, 1989; Bousquet & Ivaldi, 1998)

Justification de l'hypothèse de rationnement endogène

- 70% des entreprises changent leurs régimes de demande d'énergie au moins une fois
- Les entreprises grosses consommatrices d'énergie disposent de technologies multi-énergétiques ou d'équipements spécifiques pour chaque forme d'énergie

Dépenses nulles : le traitement économétrique

- Méthodes non appropriées :
 - Ignorer les dépenses nulles : estimateurs non convergents
 - Suppression des observations avec dépenses nulles : réduction de la taille de l'échantillon, biais de sélection, estimateurs biaisés et non convergents
 - Modèle Tobit : spécification *ad hoc*, estimateurs biaisés pour le cas de plus de 2 biens

Comment traiter économétriquement les dépenses nulles ?

- ❑ 2 méthodes appropriées proposées dans la littérature
 - Wales & Woodland (1983) : conditions de Kuhn-Tucker
 - ❑ Caractérisation des régimes de demande directement à partir des conditions de Kuhn-Tucker associées au programme de minimisation des coûts de production sous contraintes techniques
 - Lee & Pitt (1986, 1987) : **prix virtuels**
 - ❑ Les dépenses nulles sont expliquées par le fait qu'une firme ne consomme pas les inputs dont les prix du marché sont supérieurs aux prix virtuels

Apports des travaux

- Utilisation des **données individuelles** et modélisation de l'**hétérogénéité non observable** : meilleure connaissance des comportements des entreprises
- Estimation de la demande de **cinq formes** d'énergies avec des techniques de simulation
- Calcul des élasticités par des **simulations** et **décomposition des effets**
- Evaluation de l'impact sur la demande d'énergie **d'une politique de taxation** du CO₂

Présentation des données

- Enquête Consommation d'Énergie du SESSI du Ministère de l'Industrie
- Secteur du **Bois et Papier**
- N=324 et T=14 ans (1983-1996)
- 5 formes d'énergies :
 - **Électricité (E), gaz naturel (G), fioul lourd (FL), fioul domestique (FD) et butane-propane (BP)**
- **16 régimes** de consommation d'énergie observés
 - Un régime de consommation d'énergie est une combinaison des énergies utilisées
 - Exemples : E, E-FL, E-G-FL, E-G-FD, E-FL-FD-BP et E-G-FL-FD-BP

Le modèle économique

- ▣ Spécification de la fonction de demande d'énergie
- ▣ Choix de la formes fonctionnelle

Spécification de la fonction de demande

- Supposons qu'il existe une fonction de production avec 4 facteurs de production : énergie EN , travail L , capital K et matières premières MA :

$$Y = F(EN, L, K, MA),$$

où Y est le niveau de l'output.

- La firme a le choix entre M formes d'énergie $e_1, e_2, \dots, e_M$:

$$Y = F(e_1, e_2, \dots, e_M, L, K, MA).$$

- Hypothèse: séparabilité faible homothétique entre les facteurs énergétiques d'une part et les autres facteurs non énergétiques d'autre part. (Fuss (1977) et Pindyck (1979))

Sous l'hypothèse de séparabilité faible de la technologie $F(.)$ dans les quatre agrégats EN, L, K, MA , la fonction de production peut s'écrire :

$$Y = F[EN(e_1, e_2, \dots, e_M), L, K, MA],$$

- Choix séquentiel en deux étapes, l'entreprise détermine
 - La demande optimale d'énergie agrégée,
 - Les parts de chaque type d'énergie en fonction de leurs prix relatifs.

- La théorie de la dualité

$$C = g(P_{EN}, P_L, P_K, P_{MA}, Y),$$

où C est le coût total de production et les P_j , ($j = EN, L, MA, K$) sont les indices de prix des inputs.

$$C = g [P_{EN}(P_{e_1}, P_{e_2}, \dots, P_{e_M}), P_L, P_K, P_{MA}, Y.] ,$$

où P_j , $j = E, L, MA, K$ sont des indices de prix. Les fonction de coût C et P_{EN} sont continues, croissantes, homogènes de degré 1 et concaves dans les prix.

