

# WORKING PAPER

# 5-99

## SPOT

## un modèle d'équilibre général appliqué de l'économie belge



**Bureau  
fédéral du Plan**

Analyses et prévisions économiques

Avenue des Arts 47-49

B-1000 Bruxelles

Tél.: (02)507.73.11

Fax: (02)507.73.73

E-mail: [contact@plan.be](mailto:contact@plan.be)

URL: <http://www.plan.be>

Thierry Bréchet  
Juillet 1999





## Le Bureau fédéral du Plan

Le Bureau fédéral du Plan (BFP) est un organisme d'intérêt public.

Le BFP réalise des études sur les questions de politique économique, socio-économique et environnementale.

A cette fin, le BFP rassemble et analyse des données, explore les évolutions plausibles, identifie des alternatives, évalue les conséquences des politiques et formule des propositions.

Son expertise scientifique est mise à la disposition du gouvernement, du parlement, des interlocuteurs sociaux, ainsi que des institutions nationales et internationales.

Le BFP assure à ses travaux une large diffusion. Les résultats de ses recherches sont portés à la connaissance de la collectivité et contribuent au débat démocratique.

## Internet

URL: <http://www.plan.be>

E-mail: [contact@plan.be](mailto:contact@plan.be)

## Publications

Publications récurrentes:

*Les perspectives économiques*

*Le budget économique*

*Le "Short Term Update"*

Planning Papers (les derniers numéros)

82 *De pensioenhervorming - Een nieuwe generatie en een nieuw contract*  
M - J. Festjens - Novembre 1997

83 *Perspectives financières de la Sécurité sociale à l'horizon 2050*  
N. Fasquelle, S. Weemaes - Novembre 1997

84 *Les priorités d'Essen en matière d'emploi*  
F. Bossier, I. Lebrun, S. Mertens, C. Streel, P. Van Brusselen - Janvier 1998

85 *Développement durable: un projet à l'échelle mondiale*  
Nadine Gouzée, Natacha Zuinen, Stéphane Willems - Juin 1999

Working Papers (les derniers numéros)

3/99 *Evolution de l'ISoc et des précomptes mobiliers des ménages: aperçu statistique succinct*  
Avril 1999

4/99 *Impact économique de la crise de la dioxine*  
L. Avonds, F. Bossier, J. Floridor, A. Gilot, C. Hambye, D. Rase - Juillet 1999

Reproduction autorisée, sauf à des fins commerciales, moyennant mention de la source.

Editeur responsable: Henri Bogaert  
Dépôt légal: D/1999/7433/24

---





# Sommaire

I	Introduction	1
II	Les spécifications du modèle SPOT	3
	A. Choix de la désagrégation sectorielle	3
	1. Les critères de désagrégation	3
	2. Les secteurs	4
	3. Le traitement de l'énergie	4
	B. Les structures productives	4
	1. Choix des facteurs de production et agencement	5
	2. Modélisation de la segmentation du marché du travail	9
	3. Fonctions de production dans les services marchands	11
	4. Fonctions de production dans les secteurs industriels	13
	5. La chaîne des prix de production	14
	6. Les consommations énergétiques par produit	14
	7. L'investissement en capital physique	15
	C. Le comportement des ménages	17
	1. L'arbitrage consommation - loisir	17
	2. Modules d'allocation de la consommation privée	18
	3. Les consommations énergétiques par produit	21
	D. Les secteurs producteurs d'énergie	21
	1. L'inter-énergétique	21
	2. La production énergétique	24
	E. Le commerce extérieur	27
	1. Les fonctions d'exportation	27
	2. Les fonctions d'importation	27
	F. État, fiscalité et finances publiques	31
	1. Les dépenses	31
	2. Les recettes	32
	G. Les échanges intersectoriels	33
	H. Les émissions de gaz à effet de serre	34
	1. Le dioxyde de carbone	34
	2. Le méthane	35
	3. Le protoxyde d'azote	36
	4. L'agrégation des émissions en équivalent-CO <sub>2</sub>	36

