



C.I.R.E.D.
CENTRE
INTERNATIONAL
DE RECHERCHE
SUR L'ENVIRONNEMENT
ET LE DÉVELOPPEMENT

Le rôle du changement technique dans le double dividende d'écotaxes

Jean-Charles Hourcade

Frédéric Gherzi

Publié in *Économie et Prévision* **144-145** : 47-68

C.I.R.E.D. UNITÉ MIXTE DE RECHERCHE
EHESS ET CNRS - UMR 8568
JARDIN TROPICAL
45 BIS AVENUE DE LA BELLE GABRIELLE
94736 NOGENT-SUR-MARNE CEDEX - FRANCE
TEL : (33-1) 01 43 94 73 73
FAX : (33-1) 01 43 94 73 70
<http://www.centre-cired.fr>

Résumé

Les travaux sur les impacts macro-économiques d'écotaxes ont confirmé l'existence d'une forme « faible » de double dividende si leur produit est utilisé pour réduire les taxes préexistantes les plus distorsives ; mais ils ont mis en évidence des conditions restrictives quant à l'obtention d'une forme « forte » de double dividende avec un impact positif à la fois sur la croissance et l'environnement.

On montre ici que l'obtention de la forme « forte » est sensible aux hypothèses faites concernant le marché du travail, les comportements de consommation d'énergie, les effets de substitution dans l'appareil productif, les effets d'éviction entre investissements de réduction des émissions et autres investissements.

Après une réévaluation rapide de l'état actuel des débats, une série de tests à but strictement analytique fait apparaître comment les hypothèses sur le changement technique modifient les paramètres macro-économiques mis en jeu dans le cas d'un recyclage du produit des nouvelles fiscalités vers une baisse des prélèvements sur le travail. Une application numérique à la France permet dans un troisième temps de délimiter l'espace de validité d'un double dividende fort (en termes de consommation des ménages et d'emploi) en fonction d'hypothèses contrastées sur les adaptations de la technologie et des choix des consommateurs aux nouveaux prix relatifs.

Abstract

Modelling efforts on the macro-economic impacts of carbon taxes have confirmed the existence of a "weak" form of double dividend provided the revenue raised is used in a reduction of pre-existing distortionary taxations. On the other hand, they have underlined restrictive conditions to a "strong" form of double dividend, a positive impact on both environment and growth.

This paper studies how the completion of such a dividend is sensitive to assumptions regarding the labour market, energy consumption behaviours,

substitution effects in the production process, eviction effects between emission-reducing and other investments.

Starting with a shortened update of current debates surrounding the double dividend issue, it then provides a series of analytical tests specifying how assumptions regarding technical change modify the macro-economic mechanisms involved in the case of a recycling towards payroll taxes. A third part consists in numerical applications for France, allowing to outline a domain of validity of a strong second dividend depending on contrasted hypotheses about adaptations of technological choices and consumer behaviour to a new price regime.

Introduction

L'idée que l'instauration d'une taxation des activités polluantes pourrait réconcilier protection de l'environnement et activité économique a été popularisée par D. Pearce (1991) sous le terme de « double dividende » : un premier dividende découlerait d'une rationalisation des politiques environnementales *via* un signal prix ; un second proviendrait de l'allègement des prélèvements sur le travail et le capital permis par l'émergence d'une nouvelle base fiscale. La perspective d'un tel glissement des assiettes fiscales apparaît déjà dans le livre blanc *Croissance, Compétitivité, Emploi* de l'Union Européenne en 1994 ; elle est réactivée par les lignes directrices du conseil européen extraordinaire de Luxembourg de novembre 1997, qui visent à renverser la tendance à l'alourdissement des prélèvements obligatoires sur le travail¹ ; elle sous-tend enfin la récente introduction d'une Taxe Générale sur les Activités Polluantes en France.

Cet article résume tout d'abord l'évolution des débats sur le double dividende, en s'attachant à en souligner les lieux de consensus et les points de controverse. Puis, à partir d'un modèle d'équilibre général statique appliqué aux réductions des émissions de CO₂, il étudie comment l'ampleur du deuxième dividende évolue en fonction de paramètres clefs bien identifiés : comportements de consommation énergétique, effets de substitution dans l'appareil productif, effets d'éviction entre investissements de réduction des émissions et autres investissements, qualité du recyclage du revenu de la taxe nouvelle et rigidité du marché du travail. Enfin, une application numérique à la France délimite par analyse de sensibilité le domaine d'existence d'un effet net positif sur l'emploi et la consommation.

¹ Pour fixer les ordres de grandeur, rappelons qu'en France, de 1984 à 1994, pour une augmentation de 7% du salaire net médian à francs constants, les taxes sur le supercarburant n'ont augmenté que de 12%, celles sur le diesel reculé de 8%, tandis que l'écart entre salaires bruts et salaires nets croissait de 26%.

I. Entre controverses macro-économiques et controverses technologiques

I.1. Éléments de consensus théorique

En matière de politique environnementale, les économistes recommandent l'utilisation d'instruments de marché afin de remédier aux effets pervers inhérents aux normes techniques (surcoûts d'une différenciation insuffisante, risques de manipulations stratégiques), ou à l'évolution des redevances vers une logique du « juste retour », sans souci d'encouragement à la prévention, à l'innovation et à la modification des modes de consommation. Il est donc logique que le débat concernant un possible double dividende des fiscalités écologiques se soit ouvert à l'occasion du dossier climatique : la lutte contre l'effet de serre est en effet exemplaire en ce qu'il est impossible de songer à coordonner des centaines de normes techniques à l'échelle mondiale, ou d'affecter entièrement à des investissements d'épuration la masse des revenus ponctionnés par des niveaux de taxes susceptibles de provoquer une baisse adéquate des émissions concernées. La question de l'utilisation du produit d'une taxation des gaz à effet de serre (GES) se pose donc d'entrée ; le fait qu'un recyclage bien ciblé puisse annuler les coûts des politiques climatiques s'inscrit alors très naturellement dans une recherche de stratégies « sans regret », à même de traduire le « principe de précaution » de la Convention des Nations Unies sur le Changement Climatique (Rio, 1992).

Les premiers modèles empiriques développés autour de ces questions, souvent néo-keynésiens, confirment l'intuition d'un bilan macro-économique positif d'écotaxes dont les revenus seraient utilisés pour diminuer les prélèvements sur le travail en Europe (Godard, Beaumais 1994, DGII 1992, Barker *et alii* 1993), et sur le capital aux États-Unis (Shackleton 1992)². Une critique théorique de ces résultats fut alors menée, à partir d'approches en termes d'équilibre général, pour mettre en garde contre la tentation de *survendre* les

² Pour un bilan comparatif de cette première génération d'études, se reporter au deuxième rapport du Groupe d'Experts Intergouvernemental sur l'Évolution du Climat (GIEC 1996).

écotaxes, et contre l'illusion de politiques climatiques à coût nul quels que soient les objectifs de réductions d'émissions.

Le débat a aujourd'hui débouché sur un consensus réel (GIEC 1996) : à objectif environnemental donné, normes et réglementations sont moins efficaces qu'une écotaxe dont le revenu serait recyclé de manière forfaitaire ; mais dans l'un comme l'autre cas l'objectif environnemental est atteint à un coût macro-économique net supérieur à son coût technique brut. En revanche, une écotaxe recyclée, non plus forfaitaire mais dans une baisse de prélèvements distorsifs préexistants, permettrait d'atteindre le même objectif pour un coût macro-économique inférieur au même coût technique.

C'est à ce niveau que subsiste une controverse : selon la terminologie introduite par Goulder (1995), peut-on, au-delà d'un double dividende « faible », obtenir une réduction du coût macroéconomique telle que le bilan soit un gain net, ou un double dividende « fort »³ ? La réponse à cette controverse apparaît plus clairement si l'on distingue bien deux champs d'argumentation, macro-économique et technico-économique.

1.2. Une controverse macro-économique : écotaxes et prélèvements sur le travail

Dans l'hypothèse d'un recyclage des écotaxes par baisse des cotisations sociales, l'intuition validant l'hypothèse de l'obtention d'un double dividende est celle d'un cercle vertueux du type : baisse des coûts salariaux → hausse de l'embauche → hausse de la consommation des ménages, et relance de l'activité. Bovenberg *et alii* (1994a, 1994b) ou Goulder (1995), font cependant observer que dans une étude des effets d'équilibre général :

- considérant un monde à un seul facteur et un seul produit, une taxe sur le facteur et une taxe sur le produit sont équivalentes, puisqu'elles constituent une ponction identique du revenu réel. L'effet incitatif sur l'emploi du glissement de l'une vers l'autre est nul, et on peut dire que la taxe sur le produit est une taxe implicite sur le facteur de production ;

³ La version forte est celle que recouvre l'utilisation du terme « double dividende » dans le débat public.

- dès lors que l'on considère une économie à plusieurs produits, la taxation de l'un d'entre eux entraîne des variations de prix relatifs qui provoquent une érosion de la nouvelle base fiscale. Cette érosion, dans l'hypothèse d'une neutralité budgétaire, limite les possibilités de réduction de la taxe sur le facteur. C'est ce que Goulder nomme le *tax interaction effect*, effet se traduisant par une réduction nette du revenu réel, donc une baisse de la consommation et une désincitation à l'emploi qui se conjuguent pour provoquer un ralentissement de l'activité.

Le mécanisme décrit joue à plein dans une économie de premier rang et suffit le plus souvent à bloquer l'apparition d'un double dividende. Dans les économies réelles, sa portée est tout d'abord limitée par une transmission plus complexe de l'impact fiscal, qui justifie que l'écotaxe ne retombe pas entièrement, *in fine*, sur les facteurs de production de l'économie concernée. D'une part, elle touche aussi les ménages, donc se comporte comme une taxe implicite sur les revenus non salariaux (dont les revenus de transfert), et permet ainsi un allègement net de la charge fiscale pesant sur la production. D'autre part, elle provoque une modification de l'allocation des rentes pétrolières et gazières en faveur des pays importateurs : les facteurs sur lesquels l'écotaxe pèse en dernier ressort ne sont pas nécessairement internes.

En outre, Bovenberg et De Mooij établissent que le second dividende est d'autant plus important qu'on réduit les fiscalités les plus distantes de leur optimum social : l'effet net dépend de la comparaison entre la distorsion marginale de la taxe carbone et celle de la taxe à laquelle elle se substitue. Il devient donc crucial de savoir à quel degré les taxes actuelles sur l'énergie ont une fonction internalisatrice des coûts externes de l'utilisation de l'énergie en sus de leur finalité budgétaire.

On pourrait encore souligner, argument rarement pris en compte, qu'en fournissant une diversification des assiettes l'écotaxe réduit les risques d'évasion fiscale. Mais le paramètre le plus important demeure l'effet incitatif comparé de structures fiscales différentes. Dans le cas d'une substitution entre taxe carbone et charges sociales, cet effet dynamique dépend de la réaction des comportements énergétiques (cf. *infra*) et du fonctionnement du marché du travail : l'effet emploi d'écotaxes substituées à des prélèvements directs sur le travail n'apparaît, dans un modèle avec flexibilité totale des salaires, qu'en cas de relation positive entre offre de travail et salaires réels. On peut cependant surmonter cette condition restrictive par une représentation plus fidèle du

comportement des salariés : d'un côté Carraro et Soubeyran (1996) montrent qu'introduire une rigidité des salaires nominaux élargit le domaine de validité d'un double dividende. De l'autre, considérer une flexibilité absolue des salaires et faire l'hypothèse que les salariés arbitrent en faveur du loisir en cas de baisse de leur pouvoir d'achat, c'est ignorer le recours à l'économie domestique (élasticité de l'offre de travail positive pour les femmes) ou à l'économie parallèle. Introduire un secteur informel dans l'analyse inverse les résultats, surtout si l'on tient compte de la baisse de la propension à la fraude.

1.3. Une controverse technique : signaux prix et choix techniques, progrès technique biaisé

Le volet technique de la controverse présente deux aspects distincts : l'impact direct, quantitatif et qualitatif, d'une taxation du carbone sur l'offre et la demande d'énergie ; les conséquences qui en découlent en matière de productivité générale.

1.3.1. Flexibilité du marché de l'énergie

L'évaluation de la flexibilité dans les comportements de demande et d'offre d'énergie est très fortement controversée. Elle renvoie à l'opposition récurrente entre modèles énergétiques technico-économiques (ou *bottom-up*) et macro-économiques (ou *top-down*). Les premiers concluent en général à un *efficiency gap* entre les performances des technologies disponibles les plus efficaces et celles des technologies effectivement utilisées. Les seconds considèrent en revanche que cet *efficiency gap* donne une flexibilité moins grande qu'il n'y paraît, dès lors qu'on prend en compte la complexité des préférences des consommateurs et l'existence de coûts de transaction⁴ à l'utilisation de techniques nouvelles (Jaffe, Stavins 1994). Sur le long terme, l'approche *top-down*, insiste sur les coûts d'incitation et tend à corrélérer l'orientation de l'innovation au régime des prix relatifs, alors que les scénarios technico-économiques font apparaître des potentiels de réduction entraînés par la seule R&D.

⁴ Sur ce point, sont révélatrices les contradictions entre les groupes de travail II et III du GIEC (GIEC 1996).

Cette opposition trouve son origine dans la difficulté d'interprétation de travaux économétriques menés principalement sur la période des deux chocs pétroliers, où les effets prix ne jouèrent jamais de façon pure, mais en synergie avec des mesures d'accompagnement, et conjointement à des adaptations structurelles de l'économie et des modes de régulation du secteur énergétique (Hourcade 1990). Les résultats obtenus traduiraient donc les effets de chocs non anticipés sur les prix, et ne pourraient ainsi s'appliquer aux anticipations à long terme des agents. Trois phénomènes historiques aujourd'hui bien établis confirment cette intuition : l'impact des variations de prix de l'énergie successives au premier choc pétrolier a été nécessairement décalé en raison de l'inertie du capital existant et affecté par une grande volatilité (Hasset, Metcalf 1993) et sont apparus des phénomènes d'irréversibilités et d'élasticités asymétriques à la hausse et à la baisse (Sweeney, Frenchel 1986 ; Gately 1992). La prise en compte de mécanismes endogènes d'apprentissage pour expliquer le progrès technique en lieu et place d'un progrès technique autonome complique encore le diagnostic ; il est donc logique que perdurent parmi les spécialistes de l'énergie des « visions du monde » très contrastées quant à la capacité de politiques publiques, tarifaires comme non tarifaires, de déclencher des inflexions importantes des trajectoires.