- P_{EN} est le coût d'une unité d'énergie, nous pouvons donc l'exprimer sous une forme fonctionnelle.

Le choix de la forme fonctionnelle

- Nous approchons la fonction de coût d'énergie P_{EN} par une forme fonctionnelle flexible de type translog.
- Cette forme fonctionnelle a plusieurs avantages : premièrement, pas de restrictions des valeurs des élasticités de substitution, ensuite, permet d'avoir des systèmes de parts de dépenses linéaires dans les logarithmes des prix enfin permet d'imposer la contrainte de concavité de la fonction de coût.
- La fonction de coût P_{EN} est approximée par :

$$\ln P_{EN} = \alpha_0 + \sum_{m=1}^M \alpha_m \ln p_m + \frac{1}{2} \sum_{m=1}^M \sum_{k=1}^M \beta_{mk} \ln p_m \ln p_k,$$

avec : $\beta_{mk} = \beta_{km} \quad \forall m, k = 1, 2, \dots, M.$, $\sum_{m=1}^M \alpha_m = 1$ et $\sum_{k=1}^M \beta_{mk} = 0 \quad \forall m = 1, 2, \dots, M.$

- Les fonctions de part sont calculées à partir du lemme de Shephard et s'écrivent :

$$S_m = \frac{\partial \ln P_{EN}}{\partial \ln p_m} = \alpha_m + \sum_{k=1}^M \beta_{mk} \ln p_k \quad \forall m = 1, 2, \dots, M.$$

Le modèle économétrique

- ▣ Les hypothèses stochastiques du modèle
- ▣ Ecriture de la fonction de vraisemblance
- ▣ Ecriture de la fonction de vraisemblance simulée
- ▣ Le simulateur GHK

Les hypothèses stochastiques du modèle

Pour un établissement i observé l'année t , l'équation de part de dépense relative de l'énergie m s'écrit :

$$S_{mit} = \alpha_m + \sum_{k=1}^M \beta_{mk} \ln p_{kit} + w_{mit}, \quad m, k = 1, 2, \dots, M, \quad i = 1, \dots, N \quad \text{et} \\ t = 1, \dots, T$$

- De façon standard dans l'analyse des données de panel, le terme d'erreur de l'équation m pour l'observation (i, t) se décompose de la façon suivante :

$$w_{mit} = \mu_{mi} + \varepsilon_{mit},$$

où μ_{mi} est l'effet spécifique individuel non observable constant dans le temps pour l'établissement i et l'énergie m et ε_{mit} est une perturbation aléatoire classique pour l'équation m , i.i.d entre les établissements et les périodes de temps.

- Nous supposons que : $\mu_{mi} \sim N(0, \sigma_{\mu_m}^2)$, $\varepsilon_{mit} \sim N(0, \sigma_{\varepsilon_m}^2)$, $\forall m = 1, 2, \dots, M$, $i = 1, \dots, N$ et $t = 1, \dots, T$
- Nous supposons également que : $E(\mu_{mi}\varepsilon_{kjt}) = 0$, $\forall m, k = 1, 2, \dots, M$, $i, j = 1, \dots, N$ et $t = 1, \dots, T$
- Cependant nous permettons aux effets individuels μ_{mi} ainsi qu'aux termes d'erreurs ε_{mit} d'être corrélés entre différentes équations :

$$E(\mu_{mi}\mu_{kj}) = \begin{cases} \sigma_{\mu_m}^2 & \text{si } i = j, \\ 0 & \text{sinon,} \end{cases}$$

$$E(\varepsilon_{mit}\varepsilon_{kjt'}) = \begin{cases} \sigma_{\varepsilon_m}^2 & \text{si } i = j \text{ et } t = t', \\ 0 & \text{sinon.} \end{cases}$$