I.	Les permis d'émission négociables	37
	1. Modification des frontières de prix	37
	2. L'algorithme de résolution	39
J.	Calcul des variations d'utilité	40
K.	Règle de bouclage et conditions d'équilibre	41
<b>III</b>	<b>Étalonnage et calibrage du modèle</b>	<b>43</b>
A.	Qu'est-ce que le calibrage?	43
B.	Avantages et limites du calibrage	44
C.	L'appareillage statistique	45
	1. Constitution de la banque de données	45
	2. La nomenclature sectorielle du modèle	46
D.	Choix des élasticités et résultats économétriques	47
	1. Le système productif	47
	2. Le comportement des ménages	50
	3. Le commerce extérieur	52
E.	Méthodologie de calibrage du modèle	55
	1. Le système productif	55
	2. Les ménages	55
	3. Les autres blocs du modèle	57
<b>IV</b>	<b>Simulations techniques</b>	<b>59</b>
A.	Variantes d'environnement international	59
	1. Spécification des variantes	59
	2. Résultats macroéconomiques	60
	3. Résultats sectoriels	63
	4. Finances publiques	65
B.	Variantes de réduction des cotisations patronales	66
	1. Spécification des variantes	66
	2. Réduction des CSE généralisée	67
	3. Réduction des CSE ciblée sur les "bas salaires"	68
	4. Finances publiques	71
C.	Variantes modifiant les règles d'imposition directe	72
	1. Spécification des variantes	72
	2. Accroissement de la progressivité	73
	3. Réduction de la progressivité	75
	4. Hausse de l'impôt et baisse de la TVA	75

---

D.	Variantes de taxation des énergies fossiles	77
	1. Spécification des variantes	77
	2. Résultats macroéconomiques	77
	3. Résultats sectoriels	79
	4. Émissions de gaz à effet de serre	81
	5. Finances publiques	82
V	Références bibliographiques	83
VI	Annexe: Agrégation de la NACE-CLIO R25 à la nomenclature SPOT	89

---



*Mener à bien la construction d'un modèle tel que SPOT n'est pas une mince affaire. Ce projet n'aurait jamais pu aboutir sans la collaboration de nombreuses personnes. Je tiens particulièrement à remercier Michel Englert pour son soutien à ce projet, mais également pour ses opinions à la fois critiques et constructives sur l'équilibre général. Je me dois également de mettre en exergue la collaboration généreuse de l'équipe input-output qui a su répondre avec abnégation et (dans la limite de ses moyens) efficacité à mes requêtes répétées de données statistiques. De même, avec la compétence qui la caractérise, l'équipe informatique a rendu la résolution du modèle possible en adaptant le logiciel IODE. Enfin, ce modèle n'aurait pu être conçu sans l'assistance amicale des Professeurs Paul Zagamé, Olivier Beaumais et Lionel Ragot, membres de l'équipe de recherche en modélisation ÉRASME (Université Paris I & École Centrale de Paris). Last but certainly not least, le modèle SPOT ne serait pas ce qu'il est aujourd'hui sans la présence et le soutien compétent de Sophie Mertens.*

---





## Introduction

Ce Working Paper présente les spécifications et la méthodologie de construction du modèle d'équilibre général macrosectoriel SPOT (*Sustainable Policy Tool*). Ce modèle a été conçu et développé au Bureau fédéral du Plan dans l'optique d'élargir l'expérience du Bureau en matière de modélisation vers un type de modèle de plus en plus sollicité dans l'évaluation des mesures de politique économique et foncièrement différent des modèles macro-économétriques (pour lesquels le BfP possède une expérience éprouvée): les modèles d'équilibre général appliqués. SPOT est donc avant tout un modèle à vocation exploratoire: son ambition n'est pas de supplanter les modèles existants, tant pour des motifs d'opérationnalité pour l'aide à la décision (concepts sous-jacents à l'équilibre général) qu'en raison des moyens humains mis en œuvre pour la conception et l'exploitation du modèle.

La version actuelle du modèle, présentée dans cette note, s'est essentiellement attachée à l'évaluation de deux types de politiques: les politiques énergétiques fiscales et non fiscales destinées à réduire les émissions de gaz à effet de serre et les politiques de réduction des cotisations patronales destinées à promouvoir l'emploi. Le modèle est donc très détaillé en matière de comportements d'offre et de demande énergétiques, mais offre également une description fine de l'ensemble de la fiscalité et un marché du travail segmenté. En cela, le modèle présente une série de caractéristiques innovantes. Le modèle a toutefois été voulu évolutif; sa méthodologie de constitution repose sur l'usage d'un ensemble de programmes exploitables sous le logiciel IODE<sup>1</sup>, programmes qui peuvent être agencés différemment suivant la structure du modèle désiré. Là encore, la nature exploratoire du modèle se justifie puisque ses structures théoriques sont susceptibles d'être altérées à tout moment en fonction du programme de travail.

La première partie de ce Working Paper présente les spécifications théoriques du modèle. L'élaboration de la banque de données et la méthodologie de calibrage du modèle sont détaillés dans la seconde partie. On y trouvera notamment l'origine et la valeur des élasticités utilisées dans le modèle. La troisième partie procède à une analyse de quelques-unes des propriétés du modèle à l'aide de simulations de politique économique et de chocs externes.