Soulignons que la façon dont se transforme le domaine de validité du double dividende en fonction des hypothèses sur l'effet incitatif des taxes est ambiguë : tout optimisme en la matière conduit à une forte réduction de la base fiscale nouvelle, donc à un deuxième dividende *a priori* plus restreint ; mais, d'un côté le dividende environnemental est alors plus marqué, et de l'autre, il suffit que la lente érosion de la nouvelle assiette fiscale⁵ s'accompagne d'une mise en œuvre de technologies à faible coût (au moins sur un segment donné de la réduction requise) pour qu'un effet macro-économique net positif reste plausible.

⁵ Une érosion certes relative : au titre des engagements pris à Kyoto, la France doit par exemple stabiliser ses émissions de carbone à 104,5 Mt (leur niveau de 1990) sur la période 2008-2012, ce qui constituerait une baisse de 11 à 13% par rapport aux tendances actuelles (CGP 1998), mais conserverait une assiette fiscale très conséquente.

I.3.2. Impact de l'adaptation des choix techniques sur la productivité générale

Puisque des signaux prix forts et durables sont destinés à transformer de façon profonde les choix techniques dans le domaine de l'énergie, il n'est pas assuré qu'ils n'aient qu'un impact marginal sur l'innovation et la structure du produit ; il devient alors contestable de considérer que l'introduction d'une écotaxe se traduit par un simple déplacement le long de fonctions de production inchangées.

L'analyse des conséquences d'une hausse durable des prix de l'énergie sur la productivité globale remonte aux travaux de Jorgenson (1981, 1984) pour qui progrès technique et intensité énergétique sont positivement corrélés, et qui conclut conséquemment qu'« *any increase in relative energy prices will lead to a slower growth in total productivity* »⁶ (Hogan, Jorgenson 1991). Cette conclusion est contestée sous plusieurs angles : non robustesse au choix de la forme fonctionnelle (Berndt 1986 ; Norsworthy 1983 ; Considine 1989), instabilité caractérisant la période d'étude (Berndt, Wood 1985), difficultés de mesure de la productivité du capital en période de récession économique (Berndt, Wood 1985 ; Bohi 1989), critique des théoriciens du changement technique (Peters 1996).

Le débat se centre aujourd'hui sur la prise en compte d'un possible effet d'éviction entre les dépenses pour un progrès technique biaisé, visant à dissocier croissance et émissions de gaz à effet de serre, et le progrès technique conventionnel, permettant une hausse de productivité globale. Cet effet apparaît en modélisation lorsqu'on choisit de traiter le progrès technique non plus comme paramètre exogène mais comme induit (par les prix relatifs, la R&D, les économies d'apprentissage) (Schneider, Goulder 1997). Deux paramètres difficiles à évaluer en déterminent l'ampleur : la suboptimalité *ex ante* des efforts de R&D (en volume et en affectation) et les effets externes positifs du progrès biaisé sur le savoir faire technique général (maîtrise des matériaux, régulation des *process...*).

⁶ « Toute augmentation des prix relatifs de l'énergie conduit à une croissance plus lente de la productivité totale ».

II. Un cadre analytique pour raisonner en variantes

II.1. *Statique comparative et « visions du monde »*

L'identification des déterminants du deuxième dividende fait apparaître que sa mesure dépend de paramètres très difficiles à apprécier numériquement : effets de distorsion des fiscalités en place, réactions du marché du travail à une baisse des charges, potentiels techniques, effets dynamiques d'incitation, effets d'éviction entre changement technique biaisé et progrès technique général. S'ajoutent bien évidemment les impacts sur la compétitivité internationale en cas de mesures unilatérales. Les controverses sur chacun de ces points sont affaire de données techniques, de choix des formes fonctionnelles, de conjectures sur les potentiels des technologies, mais aussi plus fondamentalement de « théories » sur le fonctionnement des marchés ou sur la dynamique de croissance.

Il importe bien sûr que la recherche se poursuive pour réduire les controverses théoriques et les incertitudes paramétriques. Mais conditionner l'obtention de résultats à même d'orienter les politiques climatiques à un consensus sur des sujets aussi divers interdirait pour longtemps tout éclairage économique sur l'écofiscalité. D'un côté en effet, les controverses internes au domaine de l'énergie ne sont pas près de s'éteindre, tant paraît irréductible la non prédictibilité de certains changements techniques⁷ ou de l'impact de mesures non tarifaires (aménagement urbain, normes d'émission ou de sécurité) sur les réponses aux prix des flux en cause dans des secteurs comme les transports. De l'autre, les nombreuses tentatives pour dépasser les modèles « à la Solow » n'ont pas débouché jusqu'ici sur une théorie unifiée de la croissance économique : effets d'hystérèse où des régimes stabilisés différents peuvent résulter de chocs transitoires, modèles régulationnistes où l'accent est mis sur les institutions et le changement du mode de gestion des firmes et du rapport salarial, théorie de la croissance endogène (Aghion, Howitt 1998). Or le choix

⁷ Ainsi des innovations en grappe dans le domaine du forage pétrolier : sismique 3D, forages directionnels ou à grand départ, techniques *offshore* ont contribué à l'effondrement des cours entre 1986 et 1999.

entre ces représentations de l'économie n'est pas neutre vis-à-vis de la thématique du double dividende ; ainsi, un modèle de type Kaldor-Verdorn ou un modèle néo-kaleckien (Bowles, Boyer 1995), où une hausse exogène des salaires réels améliore la compétitivité hors prix et rend la croissance plus autocentrée, dénoteront un effet de relance supérieur à celui mis en évidence par un modèle néo-classique centré sur les effets d'offre et où les salaires sont totalement flexibles.

C'est pourquoi nous avons choisi ici de prendre acte de l'existence de ces débats et de montrer qu'ils n'interdisent pas, sur la base d'un accord sur quelques principes généraux de cohérence économique d'ensemble, d'apprécier un possible domaine de validité du double dividende ; d'une part, certaines des controverses ne sont pas numériquement décisives, d'autre part, une articulation de leurs implications ultimes met en évidence des compensations entre effets positifs et effets négatifs. Il convenait donc de se doter d'un outil assez flexible pour représenter les diverses thèses en présence et procéder par raisonnement systématique en variante. Ceci explique notre choix de procéder à une analyse en statique comparative de la déformation d'un sentier d'équilibre de long terme, sachant que cet équilibre peut correspondre à des « visions du monde » différentes et à des valeurs divergentes de paramètres dynamiques majeurs. Il convenait aussi que cet outil puisse représenter de façon robuste des niveaux de taxe élevés puisque sont ici en jeu des objectifs de découplage important des émissions de GES par rapport aux tendances en cours.

Avant d'expliquer brièvement ci-après les spécificités du modèle d'équilibre général statique IMACLIM utilisé dans les analyses présentées en troisième partie, il nous faut rappeler que les approches en termes d'équilibre général calculable font l'objet de controverses. En effet, la plupart des modèles appliqués se valent, ne serait-ce que pour des questions de facilité technique, sur la théorie néo-classique de la croissance. Il faut insister sur le fait que le présent modèle ne présuppose pas un équilibre de premier rang avec croissance « en âge d'or » et perfection des marchés de l'énergie ; le respect de telles hypothèses serait en effet contradictoire avec notre volonté de représenter des points de vue très différents, et aussi de prendre en compte ceux des déterminants du deuxième dividende dénombrés plus haut caractéristiques d'une économie de second rang. Ceci signifie simplement que les résultats obtenus doivent être compris comme ceux d'un nouveau sentier

d'équilibre de long terme, aboutissement d'un rééquilibrage consécutif aux perturbations créées par l'introduction d'une écotaxe.

La structure d'IMACLIM a pour objectif de répondre au cahier des charges suivant :

- étudier diverses hypothèses plus ou moins optimistes d'efficacité dynamique du signal prix en matière de baisse de la demande d'énergie et de la substitution entre énergies, ainsi que de coût d'investissement des techniques économes en carbone ;
- tester des niveaux de taxe élevés, ce qui suppose d'explicitier les saturations des rendements techniques ou des réponses des consommateurs et de ne pas raisonner à élasticité constante sur l'espace étudié ;
- intégrer la déformation induite par les écotaxes des fonctions de production hors énergie, en s'assurant que les hypothèses sur cette déformation sont cohérentes avec celles concernant la réponse du secteur énergétique ;
- expliciter les effets d'éviction sur l'innovation et les hypothèses sur les externalités technologiques susceptibles de les atténuer ;
- représenter des équilibres de long terme en sous-emploi, et où l'évolution du salaire net dépend du rapport de force en matière salariale, lui-même fonction du taux de chômage ; il convient en effet de simuler des hypothèses où une partie de la baisse des prélèvements obligatoires sur le travail est revendiquée par les salariés sous forme de hausse du salaire nominal ;
- représenter les impacts sur la compétitivité internationale dans l'hypothèse d'une application unilatérale des écotaxes en économie ouverte.

II.2. Les spécificités du modèle IMACLIM

Le modèle IMACLIM opère une déformation par statique comparative de l'équilibre économique d'une économie ouverte, calibré sur une matrice de comptabilité sociale (annexe 2), et interprété comme un équilibre statique le

long d'un sentier de croissance stabilisé. Cet équilibre, dit de préférence, est exprimé à la fois en volume et en prix. Dans l'exercice ci-après, on utilise un TEE à trois biens⁸ : un bien composite (Q), le commerce (C), et l'énergie (E).

Pour un niveau de taxe donné, le nouvel équilibre est déterminé par la résolution simultanée de quarante-deux équations permettant d'établir les valeurs de quarante-deux variables (cf. annexe 1). Le cœur de ce système est constitué par :

- des équations de prix des biens : ces prix dépendent de l'évolution des coûts des facteurs, des substitutions entre ces facteurs et de l'évolution de la productivité globale ;
- des équations de demande des ménages, suivant un système linéaire de dépense ;
- des équations de demande de facteurs : en raison de la difficulté d'interprétation des résultats sur les relations de complémentarité ou de substituabilité entre capital et énergie, nous considérons que chaque génération d'investissement met en place un capital machine caractérisé par des intensités en énergie et en travail, qui évoluent en fonction des prix de ces deux facteurs et de leurs élasticités de substitution ;
- une équation de demande finale totale du bien composite intégrant la demande des ménages, les consommations intermédiaires, les biens d'investissement et le solde extérieur en volume. Les importations et les exportations sont calculées séparément par des élasticités au rapport entre prix nationaux et internationaux ;
- une équation d'équilibre budgétaire, qui assure la constance de la part des prélèvements sur le produit.

L'annexe 1 explique qu'on dispose d'autant d'équations que de variables susceptibles d'être affectées par l'écotaxe ; qu'on dispose en effet de paramètres d'entrée sur les élasticité-prix de l'énergie, les taux de décarbonisation de l'offre énergétique et les coûts d'investissement des technologies économes en carbone, qui résultent de modèles énergétiques

⁸ Ce niveau d'agrégation est nécessaire pour faciliter une compréhension des mécanismes d'ensemble. Il présente l'inconvénient de masquer les effets intersectoriels (nous y reviendrons en conclusion). La distinction d'un secteur commercial ne s'explique que par la spécificité du traitement du commerce dans la comptabilité nationale française

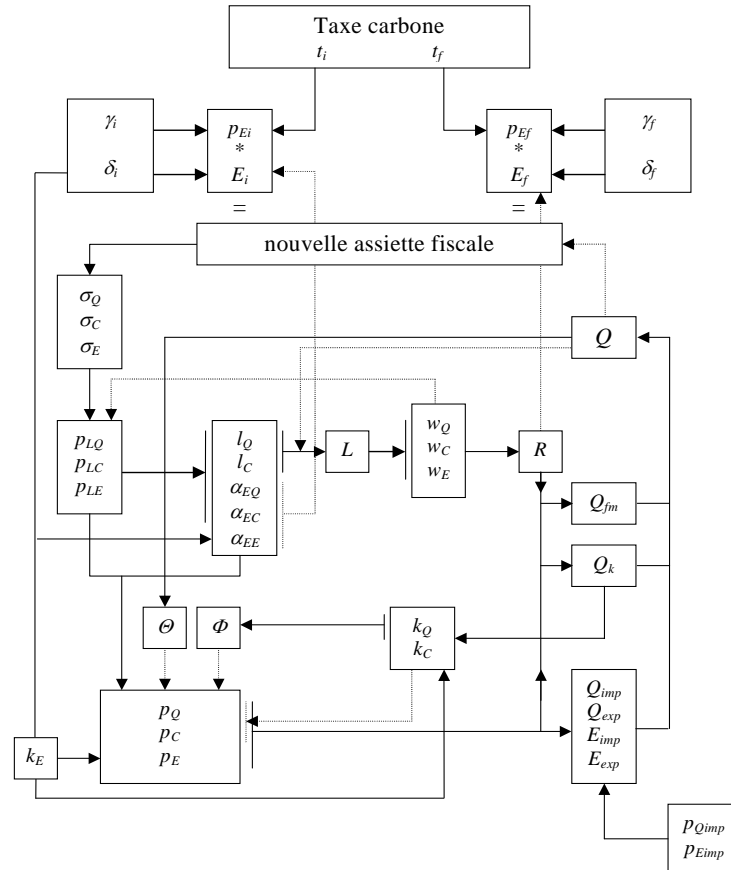
exogènes selon une procédure qui garantit la cohérence entre images physiques et images économiques *via* des vecteurs prix explicites (voir plus loin). Les hypothèses sur le comportement du marché du travail sont traduites au travers de la réponse du salaire net à la baisse du taux de chômage. De cette façon, IMACLIM peut, par construction, représenter toute « théorie » sur les effets d'incitation de la substitution entre écotaxes et prélèvement sur le travail. Les seules hypothèses *ad hoc* complémentaires sont, dans les simulations qui suivent, la constance du rapport entre consommation finale privée et publique et, plus important (les investissements d'économie d'énergie sont prélevés sur l'épargne générale des ménages⁹), du rapport épargne consommation des ménages.