Ecriture de la fonction de vraisemblance

- Nous considérons le cas où la firme i n'utilise pas les k_t formes d'énergie l'année t , le vecteur des parts de dépenses observées de cette entreprise s'écrit :

$$S_i^* = (0, \dots, 0, S_{k_t+1,t}^*, \dots, S_{Mt}^*)_{t=1, \dots, T}.$$

- Soit $\pi_{1i} = (\ln \zeta_{1t}, \dots, \ln \zeta_{k_t t})'_{t=1, \dots, T}$ et $z_{2i} = (\ln p_{k_t+1,t}, \dots, \ln p_{Mt})'_{t=1, \dots, T}$ des partitions du vecteur des prix virtuels et du vecteur des prix du marché respectivement.
- Notons aussi $s_{2i} = (S_{k_t+1,t}^*, \dots, S_{Mt}^*)'_{t=1, \dots, T}$, $e_{1i} = (w_{1t}, \dots, w_{k_t t})'_{t=1, \dots, T}$ et $e_{2i} = (w_{k_t+1,t}, \dots, w_{Mt})'_{t=1, \dots, T}$.
- Le vecteur des fonctions de parts observées satisfait le système:

$$\begin{cases} 0 = A_1 + B_{11}\pi_{1i} + B_{12}z_{2i} + e_{1i}, \\ s_{2i} = A_2 + B_{21}\pi_{1i} + B_{22}z_{2i} + e_{2i}. \end{cases}$$

- La vraisemblance individuelle peut être écrite sous la forme:

$$L_i = g(s_{2i}) \times \int_{\{\eta_i: \eta_i \geq r_i\}} f(\eta_i) d\eta_i,$$

où $r_i = -B_{11}^{-1}(A_1 + B_{12}z_{2i}) - z_{1i} - m$ et $\Omega = B_{11}^{-1}\Sigma_{11}B_{11}'^{-1} - B_{11}^{-1}\Sigma_{12}\Sigma_{22}\Sigma_{21}B_{11}'^{-1}$
est la matrice de variances-covariances de η_i .

Ecriture de la vraisemblance simulée

- La maximisation de la vraisemblance pose des problèmes de calcul puisque l'estimation nécessite l'intégration numérique de distributions de probabilités multiples.
- Le calcul des intégrales se fait par les méthodes de simulations
- Il s'agit principalement de remplacer la log-vraisemblance

$$L = \sum_{n=1}^N \ln f(y_n/x_n; \beta)$$

par $\hat{L} = \sum_{n=1}^N \ln \tilde{f}(y_n/x_n; \beta)$ où

$$\tilde{f}(y_n/x_n; \beta) = \frac{1}{R} \sum_{r=1}^R \tilde{f}(y_n/x_n, u_n^r; \beta)$$

est un simulateur sans biais de $f(y_n/x_n; \beta)$

Le simulateur GHK

- Nous avons estimé le modèle avec les méthodes d'estimation par simulation à l'aide du simulateur GHK
- Le simulateur GHK a été proposé par Gweke (1991), Hajivassiliou (1990) et Keane (1994)
- Il s'agit d'une méthode d'approximation de la valeur des probabilités issues de la loi normale multinomiale.
- Ce genre de probabilités apparaît dans l'écriture de la fonction de vraisemblance des modèles à variable dépendante limitée.

- Soit la probabilité

$$\Pr(a < v < b) = \int_a^b g(v)dv,$$

où $v \sim N(0, \Omega)$, g est la fonction de densité de v , a et b sont deux vecteurs de dimension $(n \times 1)$.

- Un estimateur sans biais de la probabilité $\Pr(a < v < b)$ est :

$$\tilde{Pr}(a < v < b) = \frac{1}{R} \sum_{r=1}^R \left[\Phi\left(\frac{b_1}{l_{11}}\right) - \Phi\left(\frac{a_1}{l_{11}}\right) \right] \times \\ \prod_{i=2}^n \left\{ \Phi\left(\frac{b_i - l_{1i}u_{1r}^* - \dots - l_{n-1i}u_{n-1,r}^*}{l_{ii}}\right) - \Phi\left(\frac{a_i - l_{1i}u_{1r}^* - \dots - l_{n-1i}u_{n-1,r}^*}{l_{ii}}\right) \right\},$$

où u_{ir}^* sont des tirages aléatoires de la loi normale standard tronquée et R le nombre de tirages.

