



# **Changement technique induit rôle des normes et des prix dans les mécanismes d'induction : une approche de longue période**

**Rapport final pour l'IFE**

**Synthèse**

**Mai 2005**

**Mourad Ayouz**

**Franck Nadaud**

**Sous la direction scientifique de Jean-Charles Hourcade**

**CIRED**

**EHESS-CNRS (UMR N° 8568)**



Ce programme de recherche sur le rôle des prix dans l'induction du progrès technique est au terme de sa troisième année. Nous abordons dans cette synthèse les points forts des résultats obtenus au cours du déroulement du projet.

Le programme de recherche s'est attaché à répondre à un triple questionnement. La première question est relative au rôle de l'incertitude dans la formation de la demande. La seconde question à la quantification du changement technique induit en présence d'un effet de rebond dans les tendances générales de la consommation. La troisième question portait sur les effets d'irréversibilité transmis par les prix sur les tendances de la consommation.

Ce travail de recherche a porté sur deux secteurs de la consommation d'énergie des ménages. Le premier est relatif aux transports personnels, plus précisément à la consommation de carburant des automobiles ; le second est relatif aux consommations domestiques d'électricités. Les travaux les plus riches et les plus pertinents portent sur la demande de carburant des automobiles. Cela s'explique tant par la richesse du corpus de données disponibles que par la mesure plus directe des différents aspects de notre triple questionnement. C'est notamment le cas pour l'effet de rebond. Noter que nous n'avons pu étudier les effets de la fiscalité des véhicules que très partiellement, durant la seconde année, en particulier l'impact cumulatif de l'instauration de la vignette automobile. Nous avons préféré approfondir la connaissance de la dynamique de la demande dans le long terme.

Ces questions prennent tout leur sens lorsque l'on considère que l'engagement de l'Europe à ratifier le protocole de Kyoto implique la mise en œuvre de mesures domestiques de réduction des émissions de GES. L'Agence Européenne de l'Environnement a publié récemment les tendances des émissions de gaz à effet de serre dans l'Europe des quinze. Ces résultats montrent qu'entre 1990 et 2002 les émissions totales pour les six principaux gaz à effet de serre ont décliné de 2,9 % tandis que celles du secteur des transports routiers ont augmenté de 23 %. Cette tendance pose plusieurs questions quant à la mise en œuvre du protocole de Kyoto qui à l'horizon 2008-2012 implique pour l'Europe des 15 une réduction de 8 % des émissions de CO<sub>2</sub> relativement à l'année 1990. Le secteur des transports dépend encore massivement des énergies fossiles intensives en carbone. Les émissions dépendent pour une large part moins de la technologie que de l'activité, ce qui soulève plusieurs interrogations sur les déterminants de la consommation de carburant dans le long terme. Notamment dans la perspective de l'acceptation récente du scénario « Facteur Quatre » (von Weizsäcker et al, 1997) par le gouvernement français. La nature des actions à entreprendre, et plus encore la séquence de leur mise en application en vue de satisfaire des objectifs modestes à moyen terme et beaucoup plus ambitieux à long terme supposent une connaissance approfondie de la dynamique de la demande afin de guider l'action publique. Se pose alors la question des mécanismes de formation de la demande, dont notamment, le rôle des signaux de prix et du progrès technique. Cette question renvoie aux trois aspects de notre questionnement posés plus haut.

---

### *Une modélisation économétrique standard de la demande de carburant*

Un premier ensemble de résultats acquis lors de la première année ont permis de répondre aux trois questions posées précédemment mais ont ouvert de nouvelles interrogations qui ont été traitées principalement en troisième année.

En premier lieu, l'incertitude a été traitée par l'estimation d'une pluralité de spécifications économétriques. Le champ de variation des valeurs estimées permet ainsi de baliser l'étendue de l'incertitude sur les déterminants de la demande de carburant.

Le premier niveau d'analyse se situe dans un cadre statique, c'est-à-dire sans prise en compte de l'effet des décisions passées. Ce premier modèle se décline sous deux formes de fonctions de demande ; la première est *parfaitement réversible* tandis que la seconde introduit *l'asymétrie de réponse aux prix*. Ce premier niveau d'analyse montre l'importance des effets de revenu dans le long terme, *une réaction aux prix faible*, une tendance de progrès autonome forte. L'introduction des effets d'irréversibilité des mécanismes de transmission par les prix montre *l'existence de réponses asymétriques avec de plus fortes élasticités à la hausse des prix*.