Présenter un modèle macroéconomique de manière succincte est toujours une gageure: une documentation technique plus détaillée que ce Working Paper est donc disponible sur simple demande: elle reprend l'ensemble des spécifications et détaille la construction de la banque de données et les élasticités.

---

1. Le logiciel IODE, élaboré par la Cellule Informatique du BfP, permet la construction et l'exploitation de modèles mathématiques et des banques de données qui y sont associées; ce logiciel est disponible sur le site internet du BfP.





## Les spécifications du modèle SPOT

Après une brève discussion sur le choix de la désagrégation sectorielle du modèle, les spécifications théoriques sont présentées, d'abord pour le système productif (considéré comme le cœur du modèle), puis pour les principales autres structures constitutives et les relations inter-sectorielles.

### A. Choix de la désagrégation sectorielle

Les études récentes en matière de modélisation énergie/environnement mettent souvent l'accent sur l'exigence d'adéquation entre l'outil formalisé et le domaine analysé. Sheraga *et al.* (1993) montrent par exemple que le choix des formes fonctionnelles du secteur productif et celui des inputs ont une incidence non négligeable sur le champ d'application du modèle et son aptitude à saisir l'ensemble des mécanismes pertinents en regard de son objet d'étude (Beaumais et Schubert, 1996). La volonté de maîtriser la taille du modèle exige par ailleurs de procéder à une sélection drastique dans le choix de la décomposition sectorielle.

#### 1. Les critères de désagrégation

Farmer et Steininger (1994) considèrent que, dans la perspective d'un modèle appliqué aux problèmes environnementaux, deux critères doivent entrer en considération dans le niveau de désagrégation: (i) le degré d'ouverture du secteur à la concurrence internationale, (ii) la contribution du secteur à la pollution atmosphérique. Le premier critère permet de rendre compte des enjeux en terme de compétitivité (avec plus ou moins de finesse suivant la spécification de l'environnement international), voire par la suite de connecter le modèle avec un système multinational. Il est évidemment d'autant plus pertinent que l'économie considérée est ouverte. Le second revient à isoler les secteurs suivant leur comportement énergétique, c'est-à-dire l'importance de leur contribution aux émissions de gaz à effet de serre ou le niveau de leur dépendance énergétique. Certains secteurs vérifient simultanément les deux critères (par exemple les secteurs de la sidérurgie ou de la chimie).

## 2. Les secteurs

Compte tenu des observations précédentes, il est apparu nécessaire de distinguer en premier lieu deux secteurs énergétiques: un secteur électrique et un secteur non électrique. Ensuite, le secteur des biens intermédiaires a été isolé du fait de caractéristiques très particulières dans la problématique énergétique (forte ouverture au commerce international, forte intensité en énergie et en CO<sub>2</sub>). Enfin, une distinction est opérée entre industrie (autres secteurs industriels) et services marchands. Le modèle compte donc cinq secteurs marchands, plus un secteur non marchand.

## 3. Le traitement de l'énergie

Le traitement de l'énergie peut être réalisé de plusieurs manières. La distinction entre énergie électrique et énergie non électrique (ou, ce qui revient quasiment au même, entre énergies fossiles et non fossiles) offre un intérêt d'une acuité toute particulière dans la problématique du changement climatique. Cette distinction est reprise dans un grand nombre de travaux, mais sous des formes diverses. Elle peut s'opérer soit au premier niveau de la fonction de production, soit à un niveau inférieur où le facteur énergie est désagrégé entre les différents produits énergétiques (électricité, produits pétroliers, gaz, etc...). Nous retiendrons la seconde approche, d'une part pour alléger les spécifications des fonctions de production qui incorporeront déjà cinq facteurs, et d'autre part pour pouvoir utiliser un module inter-énergétique homogène entre les entreprises et les ménages et estimé sur base de systèmes translog. Face à la demande pour chaque produit, deux secteurs producteurs d'énergie sont considérés, l'un pour l'énergie électrique, l'autre pour l'ensemble des autres produits.

## B. Les structures productives

Selon Shoven et Whalley (1992), le choix de la fonction de production doit respecter deux types de contraintes:

- les formes fonctionnelles doivent être cohérentes avec le cadre théorique sous-jacent; par exemple, les fonctions de demande doivent être continues et homogènes de degré zéro;
- la forme doit offrir une maniabilité analytique maximale, notamment en vue de la phase de détermination des élasticités et de calibrage.