Le mécanisme général présidant au nouvel équilibre est décrit par le graphique 1. Lorsqu'une taxe carbone t_i , t_f (sur les consommations intermédiaires et finales) perturbe l'équilibre initial, le nouvel équilibre est recherché en baissant les charges sur le travail σ_X de façon à respecter la contrainte d'équilibre budgétaire. Ceci détermine de nouveaux coûts relatifs des facteurs p_{LX} et p_X , donc de nouveaux coefficients unitaires de consommation intermédiaire d'énergie α_{EX} et de travail l_X ; les nouveaux prix des biens p_X sont alors calculés en tenant compte des substitutions entre facteurs et de l'évolution de la productivité globale (Θ et Φ). Par ailleurs, l'évolution de l'intensité en travail l_X modifie R , les revenus distribués aux ménages, à niveau de production inchangé. La demande en bien composite Q_{fm} s'adapte aux nouveaux prix relatifs; elle est d'autant plus faible, à revenu constant, que les dépenses énergétiques E_f s'accroissent. L'évolution de la production totale de bien Q dépend donc, compte tenu des consommations intermédiaires, de la demande des ménages, mais aussi du solde commercial $Q_{exp}-Q_{imp}$ induit par le nouveau rapport des prix nationaux p_Q et internationaux p_{Qimp} ; ¹⁰ ceci entraîne, par effet multiplicatif, une hausse ou une baisse de l'activité totale¹¹ selon les cas.

⁹ Alors qu'on pourrait admettre qu'ils sont, au moins en partie, prélevés sur la consommation. Il est possible de résoudre le modèle sur la base de cette hypothèse, mais, pour des raisons de clarté, nous avons préféré ne pas le faire dans ce texte.

¹⁰ Du fait des ordres de grandeur en jeu, on ignore l'impact de la variation du solde commercial sur l'endettement extérieur, donc le service de la dette et le taux d'intérêt.

¹¹ L'influence de la formation de la demande sur le taux de croissance à long terme est suggérée par les nombreuses études qui montrent que le résidu de Solow n'est pas indépendant de la demande globale (Blanchard, Fitoussi 1998).



- γ_i, γ_f Part des fossiles dans la consommation des entreprises, des ménages
- δ_i, δ_f Baisse de consommation d'énergie des entreprises, des ménages, à production constante (donnée technico-économique)
- p_{Ei}, p_{Ef} Prix de l'énergie intermédiaire, finale
- E_i, E_f Volume d'énergie consommé par les entreprises, les ménages
- σ_X Charges sociales totales sur le salaire net dans le secteur X (Q, E ou C)
- p_{LX} Coût salarial total dans le secteur X
- l_X Travail unitaire dans le secteur X
- α_{EX} Énergie unitaire dans le secteur X
- L Population active occupée
- w_X Salaire net dans le secteur X
- p_X Coût de production du secteur X
- k_X Consommation unitaire de capital dans le secteur X
- R Revenu disponible brut de ménages
- Q_{fm} Consommation de bien composite des ménages
- Q_k Formation brute de capital fixe
- Q_{imp}, E_{imp} Volumes d'énergie et de bien composite importés
- Q_{exp}, E_{exp} Volumes d'énergie et de bien composite exportés
- p_{Ximp} Prix du bien X à l'importation
- Θ Rendements décroissants statiques
- Φ Progrès technique endogène

Graphique 1 Mécanique du modèle

Quelques explications complémentaires à l'annexe 1 sont ici utiles pour cerner la spécificité d'IMACLIM concernant le traitement du changement technique induit par l'écotaxe, en deux temps.

II.2.1. Construction de fonctions macro-économiques cohérentes avec les résultats des modèles énergétiques

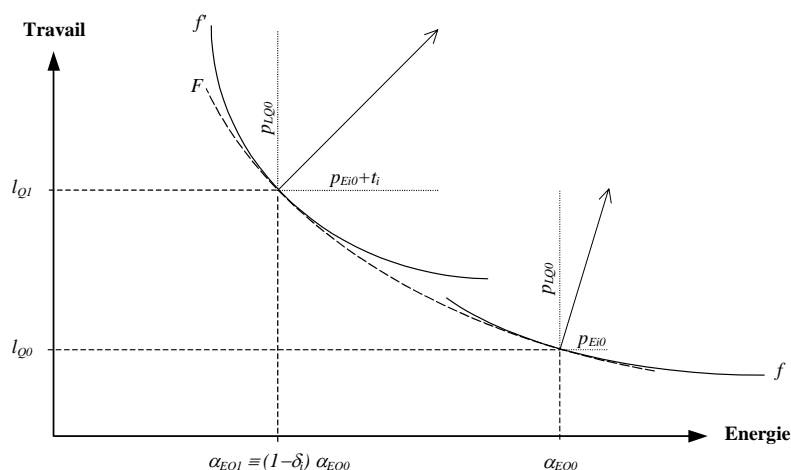
La première étape consiste à révéler quelles sont les fonctions de demande et de production d'IMACLIM cohérentes avec les résultats de modèles énergétiques sectoriels qui donnent la transformation des consommations finales et intermédiaires d'énergie à l'horizon projeté. L'enjeu est ici double :

- traduire, dans les fonctions de production macro-économiques, les différents niveaux d'optimisme, quant à la valeur des potentiels techniques ou au degré d'imperfection des marchés de l'énergie, représentés par les modèles sectoriels ;
- prendre en compte les phénomènes de saturation des réactions aux prix (asymptotes technologiques ou butée sur des besoins incompressibles) qui interdisent de retenir des élasticités constantes sur tout l'espace étudié, que ce soit pour les fonctions de demande ou les fonctions de production.

En interprétant les résultats des modèles énergétiques pour un niveau de taxe donné (ou plus précisément pour une variation de cette taxe à partir de ce niveau) comme des élasticités prix à revenu ou niveau de production constant, on peut démontrer qu'il existe une seule fonction (de consommation ou de production) valide au voisinage de cette taxe. Ceci se fait sans recours à des hypothèses autres que celle d'égalité entre les prix des facteurs et leur productivité marginale. On peut donc de cette façon reconstruire empiriquement les élasticités à retenir pour chaque niveau de taxe ; ces élasticités dépendront du caractère plus ou moins optimiste des résultats des modèles énergétiques.

Nous illustrerons ici cette procédure dans le cas de la fonction de production du bien composite. La « vraie » fonction f' induite par le nouveau régime de prix relatifs est inconnue, mais on remarque qu'il n'existe qu'une fonction F , enveloppe de la fonction dérivée f' et de la fonction d'origine f , qui soit cohérente avec les couples prix-intensité énergétique donnés par les modèles

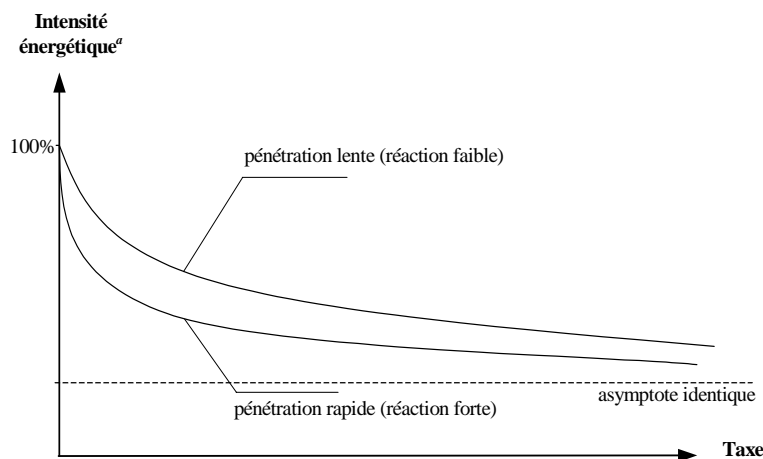
technico-économiques, pour de faibles augmentations des prix de l'énergie (cf. graphique 2).



Graphique 2 Enveloppe des fonctions de production implicites

En répétant cette approximation pour chaque niveau de taxe, on peut déduire une « loi » de transformation de la fonction de production cohérente avec les économies d'énergie dans le secteur industriel tirées des modèles énergétiques. Lorsqu'on s'approche des asymptotes de progrès technique, la forme réduite calculée prend ainsi une allure de fonction Léontief. Par exemple, dans l'exercice qui suit, les élasticités ponctuelles sont tirées de simulations d'un modèle technico-économique simple, NEXUS, qui conduit aux courbes présentées au graphique 3 ; celles-ci traduisent ici un même jeu d'hypothèses sur les potentiels technologiques (asymptotes de saturation à l'horizon considéré) croisées avec des hypothèses de réaction forte ou faible aux signaux-prix. Les réactions n'ont ici qu'une valeur indicative pour illustrer des jugements contrastés sur les imperfections de marché inhibant la réponse des agents ou, dans le sens contraire, sur la capacité de politiques complémentaires à lever ces imperfections et à guider les anticipations¹².

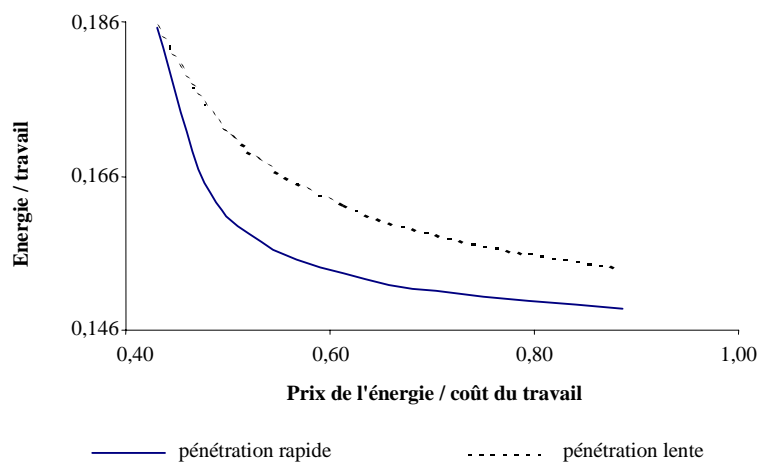
¹² Les derniers travaux du Commissariat Général du Plan ne donnant pas d'information systématique sur les élasticités-prix du système énergétique (ou ne permettant pas de les dériver aisément des scénarios produits), et cet article visant surtout à illustrer le lien entre hypothèses technologiques et double dividende, nous avons actualisé un exercice précédent mené lors d'un projet pour l'UNEP (Hourcade *et alii*, 1993), et calibré sur la base de données communiquées par l'ADEME et de dires d'expert sur les asymptotes technologiques.



^aEn pourcentage de la valeur du scénario de référence

Graphique 3 Simulation des données technico-économiques

On obtient donc des couples taxe/taux de baisse d'où l'on dérive, en systématisant le raisonnement représenté au graphique 2, l'évolution des ratio énergie/travail dans les deux secteurs composite et commerce en fonction de celle des prix relatifs de ces deux facteurs. Comme on le voit dans le graphique 4, ces ratios, évoluent très différemment selon que le modèle technico-économique traduit des hypothèses optimistes ou pessimistes sur l'efficacité du signal-prix à induire une innovation économe en énergie, et ils se rejoignent bien à l'approche de niveaux de taxe élevés, induisant les asymptotes techniques. Afin d'éviter toute erreur d'interprétation, insistons sur le fait que, puisqu'il s'agit ici de fonctions résultant de l'innovation induite par des signaux prix stables, il serait très légitime de faire varier ces asymptotes en fonction des prix, ce que nous avons choisi de ne pas faire ici pour éviter une multiplication des scénarios inutile à notre propos. Notons aussi que, dans cette représentation agrégée, le déplacement de la fonction de production macro-économique incorpore à la fois l'adoption de techniques plus intensives en travail et le changement de la structure du produit (baisse de la production de biens intensifs en énergie au profit de celle de biens intensifs en travail).



Graphique 4 Influence du changement technique sur le ratio énergie/travail

II.2.2. Évolution de la productivité globale des facteurs

La productivité globale des facteurs peut être modifiée à long terme, on l'a vu, par l'effet d'éviction que les besoins en capital de l'offre et de la consommation d'énergie sont susceptibles de faire peser sur les secteurs autres qu'énergétiques, par un ralentissement du rythme de renouvellement des équipements qui limite l'innovation liée à un progrès technique endogène (Φ) et par le jeu des rendements décroissants statiques (Θ). Comme le montre l'annexe 1 le calcul de Θ peut se faire sans hypothèses additionnelles. Le calibrage de la fonction Φ exige, quant à lui, de faire une hypothèse sur l'écart, borné, entre productivité réelle et productivité potentielle à l'horizon considéré ; des tests de sensibilité non reproduits ici démontrent que l'impact numérique de cette hypothèse est d'un ordre de grandeur inférieur à celui du paramètre qui capture l'effet d'éviction. Celui-ci est obtenu, à niveau donné de partage entre consommation et investissement, en soustrayant du cumul du flux de la FBCF du scénario de référence pour le bien composite le cumul des investissements d'offre et d'économie d'énergie. Le coût en capital de niveaux donnés d'abattement du CO_2 étant fourni par des modèles technico-économiques, on peut endogénéiser la relation liant un niveau de taxe à une augmentation de l'investissement unitaire dans le secteur de l'énergie. La valeur de Φ dépend alors de l'hypothèse retenue concernant l'effet d'éviction, variable $\tau_{év}$ (annexe 1) : un taux de 1 signifie un effet d'éviction complet où la

perte de productivité, liée à une moindre innovation, est proportionnelle à la baisse du capital dans le secteur composite ; une valeur inférieure à 1 suppose que des externalités (*spill over*) du progrès technique « propre » bénéficient au progrès technique général.

III. Déterminants du deuxième dividende en univers certain

Pour éviter que des discussions sur les hypothèses macro-économiques de scénarios énergétiques à dix ans ne perturbent l'analyse des déterminants du double dividende, nous avons choisi d'effectuer les évaluations numériques qui suivent sur la base de l'économie française en 1997 vue au travers du *Rapport sur les Comptes de la Nation* de l'INSEE. L'analyse de statique comparative effectuée décrit donc l'équilibre économique auquel aurait mené l'introduction progressive, au cours des années 1980, de taxes carbone qui atteignent des niveaux de 200 à 2500 Francs par tonne en 1997.

L'exposé se déroule en deux temps : sont tout d'abord présentés les résultats de huit tests numériques destinés à isoler l'influence spécifique de chacun des déterminants mis en évidence précédemment, à l'exception de l'effet d'éviction ; puis sont étudiés quatre scénarios plus réalistes, incorporant l'ensemble de ces éléments et l'impact de l'effet d'éviction.