Le second niveau d'analyse repose sur une spécification dynamique qui prend en compte l'effet d'inertie des décisions passées explicitement, par le biais de décalages. Dans le cadre réversible, l'élasticité revenu est de 1 à long terme et 0,2 à court terme, tandis que l'élasticité prix est de -0,6 à long terme et de -0,1 à court terme, le trend de progrès technique autonome est lui proche de 1 % par an. Dans le cas irréversible les résultats sont sensiblement les mêmes pour le revenu mais la réponse des hausses de prix est *environ deux fois plus importante que celle des baisses de prix à long terme mais cinq fois plus importante à court terme*.

Le prolongement de l'analyse avec les effets de retard prend en compte le *progrès technique d'une manière plus explicite*, par l'introduction d'une *variable représentative de l'efficacité des automobiles dans le long terme*. Les résultats dans le cas réversible montrent que si l'élasticité revenu de long terme est inchangée, l'effet du progrès technique est positif et induit une baisse forte de l'élasticité prix de long terme (-0,14). Dans le cas irréversible, on obtient des écarts moindres entre effet des hausses de prix et des baisses de prix. Ainsi, la prise en compte explicite du progrès technique tend à réduire l'asymétrie. Cette forte baisse de l'élasticité prix s'explique par le fait que dans les travaux précédents, sans prise en compte de l'extension urbaine, celle-ci pouvait être considérée comme un produit de l'effet prix ; au contraire, si elle est explicitement prise en compte, on observe une baisse du rôle des prix. A ce niveau d'analyse, il n'existe pas de conclusion générale sauf à déplacer la question vers le rôle des prix dans l'induction de l'extension urbaine.

A partir de cet ensemble de travaux nous avons étendu nos investigations sur les effets d'induction sur la demande de carburant selon deux voies ; la première est celle de l'induction de la demande par le développement des infrastructures ; la seconde traite cette induction par le biais de l'extension urbaine. Ces deux aspects sont intimement liés puisque l'extension urbaine implique la construction de nouvelles infrastructures. L'effet de l'extension urbaine sur la demande de carburant est plus clairement modélisé. Tout d'abord, l'élasticité prix de long terme est réduite à -0,10, l'élasticité revenu baisse à environ 0,50 et l'extension urbaine a l'effet le plus important sur les consommations de carburant avec une élasticité proche de 1,0. L'effet d'irréversibilité est aussi vérifié dans ce cadre là.

---

### ***Un approfondissement du rôle de l'espace dans la demande de carburant***

Les investigations de la seconde année sur le carburant ont validé les résultats précédents à l'aide de techniques économétriques plus lourdes. Ces résultats confirment les conclusions

précédentes, notamment le rôle prépondérant du mécanisme d'induction par l'extension urbaine. Un second volet de cette investigation économétrique de la demande de carburant porte sur des estimations séparées par catégorie de carburant. La distinction entre diesel et supercarburants permet de mettre en évidence une dynamique très différenciée entre types de carburants. Les valeurs des élasticités diffèrent nettement à long terme mais peuvent être considérées comme égales à court terme. Les deux fonctions de demande partagent bien une relation de cointégration, donc des tendances communes avec leurs variables explicatives. Enfin, nous trouvons que la demande de diesel peut être considérée comme symétrique tandis que l'asymétrie de réponse aux prix est très nette pour les supercarburants à long terme et à court terme.

Le second volet d'investigation consiste en un approfondissement des relations entre consommation de carburant, croissance économique et extension urbaine. Cette analyse a été menée au niveau des trajectoires régionales entre 1991 et 2001. Elle révèle l'importance de l'hétérogénéité spatiale entre les régions bien que la hiérarchie nationale se conserve au cours du temps, ce qui paraît normal sur une période de onze ans. Par contre, ***une rupture de tendance s'est révélée, laquelle survient au milieu des années 1990***. L'extension urbaine ralentit tandis que la croissance économique et la consommation de carburant augmentent plus rapidement. Ce profil s'observe dans toutes les régions. L'analyse révèle aussi trois groupes distincts de régions aux évolutions contrastées. Ces résultats fondent l'intérêt d'une approche régionalisée qui est estimée par un modèle de panel sur les mêmes données. Les tests économétriques valident la date de la rupture temporelle, montrent l'importance des spécificités régionales et de l'extension urbaine comme variables explicatives de l'évolution de la consommation de carburant.