Cette double contrainte explique le recours quasi-universel dans les modèles d'équilibre aux fonctions telles que les Cobb-Douglas, les CES (*constant elasticity of substitution*), les Leontief, les LES (*linear expenditure system*), les CRESH (*constant ratios of elasticities of substitution, homothetic*) ou les Translog par exemple. Certaines restrictions inhérentes à ces formes peuvent apparaître rédhibitoires face aux objectifs que l'on se fixe avec le modèle. C'est le cas de l'élasticité de substitution toujours unitaire dans une fonction Cobb-Douglas. Le choix de la forme fonctionnelle dépendra donc également en partie de l'objectif du modèle et de son domaine d'application. La solution retenue ici est celle qui est mise en

œuvre dans la grande majorité des MEG du fait de sa grande souplesse: la structure de production est décrite par un emboîtement de fonctions CES. La notion de CES sera toutefois utilisée de manière assez lâche puisque, dans certains cas, l'élasticité de substitution sera nulle entre les facteurs considérés, ce qu'on identifie alors comme une fonction Leontief. Au niveau le plus bas des fonctions de production, des fonctions translog seront requises pour déterminer les consommations énergétiques par produit.

Il est apparu que le choix des facteurs de production et leur agencement exercent une influence sensible sur les propriétés du modèle; ce point mérite donc d'être discuté préalablement. Le marché du travail distingue d'emblée deux catégories de main-d'œuvre (bas salaires, autres salaires) dans un cadre de segmentation qui est exposé ensuite. Enfin, le détail des spécifications des fonctions de production est présenté pour chacun des secteurs.

## 1. Choix des facteurs de production et agencement

L'un des objectifs du modèle étant l'analyse des relations factorielles sous l'angle des problématiques énergétiques et fiscales, il est essentiel de tenir compte des substitutions potentielles entre l'énergie et les autres facteurs de production ainsi qu'entre les différentes formes d'énergie. Cette exigence conduit à distinguer, de manière préliminaire, quatre facteurs de production: le capital ( $K$ ), le travail ( $L$ ), l'énergie ( $QE$ ) et les autres consommations intermédiaires ( $QQ$ ). La nécessité de distinguer l'énergie comme facteur de production complique quelque peu l'organisation du système, la question étant de savoir à quel niveau ce facteur doit apparaître. En outre, il est difficile d'ignorer les avantages d'une segmentation du marché du travail dès qu'il s'agit d'évaluer les effets de politiques de redéploiement fiscal basées sur une réduction du coût non salarial. Le facteur travail est donc décomposé d'emblée entre travail "bas salaire" ( $LL$ ) et "autres salaires" ( $LH$ ). Le nombre total de facteurs de production s'élève donc à cinq. Sur base de l'étude des modèles existants, il apparaît que l'emboîtement des fonctions doit être dicté par un double souci:

- mettre en évidence les élasticités factorielles les plus sensibles, notamment celles entre le capital et l'énergie (au cœur des débats sur le progrès technique);
- pouvoir aisément utiliser les élasticités disponibles dans la littérature économétrique;