III.1. Impact des hypothèses technologiques sur les mécanismes macro-économiques

Les tests présentés ci-après sont donc des expériences numériques qui n'ont d'autre but que d'évaluer l'influence de chaque paramètre et ne sauraient prétendre à un quelconque réalisme.

Le premier test a pour fonction de mettre en évidence le mécanisme « pur » qui préside au double dividende lorsque l'on prend pour référence une situation d'équilibre de sous-emploi. Il suppose une inélasticité totale des consommations d'énergie des entreprises et des ménages, et la fixité de la productivité globale des facteurs (pas de rendements décroissants statiques, de progrès technique endogène ni d'effet d'éviction). Les résultats obtenus sont constamment positifs en termes d'emploi comme de consommation des ménages. Leur détail (annexe 3) permet de saisir le mécanisme sous-jacent : la stabilité des consommations d'énergie fournit une nouvelle assiette fiscale assez large pour permettre une forte diminution des cotisations sociales et un transfert important des prélèvements en direction des revenus non salariaux,

Expériences numériques

- Variante 1** - Consommations d'énergie des ménages et des entreprises inélastiques aux prix.
- Salaires nets fixes, chômage dans le scénario de référence.
- Pas de progrès technique induit, pas de rendements statiques décroissants.
- Variante 2** - Consommations d'énergie des ménages et des entreprises inélastiques aux prix.
- Salaires nets fixes, chômage dans le scénario de référence.
- Rendements statiques induits.
- Variante 3** - Consommations d'énergie des ménages et des entreprises inélastiques aux prix.
- Elasticité positive des salaires nets à l'emploi, chômage dans le scénario de référence.
- Rendements décroissants statiques.
- Pas de progrès technique induit.
- Variante 4** - Consommations d'énergie des ménages et des entreprises inélastiques aux prix.
- Elasticité positive des salaires nets à l'emploi, plein emploi dans le scénario de référence.
- Pas de progrès technique induit, pas de rendements statiques décroissants.
- Variante 5** - Elasticité-prix faible des consommations d'énergie des entreprises.
- Consommations d'énergie des ménages inélastiques aux prix.
- Elasticité positive des salaires nets à l'emploi, chômage dans le scénario de référence.
- Rendements décroissants statiques.
- Pas de progrès technique induit.
- Variante 6** - Elasticité-prix forte des consommations d'énergie des entreprises.
- Consommations d'énergie des ménages inélastiques aux prix.
- Elasticité positive des salaires nets à l'emploi, chômage dans le scénario de référence.
- Rendements décroissants statiques.
- Pas de progrès technique induit.
- Variante 7** - Elasticité-prix forte des consommations d'énergie des entreprises.
- Elasticité-prix faible des consommations d'énergie des ménages.
- Elasticité positive des salaires nets à l'emploi, chômage dans le scénario de référence.
- Rendements décroissants statiques.
- Pas de progrès technique induit.
- Variante 8** - Elasticité-prix forte des consommations d'énergie des entreprises.
- Elasticité-prix forte des consommations d'énergie des ménages.
- Elasticité positive des salaires nets à l'emploi, chômage dans le scénario de référence.
- Rendements décroissant statiques.
- Pas de progrès technique induit.

Les résultats de ces tests cités dans la suite du texte sont rassemblés en annexe 3.

d'où une baisse sensible des taxes qui retombent sur les facteurs de production. En conséquence, les coûts de production chutent (de plus de 7 %) et entraînent une forte baisse des prix donc une hausse de pouvoir d'achat qui s'avère

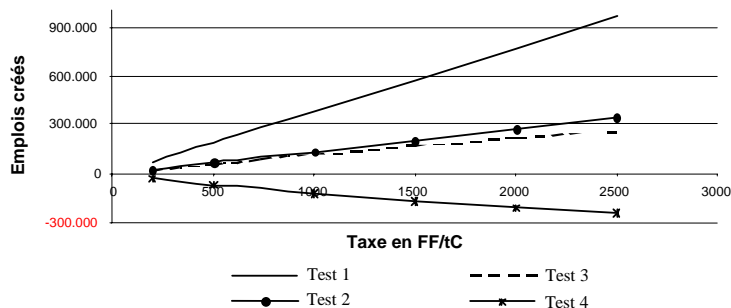
suffisante pour compenser la croissance de la facture énergétique des ménages et permettre une hausse de la consommation finale du bien composite. Les volumes exportés croissant en outre de +26% grâce à la chute des coûts de production, on obtient une trajectoire de croissance plus élevée.

Le deuxième test ne fait que corriger ce résultat en introduisant le jeu de rendements décroissants statiques. Leur prise en compte confère à la croissance une tendance inflationniste et l'équilibre résultant est donc nettement moins optimiste que précédemment : même si une plus grande intensité de la production en travail permet une amélioration de l'emploi, la consommation des ménages baisse par détérioration du pouvoir d'achat.

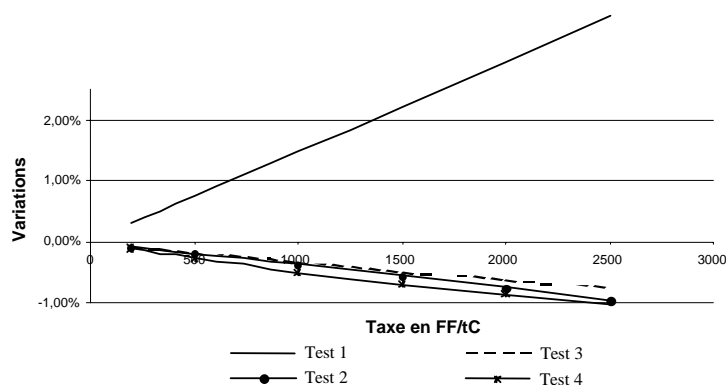
Le test 3 rajoute à la prise en compte de rendements statiques décroissants celle d'une élasticité des salaires nets à l'emploi, avec plus forte pression à la hausse des salaires nets lors du partage du produit des écotaxes au fur et à mesure que l'on s'approche du plein emploi.

Les courbes des graphiques 5 et 6 permettent de visualiser ces trois résultats. Ils illustrent la divergence observée entre performances en termes de créations d'emplois, toujours positives, et en termes d'évolution de la consommation des ménages : cette dernière baisse dès qu'on introduit des mécanismes de hausse endogène des prix du bien composite (rendements décroissants, élasticité des salaires à l'emploi).

Le dernier test de cette première série reprend les résultats précédents, mais à partir d'une situation de référence en plein emploi, simulé par une affectation de la totalité des baisses de charge à une hausse du salaire net. Le surcoût engendré limite l'impact du transfert de charges vers les revenus non salariaux : au total, les coûts de production augmentent, et assez fortement (près de 2% pour le bien composite) pour entamer le pouvoir d'achat des ménages malgré la hausse des salaires. La baisse de consommation consécutive, conjuguée à une baisse des volumes exportés (conséquence directe de la hausse des coûts), provoque un ralentissement de l'activité et des destructions d'emplois.



Graphique 5 Créations d'emplois, tests 1 à 4



Graphique 6 Consommation des ménages, tests 1 à 4

La série des tests 5 à 8 vise à cerner comment les résultats du test 3 se transforment lorsqu'on considère les effets incitatifs des nouveaux prix relatifs (compte tenu d'un niveau donné de « décarbonisation » de l'offre d'énergie¹³), sur les comportements d'offre et de consommation d'énergie.

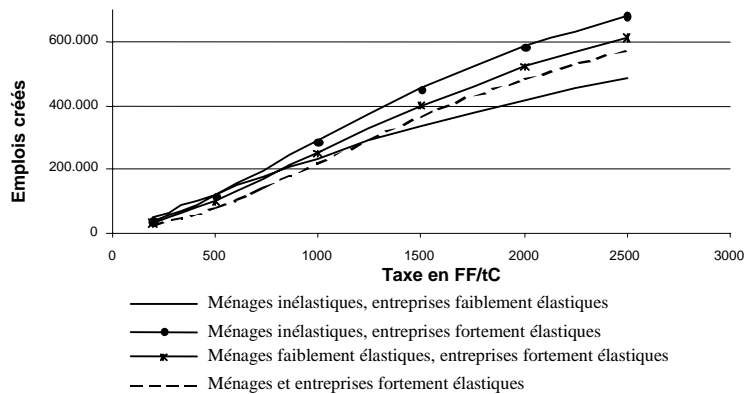
On commence tout d'abord par vérifier que la taxation implicite des revenus non salariaux suffit à contrebalancer le mécanisme par lequel un remplacement de charges sociales par une écotaxe ne produit pas de double dividende fort à cause du « *tax interaction effect* ». Pour cela, on modélise une demande des ménages totalement inélastique aux prix, tandis que les entreprises réagissent à

¹³ Les possibilités de diminution du taux moyen d'émission de gaz carbonique par unité d'énergie consommée sont faibles en France, du moins à moyen terme compte tenu de l'importance du nucléaire dans l'offre électrique ; elles sont ici limitées à 15% pour des niveaux de taxe élevés. Ceci ne constitue pas bien sûr le seul potentiel de « décarbonisation » de l'économie puisqu'on doit tenir compte des possibilités, différenciées selon les secteurs, de baisse des consommations totales.

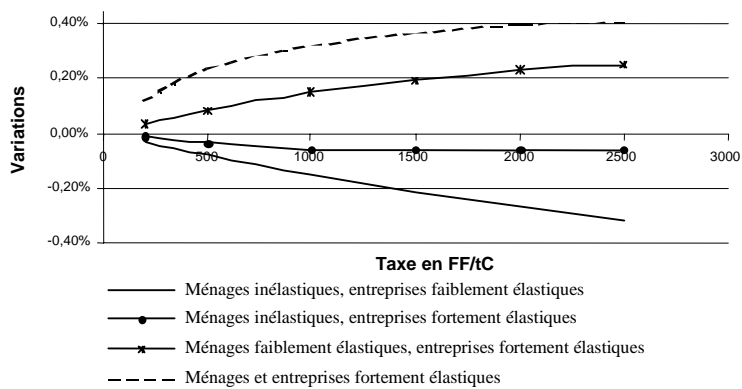
la taxe carbone (tests 5 et 6). Les résultats sont très nettement améliorés lorsqu'on considère une élasticité-prix forte (test 6). Dans ce cas en effet les distorsions dues au « *tax interaction effect* » sont minimisées. En termes d'emploi les résultats restent positifs et on tend vers l'optimisme du test 1 mais selon un mécanisme distinct : la baisse du prix du bien composite est moindre (1,2% au maximum) puisque la ponction sur les revenus non salariaux est contrebalancée par la croissance du salaire net moyen ; la progression de l'emploi vient essentiellement de la hausse de l'intensité en travail du bien composite (jusqu'à +2,6%) et non plus d'une hausse de l'activité. La progression des exportations est en effet moindre en raison de prix de production plus élevés ; mais surtout la consommation des ménages en bien composite est contrainte par une hausse très forte de la facture énergétique que ne compense pas la hausse du pouvoir d'achat des salaires ; comme dans le test 2, le prix du bien composite croît plus que les salaires parce qu'il intègre, en outre, les effets indirects de l'écotaxe. On n'obtient donc pas de double dividende dans un tel contexte ; simplement, lorsque les hypothèses technologique sont optimistes, on limite la baisse de la consommation des ménages (-0,06%) en raison de l'amélioration de la compétitivité extérieure qui permet un maintien de l'activité.

Comme on l'a vu, la hausse de la facture énergétique des ménages est un élément décisif de blocage du mécanisme de relance de la demande finale de long terme. Les tests 7 et 8 vérifient, pour une élasticité-prix forte de la consommation d'énergie des entreprises, l'impact d'élasticités faible puis forte de la consommation des ménages. Contrairement aux résultats qui précèdent, on observe une légère hausse des prix croissant avec le niveau de taxe, qui s'explique par la prise en compte d'une érosion forte de la partie de l'assiette fiscale de l'écotaxe conduisant à un moindre transfert de charges au bénéfice du secteur productif. Mais l'effet négatif de la hausse des prix est contrebalancé par une moindre hausse de la facture énergétique des ménages. Ces économies relatives permettent une relance par la consommation du bien Q, malgré une évolution du solde commercial nettement moins optimiste du fait de la hausse légère des prix, mais toujours légèrement avantageuse grâce à une forte diminution des importations d'énergie (près de 14 %). En d'autres termes, l'effet d'érosion de la base fiscale est plus que compensé par la relance de l'activité due à une hausse de la demande finale de bien composite en termes réels (atténuée par la dégradation du solde commercial).

Les deux graphiques qui suivent (7 et 8) rassemblent ces résultats et démontrent l'impact des hypothèses prises en matière d'élasticités de demande des ménages et des entreprises. Le gain en emploi est plus robuste que celui de la consommation des ménages, ces deux critères étant découplés par le jeu des exportations et surtout de la hausse de l'intensité en travail (+1,35% au minimum). Remarquons enfin que, lorsqu'il existe, le deuxième dividende en termes de consommation finale se sature mais ne diminue pas, contrairement à ce que nous allons obtenir ci-après avec l'introduction de l'effet d'éviction.