Nous dirons simplement un mot de nos travaux de modélisation de la consommation d'électricité dont les résultats sont moins riches. Nous avons testé des modèles symétriques et irréversibles sur les consommations domestiques d'électricité, en niveau puis par ménage. Les résultats entre estimations en niveau et par ménage sont pratiquement identiques. Contrairement à la consommation de carburant, on ne trouve pas ici d'asymétrie de réponse aux prix. Les élasticités prix de long terme sont de l'ordre de -0,75 tandis que celles de court termes sont de -0,25. L'élasticité revenu proche de 2,0 à long terme et de 0,5 à court terme. On observe une tendance de autonome de +2% par an, ***mais la prise en compte de l'étiquetage énergie à partir de 1994 aboutit à une réduction modeste des consommations de -0,25 % par an***.

---

### ***La modélisation de l'effet rebond et des régimes de la demande de carburant***

Sur la base de ces résultats nous avons prolongé les investigations dans deux directions. La première est celle de l'évaluation de l'effet de rebond sur les consommations de carburant et d'électricité. La seconde est relative aux effets d'irréversibilité.

#### ***L'économétrie de l'effet de rebond***

La mesure de l'effet de rebond dans les transports repose sur la demande de service, c'est-à-dire le kilométrage moyen parcouru annuellement par automobile. Cette modélisation permet de déduire directement la valeur de l'effet rebond sur les données annuelles françaises entre 1960 et 2003. ***Nos estimations donnent un effet rebond situé dans une fourchette de 12 % à***

**20 %**. Ceci signifie que dans le long terme, une baisse du coût du kilomètre parcouru de 1 % induit une hausse de la consommation de 0,12 % à 0,20 %. Ces estimations rejoignent celles publiées par la littérature sur l'effet rebond dans le domaine des transports qui s'accordent sur un intervalle compris entre 10 % et 30 %.

Le second volet porte sur le progrès technique sur les consommations unitaires pour cent kilomètres parcourus. Nos résultats montrent qu'à long terme, le revenu par habitant accroît les consommations unitaires mais le point important est une mise en évidence du rôle du prix du carburant et du logement. Nous avons pu reconstituer une série de prix relatif du carburant au logement à l'aides des comptes satellites du logement. Les consommations unitaires ont une tendance autonome significative de l'ordre de 0,8 % par an. De même, le prix du kilomètre parcouru est inversement corrélé au progrès technique mais ce point est crucial car cela montre l'importance de ne plus raisonner sur le seul prix du carburant mais de prendre en compte l'ensemble des éléments pertinents de l'induction de la demande.

En ce qui concerne les consommations d'électricité, nous n'avons pu mettre en évidence l'effet rebond.

### ***La modélisation sur données trimestrielles***

Le second volet consiste en un approfondissement de la dynamique de la demande de carburant basé sur de nouvelles données de périodicité trimestrielle. L'emploi de données trimestrielles est fortement motivé pour deux raisons principales. La première raison est relative à la précision statistique des tests économétriques usuels dont la convergence est assurée lorsque l'on passe de 40 observations à plus de 200, comme c'est le cas sur la demande de carburant. La seconde raison, partiellement liée à la précédente est que nous employons de nouveaux modèles économétriques qui nécessitent un grand nombre d'observations pour assurer leur convergence.

Les tests sur données trimestrielles nous permettent d'une part de valider les résultats sur données annuelles à l'aide d'estimations des élasticités plus précises, et d'autre part d'analyser différentes propriétés de nos séries dont la non linéarité ou bien l'asymétrie de leur dynamique.

#### ***1) Estimation des élasticités sur données trimestrielles***

L'étape de validation sur données trimestrielles aboutit à des résultats semblables à ceux des estimations sur données annuelles. L'élasticité revenu de long terme est élevée (soit 2,6), celle du prix très faible, de l'ordre de -0,10 à -0,13, le trend de progrès technique autonome de 0,8 % par an. La relation de cointégration est vérifiée sous deux spécifications différentes. A court terme, l'élasticité revenu est de 1,4 et l'élasticité prix de -0,22 une valeur inférieure à celle de long terme. Un second test sur une période plus courte prend explicitement en compte les effets spatiaux par le biais du coût d'usage des logements et des automobiles. Dans cette spécification, l'élasticité revenu de long terme est de 1,6, l'élasticité prix de -0,2, celle du ***coût d'usage des automobiles*** de -0,3 et enfin, pour le ***coût d'usage des logements*** on trouve un faible effet positif sur la demande de carburant. Ces résultats suggèrent que le coût des logements a un faible effet positif sur la demande de carburant, mais sur ces estimations trimestrielles, les effets spatiaux sont moins prépondérants que sur données annuelles.