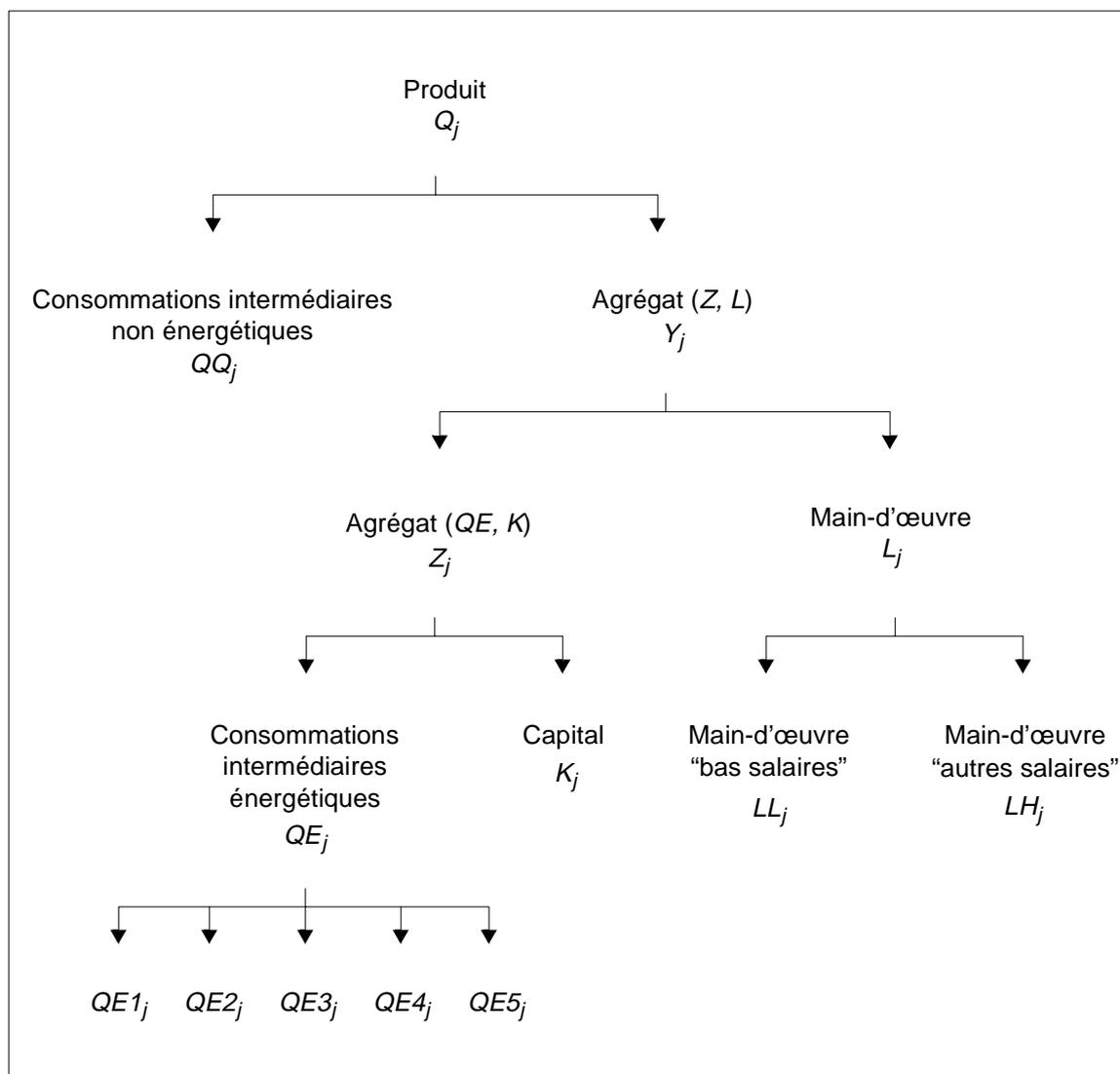
Deux structures productives différentes ont été considérées compte tenu des spécificités technologiques: l'une (structure I) pour le secteur des services marchands, l'autre (structure II) pour les secteurs industriels (secteur des biens intermédiaires et autres industries). La différence entre ces deux structures provient de la place du travail "autres salaires"; celui-ci est regroupé avec le travail "bas salaire" dans les services marchands (pour constituer l'agrégat travail) alors qu'il est isolé dans les secteurs industriels et confronté à avec un composite regroupant travail "autres salaires", capital et énergie. Les schémas 1 et 2 présentent l'organisation des facteurs de production dans les deux structures.

L'agencement des facteurs dans les services est assez similaire à celui retenu, par exemple, dans le modèle GREEN (Burniaux *et al.*, 1992), dans le modèle belge GEMTAX (où seules des fonctions Cobb-Douglas sont utilisées; voir Bayar, 1994) ou dans le modèle autrichien AET (Farmer et Steinenberg, 1994). Cette hiérarchie est préférable à celle qui serait fondée sur un agrégat  $(K, L)$  dans la mesure où la substitution entre  $K$  et  $E$  diffère de la substitution entre  $L$  et  $E$  (elle est notamment plus faible à court terme). La présence d'un agrégat  $(K, L)$  impliquerait en effet que les élasticités de substitution avec l'énergie soient les mêmes pour le travail et pour le capital. La structure retenue ici donne par contre des élasticités différenciées. Elle reflète l'idée que, dans les services, les deux formes de travail entrent fortement en concurrence, et ce une fois les choix technologiques arrêtés. Dans ce secteur, l'entreprise minimise son coût salarial total en modulant autant que possible la composition de sa main-d'œuvre.

Les secteurs industriels offrent une physionomie différente. Le capital et l'énergie sont regroupés dans un composite directement relié au travail "autres salaires"; cet agrégat est ensuite mis en vis-à-vis avec le travail "bas salaire". Cette spécification est également retenue dans le secteur industriel du modèle MIMIC (Gelauff et Graafland, 1994), dans le modèle JULIEN (Laffargue, 1996) et dans les travaux de Fodha, Kany et Lemiale (1996). L'hypothèse sous-jacente est qu'il existe des liens technologiques étroits entre le type de capital installé et la main-d'œuvre qualifiée représentée par le travail "autres salaires", ceux-ci constituant des facteurs plutôt complémentaires (Hamermesch (1993)<sup>1</sup>). Les déterminants de l'emploi "bas salaires" ne sont pas strictement liés aux choix technologiques mais sont fonctions des possibilités de croissance et de choix organisationnels spécifiquement centrés sur la main-d'œuvre. Une structure de ce type permet de rendre compte des mouvements de rationalisation qui ont eu lieu dans l'industrie depuis les chocs pétroliers où l'accroissement de l'intensité capitaliste s'est produite au détriment de la main-d'œuvre non qualifiée<sup>2</sup>.