Graphique 7 Créations d'emplois, tests 5 à 8



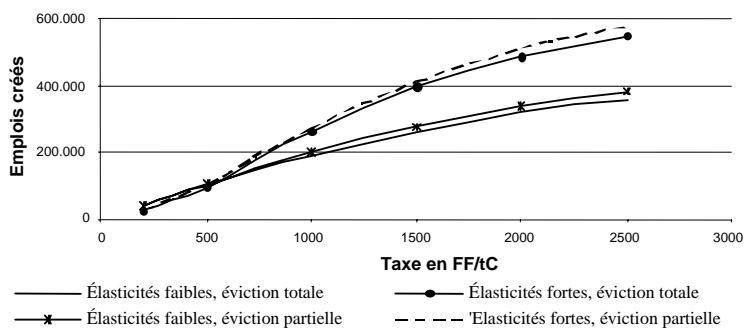
Graphique 8 Consommation des ménages, tests 5 à 8

III.2. Introduction de l'effet d'éviction et évaluation du domaine de validité d'un double dividende « fort »

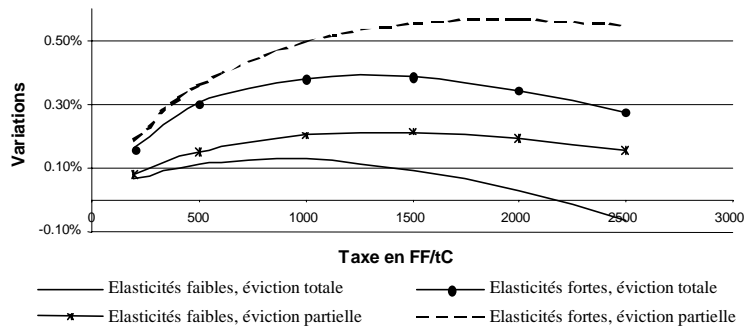
Nous pouvons maintenant synthétiser les résultats précédents à travers des scénarios économiquement plausibles traduisant des anticipations différentes concernant :

- les paramètres de réaction aux prix : on adoptera, contrairement aux tests précédents, des hypothèses optimistes ou pessimistes à la fois pour les entreprises, les ménages ou la décarbonisation de l'offre énergétique ;
- l'effet d'éviction : une hypothèse pessimiste considèrera que tout effort d'investissement en économie de carbone entraîne une baisse de la productivité globale des facteurs proportionnelle à la baisse des investissements en bien composite ; une hypothèse optimiste envisagera une compensation de cet effet à hauteur de 50% seulement, du fait d'externalités croisées de l'innovation.

Les graphes 9 et 10 résument les résultats obtenus, présentés en annexe 3.



Graphique 9 Créations d'emploi, scénarios 1 à 4



Graphique 10 Consommation des ménages, scénarios 1 à 4

En première analyse, on peut faire ressortir les éléments suivants :

- si l'évolution de la consommation des ménages ne peut être que faiblement positive (d'environ un demi-point au mieux), des écotaxes recyclées par une baisse du coût du travail sont à même de transformer en un gain net le coût économique brut des politiques environnementales jusqu'à 2000FF/tC, au moins au niveau d'analyse agrégé retenu ici ;
- les quatre courbes de cette consommation sont « en cloche » contrairement à ce qui apparaissait aux tests précédents. Ceci est clairement dû au jeu de l'effet d'éviction, qui commence à l'emporter sur le mécanisme de relance de la demande à partir de 600FF/tC dans le cas pessimiste, et 1900FF/tC dans le cas le plus optimiste. Il y a donc un « optimum » au-delà duquel le deuxième dividende décroît. On met ainsi en évidence la possibilité d'un choix, au sein même des politiques « sans regret », entre maximum d'efficacité environnementale (écotaxes portées au point où le double dividende s'annule) et maximisation du bien-être du consommateur ;
- sur l'ensemble de l'intervalle testé, en revanche, les créations d'emploi continuent de progresser. Ce décalage entre effet sur la consommation et effet emploi s'explique en partie par une production totale soutenue par la croissance des exportations nettes dans les deux scénarios où il y a baisse des prix de production. Mais il s'explique surtout par le fait que les substitutions entre facteurs de production continuent d'opérer. La saturation des effets de substitution devrait à terme entraîner une décroissance du gain net en emploi, mais cette saturation n'opère pas suffisamment dans les plages de taxe testées ici. On débouche donc sur

un second arbitrage possible, entre emploi, réduction d'émission et consommation.

Ces remarques d'ordre général étant formulées, on peut développer une analyse plus fine des résultats obtenus en s'appuyant sur l'ensemble des tests de sensibilité, en particulier afin de préciser les déterminants de l'effet de relance par la consommation. L'effet de la hausse de l'emploi par unité produite et la hausse correspondante des salaires peuvent être, on l'a vu, contrecarrés par deux facteurs principaux : l'augmentation des dépenses d'énergie des ménages et la hausse des prix du bien composite.

À partir d'un certain niveau de taxe, en effet, l'élasticité prix diminuant, la baisse de la consommation d'énergie des ménages n'est plus assez forte et, en conséquence, le renchérissement de l'énergie débouche sur une baisse du revenu disponible pour l'achat de bien composite. Ceci explique l'importance du progrès technique économisant l'énergie pour les ménages : dans tous nos scénarios l'hypothèse d'une pénétration rapide est systématiquement plus favorable que celle d'une pénétration lente¹⁴. Ce résultat répond aux craintes concernant l'érosion de la base fiscale en cas d'économies d'énergie fortes. Dans l'hypothèse d'une pénétration lente du changement technique, une base fiscale moins évanescence permet des réductions de charges très supérieures et croissantes sur l'intervalle de taxes testé, donc une hausse de l'emploi unitaire et une limitation de la hausse des prix. Mais l'explosion de la facture énergétique des ménages grève considérablement l'effet relance. En limitant la perte de revenu disponible pour l'achat de biens composite tout en conservant un transfert significatif de la fiscalité sur les revenus non salariaux, des économies d'énergie importantes maximisent en revanche la relance par la consommation. À cela s'ajoute un effet technique non négligeable : la neutralité fiscale de la mesure évaluée est calculée sur la masse totale des prélèvements obligatoires, et non simplement sur la part de ces prélèvements afférente aux écotaxes ; dans cette perspective, la progression d'autres bases fiscales, TVA, impôts sur le revenu des ménages, est aussi à prendre en compte, ce qui permet des diminutions de charges sur le travail et donc sur la production, quelles que soient les hypothèses testées, tant qu'on observe une hausse de la production.

¹⁴ On retrouve ainsi les résultats de Lemiale et Zagamé (1998).

On voit donc, en résumé, le rôle crucial que joue l'évolution du prix du bien composite. Cette évolution est la résultante de plusieurs effets contradictoires :

- l'effet inflationniste direct de la taxe sur la consommation intermédiaire d'énergie, qui retombe effectivement en partie sur les coûts de production ; de ce point de vue, une forte élasticité prix de la demande d'énergie des entreprises constitue une hypothèse favorable ;
- l'effet déflationniste indirect du recyclage du produit de cette taxe vers une baisse du coût du travail ; de ce point de vue, une demande inélastique des ménages constitue une hypothèse favorable ;
- l'effet de la variation du salaire net, inflationniste tant que le niveau de l'emploi est supérieur dans l'équilibre dérivé ; il est déflationniste dans le cas contraire et exerce un effet compensateur de l'effet récessif de l'écotaxe ;
- l'effet des rendements d'échelle décroissants, inflationniste (hausse des consommations unitaires marginales de facteurs dans la production) lorsque la production de bien composite augmente, il est déflationniste en cas de baisse de la production et exerce alors un effet compensateur ;
- l'effet du progrès technique induit, déflationniste tant que la production de bien composite augmente ; des tests de sensibilité ont montré que cet effet ne dépend que marginalement de l'hypothèse sur l'écart entre productivité potentielle et productivité réelle ; il est en revanche fortement dépendant de l'ampleur de l'effet d'éviction.

On remarque pour finir la différence marquée, dans la formation du deuxième dividende, entre deux dimensions du changement technique induit par l'écotaxe, la substitution entre facteurs et l'effet d'éviction. Ce dernier en effet a surtout un impact direct sur les coûts de production et sur le pouvoir d'achat réel des ménages, et n'a qu'un impact très indirect sur l'évolution de la consommation unitaire de travail (*via* l'impact du prix du bien composite qui intervient dans la formation du prix de l'énergie). C'est ce qui explique que la variation du coefficient d'éviction n'affecte que marginalement l'emploi alors qu'il modifie très sensiblement la courbe de consommation des ménages (graphiques 9 et 10).

En définitive, on peut considérer comme robustes les conclusions suivantes dans le cas de l'économie française :

- *il existe des possibilités de double dividende au sens fort*, mais celui-ci est toujours quantitativement modéré en raison des rétroactions dues aux effets d'équilibre général. Le mécanisme vertueux déclenché par l'augmentation de l'intensité en travail de la production (combinaison de choix techniques différents, mais aussi d'une évolution structurelle vers les branches plus intensives en travail) est possible parce que le transfert de charge fiscale n'est pas à somme nulle pour le secteur productif ; une écotaxe est en fait une taxe implicite sur les revenus non salariaux (dont les revenus de transfert), ce qui abaisse la pression fiscale subie par les entreprises ;
- un paramètre majeur du deuxième dividende est le point d'équilibre entre deux conséquences de l'érosion de l'assiette fiscale. D'un côté, celle-ci limite le basculement des charges fiscales vers des assiettes ne retombant pas directement sur les coûts de production. De l'autre, elle permet d'une part l'enclenchement d'un mécanisme de relance, puisqu'une moindre hausse de la facture énergétique des ménages libère du revenu pour l'achat de bien composite ; elle favorise d'autre part une baisse des coûts de production, parce qu'une plus grande élasticité offre aux entreprises la possibilité d'échapper à la hausse des taxes carbone et de profiter à plein du transfert de fiscalité ;
- le relèvement des salaires nets ne suffit pas pour inverser les résultats positifs parce que, dans la spécification retenue, ce relèvement n'est significatif que lorsque le taux de chômage atteint le « *NAIRU* », fixé ici à 5%. En revanche, l'importance de l'évolution du salaire net dans l'ampleur du deuxième dividende suggère qu'on ne puisse isoler une réforme fiscale écologique de la négociation sociale sur les salaires et de la politique salariale ;
- les hypothèses concernant l'effet d'éviction subi par le progrès technique non économiseur d'énergie, si elles n'ont qu'un impact limité sur le volume d'emploi créé, sont en revanche primordiales en ce qui concerne la consommation des ménages.

Ceci ne fait que confirmer l'utilité de compléter les écotaxes par des schémas incitatifs à même de renforcer les efforts de recherche et développement sur les technologies alternatives, sans négliger l'innovation et l'adoption de technologies efficaces au niveau des usages finaux, pour éviter que leur

instauration ne provoque un trop grand relèvement des dépenses énergétiques des ménages.

Conclusion : un agenda de recherche pour le futur

L'ordre de grandeur des résultats présentés peut paraître rassurant ou décevant selon ce que l'on attend des écofiscalités. Il est rassurant en ce sens que l'idée d'un double dividende apparaît robuste à plusieurs tests paramétriques pour peu que l'on veille à l'effectivité du recyclage du produit de la taxe instaurée. Il est décevant dans la mesure où l'impact sur la consommation reste marginal et où la hausse de l'emploi, certes significative, n'est pas décisive.

Il nous faut cependant insister sur les limites d'expériences numériques conduites à partir d'un haut niveau d'agrégation de l'économie ; une telle approche permet certes de rendre plus transparent le jeu croisé des paramètres déterminant l'ampleur du second dividende, mais elle masque les effets redistributifs des politiques testées sur les revenus des ménages comme sur les gains des secteurs productifs.

Concernant les ménages, la difficulté vient de ce qu'à la fois les hauts et très bas revenus seraient davantage touchés du fait de la répartition de la consommation d'énergie (en particulier de celle des carburants) (GIEC 1996). Il importe donc d'étudier avec précision compensations et mesures complémentaires à même de limiter ces inégalités. Des travaux préliminaires soulignent dans cette perspective la possibilité d'une affectation prioritaire du produit des écotaxes à la baisse des charges sur les bas salaires (DGII 1992, Picketty 1997).

En matière de divergence des effets sectoriels, on sait (Giraud, Nadaï 1994) la très grande hétérogénéité des intensités en travail et en énergie des différents secteurs de production. Dans une analyse précédente (Hourcade, Gherzi 1998), nous avons fait remarquer que, pour des branches représentant entre 4% et 10% de la valeur ajoutée, l'augmentation des coûts en cas d'application unilatérale de la taxe pouvait conduire à des chocs sectoriels d'une ampleur interdisant l'obtention d'un dividende économique, en particulier du fait d'une forte détérioration de la compétitivité internationale. Deux réponses sont

classiquement envisagées pour pallier cette difficulté : exonération des industries concernées d'une part (mais elle revient à exonérer les activités les plus polluantes), ajustements fiscaux aux frontières d'autre part, avec le risque que l'OMC les assimile à une mesure protectionniste. Une troisième possibilité, permise par le protocole de Kyoto (1997), consisterait à soustraire lesdites industries à un régime national de taxes carbone pour les soumettre directement au système de permis d'émission internationalement échangeables, envisagé par le protocole, ce qui permettrait de ne pas perdre ainsi le premier dividende.

Dans un sens plus favorable au double dividende cette fois, il convient de prolonger l'analyse dans deux directions : une justification empirique robuste de la propagation à d'autres secteurs des savoir faire techniques acquis dans les innovations de « décarbonisation » d'une part, la prise en compte des comportements d'embauche des entrepreneurs d'autre part : Cremer et Ghavari (1995) démontrent que, lorsque les biens achetés par les ménages sont hétérogènes quant à leur rigidité, la prise en compte de l'incertitude sur le revenu futur modifie très sensiblement les conclusions d'Atkinson et Stiglitz (1976) sur la taxation optimale ; ce raisonnement peut être transposé au comportement de l'entrepreneur : en situation d'incertitude et d'encadrement du marché de l'emploi (sur les plans légal, social, technique comme organisationnel), le travail est un facteur de production plus rigide que l'énergie, dont la demande est corrélée au cycle des affaires de chaque industrie, au point qu'en période de faible activité tout prélèvement sur le travail constitue un impôt implicite sur les sureffectifs ; les écotaxes permettraient ainsi de remplacer un impôt contracyclique par un impôt corrélé au cycle des affaires (Hélioui 1997).

ANNEXE 1

DESCRIPTION D'IMACLIM

Hypothèses testées

t_i, t_f taxe unitaire forfaitaire sur les consommations intermédiaire et finale d'énergie fossile.

Paramètres de comportement du secteur énergétique

δ_i, δ_f réduction à niveau d'activité et de revenu constant des consommations intermédiaire et finale d'énergie pour les taxes t_i et t_f .

γ_i, γ_f contenu en énergies fossiles des consommations intermédiaires et finale d'énergie pour les taxes t_i et t_f .

δ_{kE} évolution de l'intensité de E en capital pour les taxes t_i et t_f .

$\varepsilon_{E/R}$ élasticité de la consommation d'énergie des ménages au revenu.

$\tau_{év}$ ampleur de l'éviction de l'investissement énergétique sur les autres investissements

Autres paramètres

$\varepsilon_{\phi Qk}$ élasticité du progrès technique à l'investissement.