#### ***2) La recherche de régimes de demande***

Nous avons mené ensuite une investigation sur les propriétés de la consommation de carburant et de ses déterminants. Les deux questions posées sont relatives l'existence de régimes de demande distincts, leur nature et à la stabilité des coefficients estimés de la fonction de consommation de long terme.

On cherche à détecter la présence de seuils par différents tests statistique portant sur les variations des séries de consommation de carburant, le PIB et le prix du carburant. Nous appliquons dans un premier temps le test de Caner et Hansen (2001) qui permet de distinguer *s'il existe deux régimes de demande distincts*, caractérisés par des seuils de variation tout en testant la présence de racines unitaires sur les régimes de demande. Le test est appliqué sur la demande de carburant, à partir de ses propres variations. Ensuite, toujours pour cette même série, nous l'appliquons dans un deuxième temps mais en utilisant les prix comme déterminant des régimes : ceci nous permet de tester l'hypothèse d'asymétrie dans le sens où nous cherchons à voir si les mouvement de prix ont pu modifier la demande de carburant. Le test permet de répondre à trois questions : (1) si les prix modifient les régimes de demande, quelle est la longueur de l'effet de mémoire de tels mouvements ? (2) Les chocs sur les prix rendent-ils la consommation plus instable, c'est-à-dire l'éloignent de sa trajectoire d'équilibre ? (3) La consommation de carburant a-t-elle connue des période de stabilité et d'instabilité et si oui, quelles sont-elles ? Le test de Caner et Hansen permet enfin de tester si un éventuel changement de régime de demande se manifeste par une modification du processus stochastique sous-jacent.

L'application du test sur les variations passées de la consommation de carburant montre l'existence de deux régimes de demande distincts, de plus la fonction de demande est non linéaire. Un premier régime médian qui regroupe 84 % des 203 trimestres considérés et un second régime de croissance accélérée pour 16 % des trimestres. Le changement de régime, ne se manifeste pas par un changement de tendance mais seulement par le poids des variations passées. Enfin, la nature du processus générateur des deux régimes de demande n'a pas connu de modification au cours du temps : les deux régimes sont visibles sur toutes les périodes.

Lorsque l'on considère que les régimes de demande de carburant sont déterminés par les variations passées des prix on observe les mêmes distributions que dans le cas précédent. Par contre, l'effet de variation des prix déclenche le changement de régime les trois trimestres passés. La répartition des trimestres entre les deux régimes est la même que dans le test précédent. De même, on en déduit que la nature du processus aléatoire n'a pas changé au cours du temps.

Le test est ensuite réalisé sur les séries de PIB, du prix de l'énergie et du prix du carburant. On n'observe pas de changement de régime notable pour ces trois séries. Les deux premières séries évoluent de plus de manière linéaire, au contraire de la consommation de carburant. Le prix du carburant montre une absence de tendance. On observe deux régimes distincts dont le premier concentre des trimestres situés avant le premier choc pétrolier. L'évolution du prix avant le premier choc pétrolier est stationnaire, elle ne l'est plus par la suite.

Le second test utilisé est basé sur le modèle de Hamilton (1989) qui permet de tester à la fois la présence de différents régimes et de savoir si *les relations entre déterminants économiques et demande de carburant ont été modifiées au cours du temps et entre les différents régimes de demande*. Le nombre de régimes est fixé à deux, afin de faciliter la comparaison avec le test de Caner-Hansen (2001). Les résultats montrent que la consommation de carburant ne connaît pas de régime distincts alors que le PIB et le prix du carburant ont connu un changement de régime représenté par une rupture correspondant au premier choc pétrolier. Si