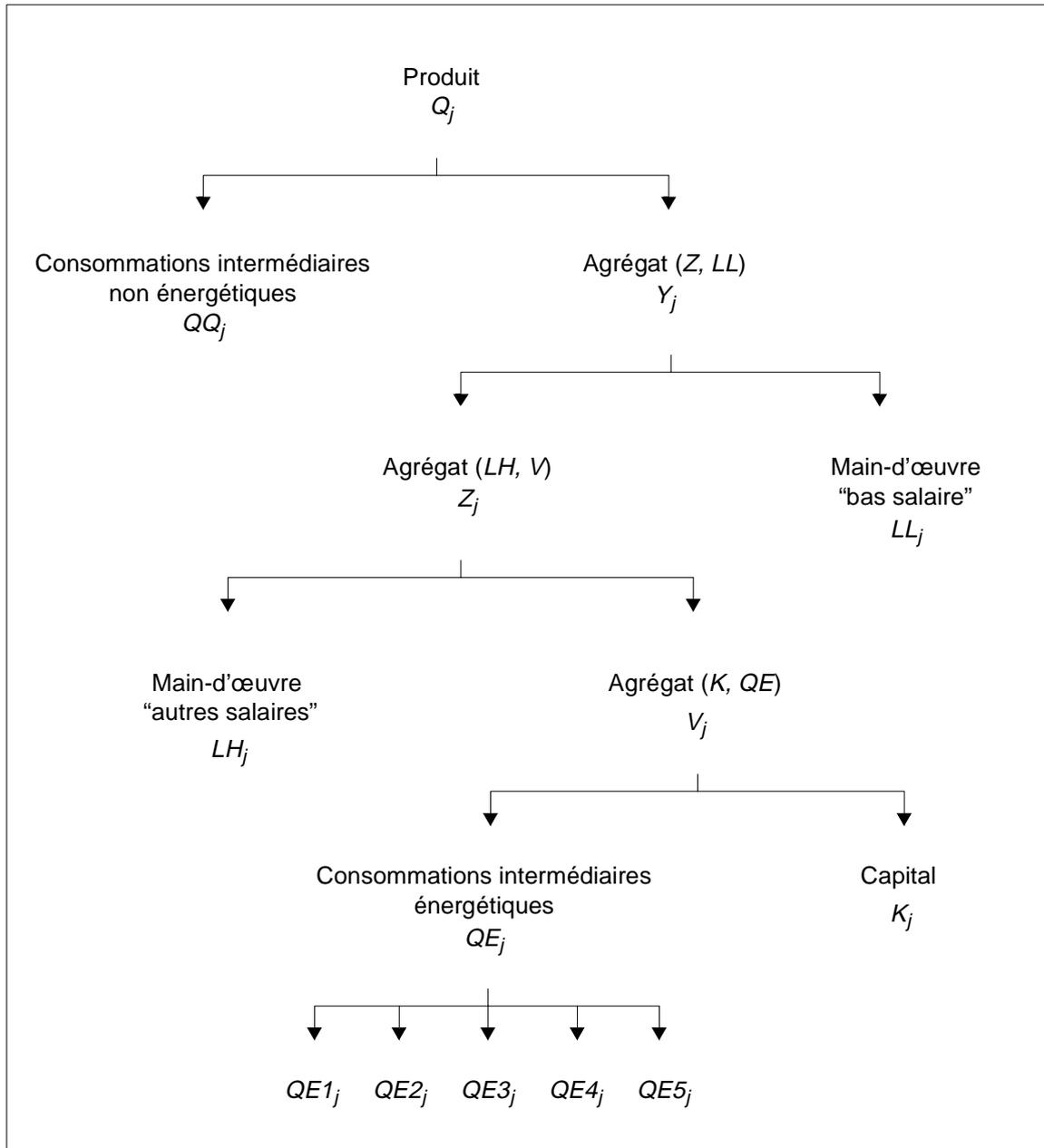
- 
1. La discussion de cette hypothèse sera développée dans la section décrivant le marché du travail.
  2. Il est évident qu'à ce moment de la construction du modèle, l'assimilation de la qualification au niveau de salaire constitue une hypothèse simplificatrice salutaire. Toutefois, il serait difficile, à ce niveau d'agrégation, d'aller réellement très loin dans la problématique des qualifications: raisonner sur le niveau de salaire offre une vision plus souple de la problématique de la segmentation.