ε_{Ip} élasticité des importations au prix.

ε_{Xp} élasticité des exportations au prix.

l_{ϕ} asymptote du progrès technique

Données macro-économiques

c_{Qi}, c_{Ei} marge commerciale sur les ventes intermédiaires de bien composite, d'énergie.

c_{Qf}, c_{Ef} marge commerciale sur les ventes finales de bien composite, d'énergie.

c_{Qexp} marge commerciale sur les exportations de bien composite.

π_X marge unitaire de profit pour le secteur X (Q, E ou C).

α_{QX}	consommation intermédiaire unitaire de bien Q dans le secteur X.
l_E	intensité en travail dans le secteur de l'énergie.
τ_{TvaX}	taux moyen de TVA sur les produits du secteur X.
τ_{IR}, τ_{IS}	taux moyen d'impôt sur le revenu, sur les bénéfices.
t_{Tipp}	taux de TIPP sur les consommations intermédiaires d'énergie fossile.
τ_k	rapport entre investissement et amortissement économique sur une année.

Variables

Q, E, C	production de bien composite, d'énergie et de service commercial.
Q_i, E_i	consommation intermédiaire de bien composite, d'énergie.
Q_f, E_f	consommation des ménages de bien composite, d'énergie.
Q_{imp}, E_{imp}	importations de bien composite, d'énergie
Q_{exp}, E_{exp}	exportations de bien composite, d'énergie
Q_{pub}	consommation de bien composite par les administrations publiques.
Q_k	consommation de bien composite pour la FBCF.
p_X	coût de production du secteur X.
p_{Qi}, p_{Ei}	prix du bien composite, de l'énergie, pour la consommation intermédiaire.
p_{Qf}, p_{Ef}	prix du bien composite, de l'énergie, pour la consommation finale.
p_{Qk}	prix du bien composite destiné à l'investissement.
α_{EX}	intensité en énergie dans le secteur X.
l_Q, l_C	intensité en travail dans le secteur composite, le secteur commercial.
U	nombre de chômeurs.
k_X	intensité en capital dans le secteur X.
w_X	salaire net dans le secteur X
w	salaire net moyen
σ_X	taux de prélèvement sur les salaires nets dans les secteur X.

R	revenu disponible brut des ménages.
R_{cons}	revenu consommé par les ménages
T	montant des prélèvements obligatoires
Φ	progrès technique endogène
Θ	rendements décroissants statiques

Détermination de l'équilibre dérivé

Parmi les quarante-deux variables dénombrées, vingt-deux sont obtenues par des équations simples, utilisant des données exogènes et/ou d'autres variables, ainsi :

Q_i	dépend de	Θ, Φ, Q, E, C
Q_{pub}	dépend de	Q_{fm}
Q_{imp}	dépend de	p_Q, Q
Q_{exp}	dépend de	p_Q
E_{imp}	dépend de	E_i, E_f
E_{exp}	dépendent de	p_E
p_{Qi}, p_{Qf}, p_{Qk}	dépendent de	p_Q, p_C
p_{Ei}, p_{Ef}	dépendent de	p_E, p_C
α_{EE}	dépend de	δ_i
U	dépend de	$l_Q, \Theta, \Phi, Q, E, l_C, C$
k_E	dépend de	δ_{kE}
w_E, w_C	dépendent de	w_Q
w	dépend de	$w_Q, l_Q, \Theta, \Phi, Q, E, l_C, C$
σ_E, σ_C	dépendent de	σ_Q
R, R_{cons}	dépend de	$w_Q, l_Q, \Theta, \Phi, Q, E, l_C, C, p_Q$
T	dépend de	p_Q, Q

Les vingt variables restantes sont calculées par la résolution du jeu d'équations suivant :

Production de bien composite, d'énergie, de commerce :

$$Q = Q_i + Q_{fm} + Q_{pub} + Q_k + Q_{exp} - Q_{imp}$$

$$E = E_i + E_f + E_{exp} - E_{imp}$$

$$C = c_{Qi} Q_i + c_{Qfm} Q_{fm} + c_{Qk} Q_k + c_{Qexp} Q_{exp} + c_{Ei} E_i + c_{Ef} E_f$$

Consommation de bien composite pour la FBCF :

$$Q_k = \frac{1}{p_{Qk}} \frac{R}{R_0} Q_{k0} P_{Qk0}$$

Consommation intermédiaire d'énergie :

$$E_i = \frac{\theta}{\phi} \alpha_{EQ} Q + \alpha_{EE} E + \frac{\theta}{\phi} \alpha_{EC} C$$

Prix de production des biens Q, E, C :

$$p_Q = [\alpha_{QQ} p_{Qi} + \alpha_{EQ} p_{Ei} + l_Q (1 + \sigma_Q) w_Q] \frac{\theta}{\phi} + k_Q p_{Qk} + \pi_Q p_Q$$

$$p_E = \alpha_{QE} p_{Qi} + \alpha_{EE} p_{Ei} + l_E (1 + \sigma_E) w_E + k_E p_{Qk} + \pi_E p_E$$

$$p_C = [\alpha_{QC} p_{Qi} + \alpha_{EC} p_{Ei} + l_C (1 + \sigma_C) w_C] \frac{\theta}{\phi} + k_C p_{Qk} + \pi_C p_C$$

Boucle salaires/chômage :

$$w_Q = w_{Q0} + \frac{L_Q + L_E + L_C - (L_{Q0} + L_{E0} + L_{C0})}{(1-n)L - (L_{Q0} + L_{E0} + L_{C0})} (\sigma_{Q0} w_{Q0} - \sigma_Q w_Q)$$

(où $L_X = l_X X$, et L étant la somme des L_X et de U , soit la population active).

Budget des administrations publiques :

$$\begin{aligned} T = & \sigma_Q w_Q L_Q + \sigma_E w_E L_E + \sigma_C w_C L_C \\ & + \tau_{TvaE} E_f \frac{p_{Ef}}{1 + \tau_{TvaE}} + \tau_{TvaQ} \left(Q_{fm} \frac{p_{Qf}}{1 + \tau_{TvaQ}} + Q_k \frac{p_{Qk}}{1 + \tau_{TvaQ}} \right) \\ & + t_{Tipp} \gamma_i E_i \\ & + t_i \gamma_i E_i + t_f \gamma_f E_f \\ & + \tau_{IR} [\sum w_X L_X + w \tau_u U + r_{mn} (\sum \pi_X p_X X + p_{Qk} \sum k_X X - T_{prod} \frac{p_Q Q}{p_{Q0} Q_0})] \\ & + \tau_{IS} r_{\pi} (\sum \pi_X p_X X + p_{Qk} \sum k_X X - T_{prod} \frac{p_Q Q}{p_{Q0} Q_0}) \\ & + T_{fix} \frac{p_Q Q}{p_{Q0} Q_0} \end{aligned}$$

Consommation des ménages :

$$Q_{fm} = Q_b + \frac{1}{p_{Qf}} \frac{\beta_2}{\beta} (R_{cons} - p_{Ef} E_b - p_{Qf} Q_b)$$

$$E_f = [E_b + \frac{1}{p_{Ef}} \frac{\beta_1}{\beta} (R_{cons} - p_{Ef} E_b - p_{Qf} Q_b)] (1 - d_f)$$

Fonctions de production :

$$\alpha_{EQ} = f_1 \left(\frac{p_{Ei}}{p_{LQ}} \right) \quad \alpha_{EC} = f_2 \left(\frac{p_{Ei}}{p_{LQ}} \right)$$

$$l_Q = \frac{\alpha_{EQ}}{f_3 \left(\frac{p_{Ei}}{p_{LQ}} \right)} \quad l_C = \frac{\alpha_{EC}}{f_4 \left(\frac{p_{Ei}}{p_{LC}} \right)}$$

Investissements unitaires :

$$k_Q = k_{Q0} \frac{\tau_k Q_k - k_E E}{k_{Q0} Q + k_{C0} C} \quad k_C = k_{C0} \frac{\tau_k Q_k - k_E E}{k_{Q0} Q + k_{C0} C}$$

Progrès technique endogène :

$$\Phi = l_\Phi + (1 - l_\Phi) \left(\frac{k_Q Q + (1 - \tau_{ev}) (k_E - k_{E0}) E}{k_{Q0} Q_0} \right)^{\frac{\varepsilon_{\Phi Qk}}{1 - l_\Phi}}$$

Rendements décroissants statiques :

$$\Theta = \exp \left(\frac{Q - Q_0}{Q_0 (1 - p_{Qk0} k_{Q0} - \pi_Q p_{Q0})} \right)$$

Informations complémentaires

Calcul de l'intensité en travail et en énergie

Les fonctions f introduites dans la liste des équations sont obtenues comme suit (on raisonne pour C comme pour Q).

Considérant que les modèles technico-économiques raisonnent toutes choses égales en dehors du secteur E, on peut tirer de couples $\left(\frac{p_{Ei0} + t_i}{p_{LQ0}}, \alpha_{EQ0} (1 - \delta_i) \right)$ la fonction f_I .

On cherche ensuite à déterminer quelles valeurs l_{Q1} de la variable l_Q sont compatibles avec le couple précédent sous des hypothèses de minimisation des coûts de production :

- on considère (cf. graphique 2 *supra*) qu'une fonction $y = F(l_Q, \alpha_{EQ})$ enveloppe la fonction implicite du scénario de référence f et celle résultant de la prise en compte des données technico-économiques brutes f' ; on a au point de référence (l_{Q0}, α_{EQ0}) les propriétés d'équilibre :

$$\frac{\partial F}{\partial l_Q}(l_{Q0}, \alpha_{EQ0}) = w_{Q0} (1 + \sigma_{Q0}) \quad \text{et} \quad \frac{\partial F}{\partial \alpha_{EQ}}(l_{Q0}, \alpha_{EQ0}) = p_{Ei0} ;$$

posons maintenant la différentielle totale de la fonction enveloppe,

$$dy = \frac{\partial F}{\partial l_Q} dl_Q + \frac{\partial F}{\partial \alpha_{EQ}} d\alpha_{EQ} ;$$

pour un taux de taxe faible, on peut appliquer cette approximation linéaire entre l'équilibre initial et le point (l_{Q1}, α_{EQ1}) (voir graphique), soit,

$$w_{Q0} (1 + \sigma_{Q0}) (l_{Q1} - l_{Q0}) + \frac{\partial F}{\partial \alpha_{EQ}} (\alpha_{EQ0} (1 - \delta_i) - \alpha_{EQ0}) = 0$$

et donc

$$l_{Q1} = l_{Q0} + \frac{\frac{\partial F}{\partial \alpha_{EQ}}}{w_{Q0} (1 + \sigma_{Q0})} \delta_i \alpha_{EQ0}.$$

On peut ainsi déterminer l_{QI} , en utilisant pour approximation de la dérivée partielle $p_{Ei0} + t_i$ ¹⁵, ce qui permet d'obtenir un second point de F , (l_{QI}, α_{EQI}) .

- pour obtenir le point suivant (au sens d'un éloignement de l'équilibre de référence), on applique très exactement le raisonnement précédent en prenant le premier point trouvé comme nouveau point de départ, toutefois la nouvelle évolution de la variable α_{EQ} n'est pas obtenue en appliquant le même δ_i au nouveau point de départ, mais en appliquant au point de référence l'élasticité fournie par les sources technico-économiques pour un niveau de taxe de $2 t_i$.

On tire alors de couples $\left(\frac{p_{Ei0} + t_i}{p_{LQ0}}, \frac{\alpha_{EQ0} (1 - \delta_i)}{l_{QI}} \right)$ une approximation de f_3 .

¹⁵ Cette approximation entraîne une surestimation des substitutions entre facteurs. Toutefois, après vérification (utilisation de la valeur p_{Ei0} à chaque pas), son impact sur les résultats du modèle est de second ordre.

Evolution de la productivité globale des facteurs

Il convient d'intégrer au modèle une évaluation des impacts dynamiques liés au passage à un autre sentier de croissance.

Progrès technique endogène Φ et effet d'éviction

Φ croît avec l'investissement cumulé selon une élasticité exogène et tend vers une limite l_ϕ . Il est donné par :

$$\Phi = l_\phi + (1-l_\phi) \left(\frac{k_Q Q + (1-\tau_{év}) (k_E - k_{E0}) E}{k_{Q0} Q_0} \right)^{\frac{\varepsilon_{\Phi Qk}}{1-l_\phi}}$$

$\tau_{év}$ permet de tester des hypothèses d'éviction entre investissements : l'utilisation d'un $\tau_{év}$ inférieur à 1 fait bénéficier la masse d'investissement « classique » d'une partie des investissements spécifiques sur l'énergie (phénomènes de *spill over* entre investissements).

Rendements décroissants statiques Θ

Θ représente l'évolution de la productivité des secteurs Q et C. Pour le calculer, on fait l'hypothèse que la productivité varie de façon identique pour chacun des secteurs, et on utilise les données du secteur Q dans les calculs. On sait que si l'évolution du marché de Q_0 à Q induit une évolution des prix de production de p_{Q0} à p_Q , alors $\Theta = \frac{p_Q}{p_{Q0}}$.

On suppose alors que la fonction de coût marginal dans Q est d'une forme très générale $y'(x) = \alpha e^{\beta x}$, où x est le niveau de production¹⁶. On sait, par définition de y' , que $y'(Q_0) = p_{Q0} = 1$. On en tire immédiatement $\alpha = \frac{1}{e^{\beta Q_0}}$.