la consommation de carburant admet une non linéarité, celle-ci prend la forme de chocs transitoires qui ne modifient pas durablement la dynamique de la consommation. Ces chocs temporaires correspondent aux crises pétrolières historiques, durent en moyenne deux trimestres mais ne concernent que huit trimestres sur les 203 considérés. En ce qui concerne le PIB par habitant, un premier régime de croissance soutenue concerne les années 1952 à 1974, le second régime est un régime de croissance faible : il s'agit d'une rupture permanente. Le profil du prix du carburant est caractérisé par un régime permanent qui est perturbé par les chocs de prix. Le résultat remarquable du test de Hamilton est que dynamique de la croissance et de l'évolution du prix ont changé de régime au premier choc pétrolier, par contre, la consommation de carburant a évolué de manière très régulière, sans ruptures autres que des chocs ponctuels et transitoires. Autrement dit, la consommation de carburant a suivi une évolution autonome alors que les conditions économiques du régime de croissance du PIB et des prix se sont modifiées. ***Un dernier point très important est que nos tests montrent que les séries de prix, du carburant, du logement et de l'énergie n'ont pas de tendance déterministe.***

### ***3) Les tests de la demande dans le long terme***

Le dernier test consiste à tester la stabilité des coefficients de la fonction de consommation de carburant dans le cadre du modèle à correction d'erreur sur données trimestrielles. On estime un modèle à coefficients variables pour ensuite évaluer la présence de changements systématiques et aléatoires des paramètres estimés. Le premier test de variations systématiques des élasticités estimées indique qu'à l'exception de l'élasticité revenu, les coefficients peuvent être considérés comme stables dans le temps. En d'autres termes, les paramètres de la fonction de consommation de carburant n'ont connu de variation permanente de leur magnitude. Toutefois sur les années récentes, on note que le modèle surestime les valeurs de la consommation de carburant. Par contre, le test de variations aléatoires montre que les valeurs estimées des élasticités ont été affectées de chocs transitoires liés aux mouvements de grande ampleur sur les marchés pétroliers. Les mêmes test réalisés sur la spécification avec effets spatiaux et coût d'usage des automobiles montrent de même la stabilité des coefficients excepté l'élasticité revenu tandis que de même que précédemment le test des chocs aléatoires montre que les élasticités ont subi des variations temporaires sur les périodes de mouvement de grande ampleur des prix du pétrole.

### ***Les enseignements du projet***

Les résultats accumulés au cours des trois années du projet ont apporté un certain nombre d'enseignements. Nous avons un ensemble riche de résultats dont il n'est pas facile de déterminer lesquels sont robustes ou ne le sont pas.

\*\* Sur l'irréversibilité, elle apparaît clairement sur les données annuelles dans les spécifications économétriques, ce qui permet d'isoler ce problème spécifique.

\*\* Savoir si l'extension urbaine doit être considérée comme une tendance autonome ou être traitée comme dépendante des prix.

\*\* Cet effet d'irréversibilité n'apparaît pas de façon convaincante quand nous employons des modèles économétriques plus sophistiqués et des données trimestrielles.

Une partie de l'explication vient probablement de l'existence de l'effet rebond mais une autre est probablement due à un résultat fort de ce travail : à savoir que si l'observation visuelle de



la tendance de long terme du prix de l'énergie depuis 1950 est une courbe entrecoupée de chocs à la hausse, les traitements économétriques ne permettent pas de mettre en évidence une tendance ni un cycle. Cela signifie donc qu'au cours des 50 ans passés, le signal prix enregistré est assimilable à un bruit. Ce seul fait suffirait de démontrer la difficulté de mettre en évidence des effets aussi fins que l'irréversibilité, même s'il y a de bonnes raisons de croire que cet effet existe comme le montrent les résultats sur données annuelles. De même pour la confirmation de phénomènes comme l'effet de rebond, et le coût d'usage des véhicules sur le progrès technique. L'importance du prix du logement et la variable spatiale dont l'introduction dans les modèles change la vision de l'effet des prix du carburant.

En termes de politique publique, nos conclusions confirment l'importance de ne pas regarder seulement les prix comme variable de commande de la consommation mais aussi d'utiliser l'infrastructure et le prix du logement. Les prix de l'énergie ont aussi un rôle important mais seulement au sein d'un faisceau étroit. La mise en évidence du caractère aléatoire de l'évolution des prix de l'énergie confirme est difficile d'extrapoler sans précaution des élasticités obtenues économétriquement dans le futur éloigné d'un scénario de prospective énergétique.