**Schéma 1 - La structure productive dans le secteur des services marchands (Structure I,  $j=4$ )**



Chacune de ces deux structures offre des propriétés variantielles spécifiques qui ne sont pas sans incidence sur le comportement et les propriétés du modèle dans son ensemble. Ces propriétés sont évaluées analytiquement (et toutes choses égales par ailleurs) dans le tableau 1 par l'introduction de chocs exogènes.

**Schéma 2 - La structure productive dans les secteurs industriels**  
 (Structure II,  $j = 2, 3$ )



La variante (1) considère les effets d'une réduction des cotisations patronales sur l'ensemble des salariés. Dans les services, une telle mesure préserve inchangé le rapport entre les deux formes d'emploi, ainsi qu'entre le capital et l'énergie puisque les coûts relatifs respectifs ne bougent pas. Le coefficient crucial dont dépend la création d'emploi dans le secteur est l'élasticité de substitution située au sommet de l'arborescence ( $\sigma_Q$ ). Les effets de la mesure dans les secteurs industriels sont tout autres puisque le rapport entre les formes de main-d'œuvre est altéré en fonction des coefficients situés aux différents nœuds du système. La création d'emploi pour chaque catégorie est tributaire des possibilités d'aménagement des structures productives avec l'agrégat capital/énergie. Le coefficient  $\sigma_Z$  est donc également déterminant.

La variante (2) concentre la réduction du coût salarial sur les travailleurs “bas salaires”. La substitution est directe avec les travailleurs “autres salaires” dans la structure I (coefficient  $\sigma_L$ ); l’effet sur les deux formes de travail est par contre le même dans la structure II (coefficient  $\sigma_Q$ ). Dans ce dernier cas, les proportions respectives de travail “autres salaires”, capital et énergie restent identiques. L’élasticité de substitution entre les deux formes de main-d’œuvre est donc  $\sigma_L$  dans la structure I et  $\sigma_Q$  dans la structure II.

Les variantes (3) et (4) modifient le prix des deux autres facteurs (énergie et capital). À nouveau, la différence entre les deux structures réside dans la modification ou non du rapport entre les deux formes de travail. Une augmentation du prix de l’énergie se traduit par une substitution plus favorable au travail “autres salaires” dans l’industrie et identique pour les deux types de main-d’œuvre dans les services marchands.

L’ensemble de ces considérations est synthétisé dans le tableau 1.

**TABLEAU 1 - Comparaison des propriétés des différentes structures productives**

Mesure	Structure I (services marchands)	Structure II (secteurs industriels)
(1) réduction des CSE sur tous les salariés	<ul style="list-style-type: none"> <li>• rapport LL/LH invariant</li> <li>• rapport K/E invariant</li> <li>• créations d’emploi fonction de <math>\sigma_Q</math></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• rapport LL/LH modifié suivant la valeur de <math>\sigma_Q</math> et de <math>\sigma_Z</math></li> <li>• rapport K/E invariant</li> <li>• K et E diminuent en fonction de <math>\sigma_Z</math></li> </ul>
(2) réduction des CSE sur les “bas salaires”	<ul style="list-style-type: none"> <li>• substitution directe avec les “autres salaires”</li> <li>• rapport K/E invariant</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• réduction homothétique de K, E et LH <i>via</i> <math>\sigma_Q</math></li> </ul>
(3) taxe sur les énergies fossiles	<ul style="list-style-type: none"> <li>• rapport LL/LH invariant</li> <li>• impact sur L en fonction de <math>\sigma_Q</math></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• augmentation très faible ou baisse de LH</li> <li>• augmentation de LL en fonction de <math>\sigma_Q</math> et de <math>\sigma_Z</math></li> </ul>
(4) soutien à l’investissement productif	<ul style="list-style-type: none"> <li>• rapport LL/LH invariant</li> <li>• réduction de L</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• réduction très faible ou augmentation de LH</li> <li>• réduction de LL</li> </ul>

## 2. Modélisation de la segmentation du marché du travail

Le modèle fonctionne donc d’emblée avec un facteur travail hétérogène. L’hétérogénéité constitue un concept polymorphe en ce sens qu’elle peut recouvrir différentes acceptions: par niveau de qualification, par type de qualification (cols bleus *versus* cols blancs), par âge, par sexe, par type de contrat d’embauche (temps partiels *versus* temps plein)... L’hétérogénéité n’est en outre pas nécessairement dichotomique puisque l’on peut très bien distinguer plus de deux segments de main-d’œuvre en suivant un *continuum* de qualifications ou de salaires. Le modèle MIMIC développé au Centraal Plan Bureau (Pays Bas) distingue par exemple cinq catégories différentes de main-d’œuvre définies en combinant des critères de niveau de salaire et de qualification.