On utilise ensuite la relation coût moyen + profit moyen = coût marginal. Le coût moyen est égal au coût total divisé par le nombre d'unités produites, le coût total étant tiré d'une intégration des coûts marginaux sur l'intervalle du nombre d'unités produites, avec pour constante le coût total du capital. En Q_0 on a ainsi :

$$\frac{\frac{\alpha}{\beta} e^{\beta Q_0} + p_{Qk0} k_{Q0} Q_0}{Q_0} + \pi_Q p_{Q0} = 1 ,$$

¹⁶ α et β ne sont à nouveau que des notations paramétriques qui ne sont pas définies par ailleurs.

soit, en remplaçant α par la valeur trouvée plus haut et en simplifiant,

$$\frac{1}{\beta Q_0} + p_{Qk_0} k_{Q_0} + \pi_Q p_{Q_0} = 1 ,$$

d'où l'on tire
$$\beta = \frac{1}{Q_0 (1 - p_{Qk_0} k_{Q_0} - \pi_Q p_{Q_0})} .$$

On définit donc la fonction y' , ce qui permet de conclure

$$\Theta = \frac{y'(Q)}{y'(Q_0)} = e^{\beta(Q-Q_0)} = \exp\left(\frac{Q - Q_0}{Q_0 (1 - p_{Qk_0} k_{Q_0} - \pi_Q p_{Q_0})}\right) .$$

ANNEXE 2 MATRICES DE COMPTABILITE SOCIALE

Matrice de Comptabilité Sociale française 1997, MF

	Facteur capital	Facteur travail	Ménages	Entreprises	Etat	Taxes indirectes	Autres transferts	Capital	Compte financier	Production	RDM	TOTAL
Facteur capital										2 640 067		2 640 067
Facteur travail										3 013 942		3 013 942
Ménages S80	1 378 094	3 013 942			60 200		2 979 433		0			7 431 669
Entreprises	1 101 262				99 604		2 494 002		0		52 861	3 747 729
Etat S60	160 711		983 126	164 033	9 274	786 749	653 931		281 225	1 687 075		4 726 124
Taxes indirectes			503 163					133 256		150 330		786 749
Autres transferts			713 475	2 789 088	2 733 284						571 779	6 807 626
Capital			451 000	707 013	230 075							1 388 088
Compte financier			449 255	87 595	0						0	536 850
Production			2 647 158		1 593 687			1 082 071		8 235 706	2 168 498	15 727 120
RDM			1 684 492				680 260	172 761	255 625			2 793 138
TOTAL	2 640 067	3 013 942	7 431 669	3 747 729	4 726 124	786 749	6 807 626	1 388 088	536 850	15 727 120	2 793 138	49 599 102

Matrice de Comptabilité Sociale : correspondance IMACLIM

	Facteur capital	Facteur travail	Ménages	Entreprises	Etat	Taxes indirectes	Autres Transferts	Capital	Compte financier	Production	RDM
Facteur capital										$\sum \pi_k p_k X + p_{Qk} (\sum k_k X) - T_{prod}$	
Facteur travail										$(1 + \tau_{CS}) (\sum L_X w_X)$	
Ménages	$r_m [\sum \pi_k p_k X + p_{Qk} (\sum k_k X) - T_{prod}]$	$(1 + \tau_{CS}) (\sum w_X L_X)$			60 200 (res. R31 des Ménages)		2 979 433 (res. R40+R50+R60+R70 des Ménages)				
Entreprises	$r_m [\sum \pi_k p_k X + p_{Qk} (\sum k_k X) - T_{prod}]$				99 604 (res. R31 des Entreprises – emp. R31 du RDM)		2 494 002 (res. R40+R50+R60+R70 des Entreprises)				52 861 (emp. R31 du RDM)
Etat	$(1 - r_m - r_m) [\sum \pi_k p_k X + p_{Qk} (\sum k_k X) - T_{prod}]$		$\tau_{CS} (\sum w_X L_X) + \tau_{IR} [\sum w_X L_X + r_m (\sum \pi_k p_k X + p_{Qk} (\sum k_k X) - T_{prod})]$	$\tau_{IS} [r_m (\sum \pi_k p_k X + p_{Qk} (\sum k_k X) - T_{prod})]$	9 274 (res. R31 de l'Etat)	$\tau_{Vae} P_{Ej} (1 + \tau_{Vae}) E_j + \tau_{VaeQ} P_{Qj} (1 + \tau_{VaeQ}) Q_j + \tau_{VaeQ} P_{Qj} (1 + \tau_{VaeQ}) Q_{jm} + t_{Tipp} \gamma_i E_i$	653 931 (res. R40+R50+R60+R70 de l'Etat – [Etat, Ménages] – [Etat, Entreprises] – [Etat, Taxes indirectes] – [Etat, Production])		281 225 (res. N5 de l'Etat)	$\sum (p_{LX} - (1 + \tau_{CS}) w_X) L_X + T_{prod}$	
Taxes indirectes			$\tau_{Vae} P_{Ej} (1 + \tau_{Vae}) E_j + \tau_{VaeQ} P_{Qj} (1 + \tau_{VaeQ}) Q_j$					$\tau_{VaeQ} P_{Qj} (1 + \tau_{VaeQ}) Q_j$		$t_{Tipp} \gamma_i E_i$	
Autres Transferts			713 475 (emp. R40+R50+R60+R70+P42+P70 des Ménages – [Etat, Ménages] – (res. R10 des Ménages – [Ménages, Facteur travail]) – total Variations de stock P42)	2 789 088 (emp. R40+R50+R60+R70+P42+P70 des Entreprises – [Etat, Entreprises] + emp. P30 de S70)	2 733 284 (emp. R40+R50+R60+R70+P42+P70 de l'Etat – emp. P30 de S70)						571 779 (emp. R40+R50+R60+R70+P42+P70 du RDM)
Capital			451 000 (emp. P41 des Ménages)	707 013 (emp. P41 des Entreprises)	230 075 (emp. P41 de l'Etat)						
Compte Financier			449 255 (emp. N5 des Ménages)	87 595 (emp. N5 des Entreprises)							
Production			$P_{Qj} (1 + \tau_{VaeQ}) Q_{jm} + (P_{Ej} (1 + \tau_{Vae}) - \gamma_j t_{Tipp}) E_j - \alpha_j p_{Qimp} Q_{imp} - p_{Eimp} E_{imp}$		$p_Q Q_{pub}$			$p_{Qk} (1 + \tau_{VaeQ}) Q_k - (1 - \alpha_i) Q_{imp} p_{Qimp}$		$p_{Qi} Q_i + p_{Ei} E_i$	$p_{Qexp} Q_{exp} + p_{Exp} E_{exp}$
RDM			$\alpha_i p_{Qimp} Q_{imp} + p_{Eimp} E_{imp}$				680 260 (res. R40+R50+R60+R70 du RDM – total de R29)	$(1 - \alpha_i) p_{Qimp} Q_{imp}$	255 625 (res. N5 du RDM)		

ANNEXE 3 RÉSULTATS DES TESTS ET SCÉNARIOS

T1 Résultats du test 1						
Taxe, FF/tC	200	500	1000	1500	2000	2500
Consommation intermédiaire d'énergie	0,27%	0,68%	1,37%	2,06%	2,75%	3,45%
Consommation finale d'énergie	-0,05%	-0,12%	-0,23%	-0,34%	-0,44%	-0,53%
Emissions de carbone	0,13%	0,32%	0,64%	0,97%	1,30%	1,64%
Consommation finale des ménages	0,30%	0,74%	1,48%	2,22%	2,97%	3,71%
Travail unitaire dans la production	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
Créations d'emploi	76 802	192 192	385 011	578 467	772 568	967 327
Revenu disponible brut des ménages	-0,04%	-0,12%	-0,23%	-0,34%	-0,44%	-0,53%
Solde commercial (volume)	2,04%	5,13%	10,31%	15,55%	20,84%	26,20%
Taux de prélèvement sur le travail	-2,15%	-5,36%	-10,65%	-15,87%	-21,02%	-26,11%
Charges unitaires sur la production	-1,56%	-3,88%	-7,69%	-11,43%	-15,11%	-18,73%
Salaire moyen	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
Prix de production du bien Q	-0,62%	-1,53%	-3,04%	-4,51%	-5,96%	-7,38%
Facture d'énergie des ménages	3,12%	7,80%	15,61%	23,44%	31,28%	39,15%
Production de bien Q	0,35%	0,88%	1,77%	2,65%	3,54%	4,44%

T2 Résultats du test 3						
Taxe, FF/tC	200	500	1000	1500	2000	2500
Consommation intermédiaire d'énergie	-0,06%	-0,14%	-0,24%	-0,31%	-0,36%	-0,38%
Consommation finale d'énergie	0,45%	1,11%	2,19%	3,25%	4,29%	5,33%
Emissions de carbone	0,17%	0,43%	0,86%	1,30%	1,75%	2,21%
Consommation finale des ménages	-0,12%	-0,28%	-0,51%	-0,71%	-0,88%	-1,02%
Travail unitaire dans la production	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
Créations d'emploi	-27 731	-65 583	-120 091	-165 760	-204 319	-237 104
Revenu disponible brut des ménages	0,45%	1,11%	2,19%	3,25%	4,29%	5,33%
Solde commercial (volume)	-0,96%	-2,29%	-4,29%	-6,04%	-7,61%	-9,02%
Taux de prélèvement sur le travail	-2,28%	-5,66%	-11,18%	-16,55%	-21,79%	-26,91%
Charges unitaires sur la production	-0,83%	-2,12%	-4,37%	-6,75%	-9,22%	-11,79%
Salaire moyen	0,93%	2,30%	4,57%	6,80%	9,01%	11,21%
Prix de production du bien Q	0,22%	0,53%	0,98%	1,36%	1,69%	1,98%
Facture d'énergie des ménages	4,39%	11,01%	22,12%	33,35%	44,72%	56,23%
Production de bien Q	-0,13%	-0,31%	-0,57%	-0,79%	-0,98%	-1,14%

T3 Résultats du test 4						
Taxe, FF/tC	200	500	1000	1500	2000	2500
Consommation intermédiaire d'énergie	0,09%	0,21%	0,41%	0,60%	0,78%	0,95%
Consommation finale d'énergie	-0,01%	0,00%	0,08%	0,24%	0,46%	0,74%
Emissions de carbone	0,04%	0,11%	0,26%	0,44%	0,64%	0,86%
Consommation finale des ménages	-0,07%	-0,18%	-0,34%	-0,49%	-0,62%	-0,75%
Travail unitaire dans la production	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
Créations d'emploi	26 586	64 272	121 914	174 008	221 410	264 801
Revenu disponible brut des ménages	-0,01%	0,00%	0,08%	0,24%	0,46%	0,74%
Solde commercial (volume)	1,24%	3,00%	5,65%	8,03%	10,17%	12,11%
Taux de prélèvement sur le travail	-1,73%	-4,37%	-8,85%	-13,40%	-17,99%	-22,61%
Charges unitaires sur la production	-1,15%	-2,86%	-5,67%	-8,46%	-11,23%	-13,99%
Salaire moyen	0,02%	0,10%	0,37%	0,80%	1,35%	2,01%
Prix de production du bien Q	-0,23%	-0,55%	-1,04%	-1,49%	-1,89%	-2,26%
Facture d'énergie des ménages	3,46%	8,69%	17,55%	26,58%	35,77%	45,11%
Production de bien Q	0,06%	0,14%	0,26%	0,37%	0,48%	0,57%

T4 Résultats du test 6						
Taxe, FF/tC	200	500	1000	1500	2000	2500
Consommation intermédiaire d'énergie	-2,13%	-5,12%	-8,93%	-11,48%	-13,24%	-14,50%
Consommation finale d'énergie	0,03%	0,14%	0,52%	1,11%	1,79%	2,49%
Emissions de carbone	-3,28%	-7,42%	-12,37%	-15,53%	-17,57%	-18,90%
Consommation finale des ménages	-0,01%	-0,04%	-0,06%	-0,06%	-0,06%	-0,06%
Travail unitaire dans la production	0,02%	0,19%	0,81%	1,52%	2,13%	2,58%
Créations d'emploi	37 833	116 065	286 122	449 425	580 927	680 876
Revenu disponible brut des ménages	0,03%	0,14%	0,52%	1,11%	1,79%	2,49%
Solde commercial (volume)	0,76%	2,16%	3,95%	4,89%	5,35%	5,62%
Taux de prélèvement sur le travail	-0,87%	-2,54%	-6,08%	-10,11%	-14,26%	-18,38%
Charges unitaires sur la production	-0,63%	-1,81%	-3,95%	-6,15%	-8,41%	-10,73%
Salaire moyen	0,01%	0,10%	0,57%	1,43%	2,53%	3,76%
Prix de production du bien Q	-0,07%	-0,22%	-0,40%	-0,46%	-0,49%	-0,51%
Facture d'énergie des ménages	1,50%	5,05%	12,41%	20,69%	29,46%	38,54%
Production de bien Q	0,08%	0,18%	0,26%	0,28%	0,29%	0,29%

T5 Résultats du test 8						
Taxe, FF/tC	200	500	1000	1500	2000	2500
Consommation intermédiaire d'énergie	-2,46%	-5,77%	-9,91%	-12,69%	-14,64%	-16,06%
Consommation finale d'énergie	-3,33%	-7,07%	-9,94%	-10,97%	-11,35%	-11,50%
Emissions de carbone	-7,29%	-16,20%	-26,48%	-33,33%	-38,16%	-41,68%
Consommation finale des ménages	0,12%	0,24%	0,33%	0,37%	0,40%	0,41%
Travail unitaire dans la production	0,01%	0,15%	0,70%	1,39%	2,00%	2,47%
Créations d'emploi	25 456	81 193	219 916	364 121	483 240	573 356
Revenu disponible brut des ménages	0,05%	0,15%	0,43%	0,82%	1,24%	1,64%
Solde commercial (volume)	0,39%	1,08%	1,74%	1,71%	1,28%	0,71%
Taux de prélèvement sur le travail	-0,33%	-1,03%	-2,87%	-5,07%	-7,29%	-9,42%
Charges unitaires sur la production	-0,12%	-0,48%	-1,29%	-2,12%	-2,92%	-3,69%
Salaire moyen	0,00%	0,03%	0,21%	0,59%	1,09%	1,64%
Prix de production du bien Q	0,11%	0,21%	0,33%	0,47%	0,62%	0,77%
Facture d'énergie des ménages	-1,89%	-2,99%	-1,63%	1,18%	4,36%	7,59%
Production de bien Q	0,07%	0,16%	0,22%	0,22%	0,20%	0,18%