- Soit $r, r = 1, \dots, R$, les tirages aléatoires de la loi uniforme. La fonction de vraisemblance du modèle peut être simulée de la manière suivante :

$$\tilde{L}_i = \frac{1}{R} \sum_{r=1}^R \left[\left(\prod_{m=1}^k (1 - \Phi(\frac{1}{d_{mm}}(r_{im} - d_{m1}\xi_{i1,r} - \dots - d_{m,m-1}\xi_{i,m-1,r}))) \right) \times g(s_{2_i}) \right]$$

où $(\xi_{i1,t}, \dots, \xi_{ik,r})$ est le vecteur correspondant à ξ_i pour le r^e tirage aléatoire des variables $(u_{i1,r}, \dots, u_{ik,r})$.

La log-vraisemblance simulée avec R tirages peut être représentée comme :

$$\tilde{L}_R = \ln\left(\prod_{i=1}^N \tilde{L}_i\right) = \sum_{i=1}^N \ln(\tilde{L}_i).$$

Résultats des estimations

- ❑ Estimation des paramètres :
 - La plupart des paramètres des modèles sont significativement non nuls
 - Les corrélations entre les termes d'erreurs de chaque forme d'énergie sont significativement non nulles
- ❑ Test de la qualité de prédiction des modèles :
 - Comparaison de la distribution des régimes de demande d'énergie observés à la distribution des régimes prédits $\Rightarrow$ Bonne qualité de prédiction des modèles

Résultats des estimations

- Exploitation des résultats : simulation des variations des prix
 - Effets qualitatifs : changement de régime d'énergie
 - Effets quantitatifs : modification des quantités d'énergie sans changement de régime

Principaux résultats du modèle

□ Élasticités-prix

- Les demandes de G, FL, FD et BP **sont élastiques à leurs propres prix** ($\eta_{G-G}=-1.00$, $\eta_{FL-FL}=-0.82$, $\eta_{FD-FD}=-1.12$, $\eta_{BP-BP}=-0.94$)
- La demande d'électricité est **inélastique à son propre prix** ($\eta_{E-E}=-0.35$)
- E **n'est pas très sensible** aux variations des prix des autres formes d'énergie ($\eta_{E-G}=0.22$, $\eta_{E-FL}=-0.06$, $\eta_{E-FD}=0.18$, $\eta_{E-BP}=0.01$)
- G, FD et BP sont **très sensibles** aux variations du prix de FL ($\eta_{G-FL}=0.34$, $\eta_{FD-FL}=0.48$, $\eta_{BP-FL}=0.36$)

□ Élasticités de substitution de Morishima

- Les 5 formes d'énergie sont **substituables**

Simulation d'une taxe sur le CO₂

- ❑ Objectif du Protocole de Kyoto (1997) : réduction des émissions de gaz à effet de serre :
 - Objectif fixé pour la France : stabiliser les émissions de CO₂ sur la période 1990-2010
 - Industrie : 23% des émissions des gaz à effet de serre
 - CO₂ : 76% des émissions de gaz à effet de serre de l'industrie
- ❑ Parmi les mesures proposées : taxe sur le CO₂

Simulation d'une taxe sur le CO₂

- ❑ Le taux de la taxe sur le CO₂ qui permet de stabiliser les émissions du secteur bois et papier durant la période 1990-2010 est de 17 Euro/ tCO₂
- ❑ Résultats des simulations d'une taxe de 17 Euro/ tCO₂
 - Augmentation de la demande d'électricité de 6%
 - Augmentation de la demande de Butane-Propane de 5%
 - Réduction des demandes des autres formes d'énergie : G (10%), FL (26%) et FD (14%)
 - Réduction des émissions de CO₂ dans le secteur bois et papier de 21%

Conclusion

- ❑ Il existe de réelles possibilités de substitution entre formes d'énergie dans le secteur bois et papier
- ❑ Ces possibilités de substitution rendent les entreprises plus flexibles face à une politique énergétique ou environnementale