T6 Résultats du scénario 1 : élasticités faibles, éviction forte

Taxe, FF/tC	200	500	1000	1500	2000	2500
Consommation intermédiaire d'énergie	-2,15%	-4,71%	-7,80%	-10,01%	-11,66%	-12,98%
Consommation finale d'énergie	-2,91%	-6,03%	-9,22%	-11,04%	-12,13%	-12,84%
Emissions de carbone	-4,79%	-10,64%	-18,06%	-23,65%	-28,06%	-31,68%
Consommation finale des ménages	0,06%	0,11%	0,13%	0,09%	0,03%	-0,06%
Travail unitaire dans la production	0,11%	0,29%	0,62%	0,92%	1,16%	1,35%
Créations d'emploi	40 798	101 021	191 092	264 266	321 335	357 471
Revenu disponible brut des ménages	0,05%	0,15%	0,35%	0,58%	0,81%	0,99%
Solde commercial (volume)	0,91%	2,07%	3,52%	4,58%	5,40%	6,43%
Taux de prélèvement sur le travail	-0,91%	-2,36%	-4,85%	-7,30%	-9,63%	-11,71%
Charges unitaires sur la production	-0,50%	-1,28%	-2,57%	-3,82%	-5,00%	-6,03%
Salaire moyen	0,01%	0,08%	0,31%	0,64%	1,01%	1,36%
Prix de production du bien Q	0,00%	-0,02%	-0,07%	-0,13%	-0,18%	-0,26%
Facture d'énergie des ménages	0,08%	1,13%	4,28%	8,28%	12,62%	17,06%
Production de bien Q	0,06%	0,14%	0,21%	0,25%	0,27%	0,26%

T7 Résultats du scénario 2 : élasticités fortes, éviction forte

Taxe, FF/tC	200	500	1000	1500	2000	2500
Consommation intermédiaire d'énergie	-3,32%	-7,52%	-12,12%	-14,93%	-16,78%	-18,10%
Consommation finale d'énergie	-4,91%	-9,80%	-13,25%	-14,47%	-14,94%	-15,16%
Emissions de carbone	-8,42%	-18,15%	-28,68%	-35,43%	-40,12%	-43,51%
Consommation finale des ménages	0,16%	0,30%	0,38%	0,39%	0,35%	0,28%
Travail unitaire dans la production	0,05%	0,34%	1,18%	1,95%	2,52%	2,90%
Créations d'emploi	25 344	97 754	260 325	396 809	490 960	550 961
Revenu disponible brut des ménages	0,06%	0,19%	0,51%	0,89%	1,25%	1,55%
Solde commercial (volume)	0,67%	1,81%	3,12%	3,77%	4,12%	4,40%
Taux de prélèvement sur le travail	-0,15%	-0,84%	-2,92%	-5,27%	-7,52%	-9,60%
Charges unitaires sur la production	0,03%	-0,21%	-1,01%	-1,89%	-2,77%	-3,64%
Salaire moyen	0,00%	0,03%	0,25%	0,66%	1,14%	1,62%
Prix de production du bien Q	0,16%	0,29%	0,40%	0,49%	0,56%	0,60%
Facture d'énergie des ménages	-2,82%	-4,22%	-2,30%	1,39%	5,54%	9,77%
Production de bien Q	0,06%	0,11%	0,09%	0,03%	-0,03%	-0,08%

T8 Résultats du scénario 3 : élasticités faibles, éviction faible

Taxe, FF/tC	200	500	1000	1500	2000	2500
Consommation intermédiaire d'énergie	-2,14%	-4,69%	-7,77%	-9,95%	-11,59%	-12,87%
Consommation finale d'énergie	-2,90%	-6,01%	-9,17%	-10,96%	-12,03%	-12,70%
Emissions de carbone	-4,78%	-10,62%	-18,02%	-23,60%	-28,00%	-31,58%
Consommation finale des ménages	0,08%	0,15%	0,20%	0,21%	0,19%	0,15%
Travail unitaire dans la production	0,11%	0,29%	0,62%	0,92%	1,16%	1,35%
Créations d'emploi	42 726	105 616	199 765	276 806	337 673	384 972
Revenu disponible brut des ménages	0,05%	0,15%	0,35%	0,59%	0,83%	1,06%
Solde commercial (volume)	0,95%	2,15%	3,67%	4,79%	5,65%	6,38%
Taux de prélèvement sur le travail	-0,93%	-2,41%	-4,96%	-7,48%	-9,89%	-12,17%
Charges unitaires sur la production	-0,52%	-1,33%	-2,66%	-3,95%	-5,18%	-6,36%
Salaire moyen	0,01%	0,09%	0,33%	0,68%	1,09%	1,51%
Prix de production du bien Q	-0,02%	-0,06%	-0,15%	-0,24%	-0,33%	-0,42%
Facture d'énergie des ménages	0,08%	1,13%	4,29%	8,30%	12,66%	17,14%
Production de bien Q	0,08%	0,16%	0,27%	0,33%	0,38%	0,42%

T9 Résultats du scénario 4 : élasticités fortes, éviction faible

Taxe, FF/tC	200	500	1000	1500	2000	2500
Consommation intermédiaire d'énergie	-3,31%	-7,49%	-12,07%	-14,85%	-16,69%	-17,99%
Consommation finale d'énergie	-4,91%	-9,78%	-13,20%	-14,38%	-14,82%	-15,00%
Emissions de carbone	-8,42%	-18,13%	-28,63%	-35,37%	-40,04%	-43,42%
Consommation finale des ménages	0,19%	0,36%	0,50%	0,56%	0,57%	0,55%
Travail unitaire dans la production	0,05%	0,34%	1,17%	1,95%	2,52%	2,90%
Créations d'emploi	28 418	105 278	273 412	414 491	513 045	577 407
Revenu disponible brut des ménages	0,06%	0,18%	0,51%	0,90%	1,28%	1,60%
Solde commercial (volume)	0,73%	1,96%	3,36%	4,07%	4,48%	4,80%
Taux de prélèvement sur le travail	-0,18%	-0,92%	-3,08%	-5,52%	-7,86%	-10,02%
Charges unitaires sur la production	0,00%	-0,29%	-1,14%	-2,08%	-3,01%	-3,94%
Salaire moyen	0,00%	0,03%	0,28%	0,72%	1,24%	1,76%
Prix de production du bien Q	0,14%	0,23%	0,29%	0,33%	0,35%	0,35%
Facture d'énergie des ménages	-2,83%	-4,24%	-2,31%	1,40%	5,57%	9,83%
Production de bien Q	0,08%	0,15%	0,18%	0,16%	0,13%	0,11%

Bibliographie

Aghion P. et P. Howitt (1998). *Endogenous Growth Theory*. MIT Press, Cambridge MA, États-Unis. 694 p.

Atkinson A.D. et J.E. Stiglitz (1976). « The Design of Tax Structure : Direct versus Indirect Taxation ». *Journal of Public Economics* **6** : 55-75.

Barker T., S. Baylis et P. Madsen (1993). « A UK Carbon/Energy Tax. The Macroeconomic Effects ». *Energy Policy* **21** (3) : 296-308.

Berndt E.R. et D.O. Wood (1975). « Technology, Prices and the Derived Demand for Energy ». *Review of Economics and Statistics* **57** (3) : 259-268.

Berndt E.R. et D.O. Wood (1979). « Engineering and Econometric Interpretations of Energy-Capital Complementarity ». *American Economic Review* **69** (3) : 342-354.

Berndt E.R. et D.O. Wood (1986). « Energy Price Shocks and Productivity in U.S. and U.K. Manufacturing ». *Oxford Review of Economic Policy* **2** (2) : 1-31.

Berndt E.R. (1986). « Energy Use, Technical Change and Productivity Growth : Economic Considerations ». IIASA. Octobre. 43 p.

Berndt E.R. et D.O. Wood (1986). « Energy Price Shocks and Productivity Growth: A Survey ». In *Energy. Markets and Regulation. Essays in Honor of M.A. Adelman*. MIT Press, Cambridge MA, États-Unis.

Berndt E.R. et D.O. Wood (1985). « Energy Price Changes and the Induced Revaluation of Durable Capital in U.S. Manufacturing During the OPEC Decade ». MIT Energy Laboratory. Report 84-003.

Blanchard O. et J.-P. Fitoussi (1998). *Croissance et chômage*. Rapport n°4 du Conseil d'Analyse Économique. La Documentation française, Paris. 100 p.

Bohi D.R. (1989). *Energy Price Shocks and Macroeconomic Performance*. Resources For the Future, Washington DC, États-Unis.

Bovenberg A.L. et R.A. de Mooij (1994a). « Environmental Levies and Distortionary Taxation ». *American Economic Review* **84** (4) : 1085-1089.

Bovenberg A.L. et F. van der Ploeg (1994b). « Environmental Policy, Public Finance and the Labour Market in a Second-Best World ». *Journal of Public Economics* **55** (3) : 349-390.

Bowles S. et R. Boyer (1995). « Wages, Aggregate Demand, and Employment in an Open Economy: A Theoretical and Empirical Investigation ». In *Macroeconomic Policy after the Conservative Era* : 147-162. Cambridge University Press, Cambridge, Royaume-Uni.

Bureau D. et J.-C. Hourcade (1998). « Les Dividendes Économiques d'une Réforme Fiscale Écologique ». In *Fiscalité de l'Environnement* : 41-82. Rapport n°8 du Conseil d'Analyse Économique. La Documentation française, Paris.

Carraro C. et A. Soubeyran (1996). « Environmental Taxation and Employment in a Multi-Sector General Equilibrium Model ». In C. Carraro et D. Siniscalco (éds.) *Environmental Fiscal Reform and Unemployment* : 73-93. Kluwer Academic Publishers, La Haye, Pays Bas.

Considine T. (1989). « Estimating the Demand for Energy and Natural Resource Inputs: Trad-Offs in Global Property ». *Applied Economics* **21** : 931-945.

Cremer H. et F. Gahvari (1995). « Uncertainty, Optimal Taxation and the Direct versus Indirect Tax Controversy ». *Economic Journal* **105** (432) : 1165-1179.

Cremer H. et F. Gahvari (2001). « Second-Best Taxation of Emissions and Polluting Goods ». *Journal of Public Economics* **80** (2) : 169-197.

DGII (1992). *The Economics of Limiting CO₂ Emissions*. Édition spéciale de *European Economy*. Commission des Communautés Européenne, Bureau des Publications Officielles, Luxembourg.

Gately D. (1992). « Imperfect Price-Reversibility of Oil Demand: Asymmetric Responses of US Gasoline Consumption to Price Increases and Declines ». *The Energy Journal* **13** (4) : 179-207.

GIEC (1996). *Le changement climatique. Dimensions économiques et sociales*. Contribution au Deuxième Rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat. La Documentation Française, Paris. 544 p.

Giraud P.-N. et A. Nadaï (1994). « L'Impact Économique de l'Écotaxe. Les Effets de la Taxe Carbone-Énergie sur l'Industrie Française ». *Futuribles* **189** : 135-153.

Godard O. et O. Beaumais (1994). « Économie, Croissance et Environnement. De Nouvelles Stratégies pour de Nouvelles Relations ». *Revue Économique* **44** : 143-176. Hors Série *Perspectives et Réflexions Stratégiques à Moyen Terme*.

Goulder L.H. (1995). « Environmental Taxation and the Double-Dividend: A Reader's Guide ». *International Tax and Public Finance* **2** (2) : 157-183.

Hasset K. et G.E. Metcalf (1993). « Energy Conservation Investment. Do Consumers Discount the Future Correctly? ». *Energy Policy* **21** (6) : 710-716.

Hélioui K. (1997). *Double Dividende d'une Écotaxe en Présence de Fluctuations Conjoncturelles et de Rigidités de l'Emploi*. CIRED. Document de travail. 24p.

Hogan W.W. et D.W. Jorgenson (1991). « Productivity Trends and the Costs of Reducing Carbon Dioxide Emissions ». *The Energy Journal* **12** (1) : 67-85.

Hourcade J.-C. (coordinateur), Ben Chaabane N., Hélioui K., Journé V. et P. Mabire (1993). *Greenhouse gas abatement costing study : France 1988-2030*. Rapport pour l'UNEP. 59 p.

Hourcade J.-C. (1990). *Les Coefficients d'Élasticité et leur Domaine de Pertinence pour la Prévion Énergétique : de l'Élasticité 'Loi' à l'Élasticité 'Mesure' des Degrés de Liberté*. Étude pour le Commissariat Général du Plan. 36 p.

Hourcade J.-C. et F. Gherzi (1998). « De Kyoto à Buenos Aires : l'Émergence d'un Nouveau Contexte pour la Compétition Industrielle ». *Revue d'Économie Industrielle* **83** (1) : 27-45.

Jaffe A.B. et R.N. Stavins (1994). « The Energy-Efficiency Gap: What Does It Mean? ». *Energy Policy* **22** (10) : 804-810.

Jorgenson D.W. et B. Fraumèini (1981). « Relative Prices and Technical Change ». In E.R. Berndt et B.C. Field (éds.) *Modeling and Measuring Natural Resource Substitution*. MIT Press, Cambridge MA, États-Unis.

Jorgenson D.W. (1984). « Economic Effects of the Rise in Energy Prices: What Have We Learned in Ten Years? The Role of Energy in Productivity Growth ». *American Economic Review* **74** (2) : 26-30.

Lemiale L. et P. Zagamé (1998). « Taxation de l'Énergie, Efficience Energétique et Nouvelles Technologies : les Effets Macro-Économiques pour Six Pays de l'Union Européenne ». In K. Schubert et P. Zagamé (ed.) *Environnement*, Utrecht.

Norsworthy J.R. (1983). « Energy Prices, Technical Change, and Productivity Growth ». In Schurr *et al.* (éds) *Energy, Productivity, and Economic Growth* : 155-177.

Pearce D.W. (1991). « The Role of Carbon Taxes in Adjusting to Global Warming ». *The Economic Journal* **101** (407) : 938-948.

Peters I. (1996). « The role of technical progress in economic models of environmental policy ». In O. Hohmeyer, R.L. Ottinger, K. Rennings (éds.) *Social Costs and Sustainability. Valuation and Implementation in the Energy and Transport Sectors*. Springer Verlag, Berlin.

Piketty T. (1997). *L'Économie des Inégalités*. Collection Repères. 122 p. La Découverte, Paris.

Schneider S.H. et L.H. Goulder (1997). « Achieving Low-Cost Emissions Targets ». *Nature* **389** : 13-14.

SDRI (1995). *QUEST - A Quasi-Understandable Ecosystem Scenario Tool*. Octobre.

Shackleton et al. (1992). *The Efficiency Value of Carbon Tax Revenues*. United States Environmental Protection Agency. Washington DC, États-Unis.

Sweeney J. et D. Frenchel (1986). *Price Asymmetries in the Demand for Energy*. Stanford University. Center for Economic Policy Research publication 75.