Le choix de la segmentation soulève de nombreuses difficultés (par exemple pour la quantification des relations théoriques sur base d'estimations économétriques) et limite d'autant la portée d'un modèle. À ce titre, la spécialisation constitue à la fois un atout (prise en compte précise de mécanismes très caractérisés) et une limite (modèle désespérément uni-tâche). Pour demeurer maniable, le modèle ne peut distinguer qu'un nombre limité de main-d'œuvre. En outre, à notre connaissance, aucune statistique sur les masses salariales et l'emploi n'est disponible en Belgique par type de qualification. Des données de l'Office National de Sécurité Sociale (O.N.S.S.) décomposant l'emploi par tranches de salaire brut mensuel ont donc été utilisées.<sup>1</sup> La segmentation est alors opérée par niveau de salaire, ce qui permettra de rendre compte des différentes mesures de réduction structurelle des cotisations employeurs ciblées sur les bas salaires mises en œuvre par le gouvernement fédéral.

La construction du modèle requiert trois types de données: les masses salariales, l'emploi et le rapport entre les salaires des deux catégories déterminées. Le niveau absolu des salaires n'est d'aucune utilité puisque, dans un modèle d'équilibre général, seuls les prix relatifs importent. Si l'on décide de traiter de deux travailleurs ayant deux salaires différents, seuls comptent le rapport entre les deux taux de salaire et l'emploi correspondant à chaque catégorie. Les salariés sont regroupés en deux catégories suivant des tranches salariales définies par rapport au salaire minimum interprofessionnel. Pour chaque catégorie, le salaire coût moyen est déterminé en rapportant la masse salariale à l'emploi. Ce calcul permet alors de déterminer le rapport entre les deux salaires (se reporter au chapitre 4 pour une explication complète du calibrage et de la construction des données).

La distinction qui est ainsi opérée doit être considérée comme un moyen d'approcher les caractéristiques théoriques et structurelles inhérentes à une politique de l'emploi donnée dont on cherche à évaluer les impacts. À cet égard, une segmentation différente du marché du travail s'imposerait si l'on désirait aborder d'autres types de politiques de l'emploi, par exemple la question du recours aux contrats à temps partiel.

Le modèle fonctionne sous les hypothèses suivantes:

- le salaire est égal à la productivité marginale du travailleur: il en découle que la distinction bas salaire/autres salaires est rigoureusement identique à la distinction qualifiés/non qualifiés;
- la segmentation du marché du travail est totale dans la mesure où les deux "compartiments" (pour reprendre une terminologie à la Modigliani) sont parfaitement étanches: un travailleur de la catégorie "autres salaires" ne peut pas brader son savoir-faire en candidatant sur le marché primaire;
- la mobilité sectorielle de la main-d'œuvre est parfaite: il n'existe qu'un seul taux de salaire dans toute l'économie pour chaque segment du marché de l'emploi.

---

1. Ces mêmes données ont déjà été sollicitées pour l'élaboration du module MILOU (voir Bréchet *et al.*, 1995).

On notera que la composition des ménages n'est pas abordée. Les hypothèses de segmentation totale des marchés et de mobilité parfaite de la main-d'œuvre impliquent que le coût salarial pour chaque catégorie ( $PLL$  et  $PLH$ ) est unique quel que soit le secteur, mais le prix de l'agrégat ( $PL$ ) varie par contre d'un secteur à l'autre suivant la composition de la main-d'œuvre.

Le coût salarial des bas salaires  $PLL$  est choisi comme numéraire. Par convention, on pose alors que:

$$PLH = \Psi \cdot PLL \quad (1)$$

où  $\Psi$  détermine le différentiel salarial entre "bas salaire" et "autres salaires" tel que mis en évidence l'année de référence du modèle. En suivant Roberts et Zolkiewski (1996), on suppose ce différentiel invariable. Le coût salarial de chaque catégorie de main-d'œuvre  $i$  est donné par:

$$PL_i = W_i \cdot (1 + TCSE_i) \quad (2)$$

où  $W_i$  est le salaire contractuel de la catégorie  $i$  et  $TCSE_i$  le taux de cotisation employeurs à la Sécurité sociale. Le taux de cotisation des bas salaires tient compte des réductions structurelles de cotisations en vigueur en 1994; le coin fiscal est donc d'emblée plus faible pour cette catégorie d'emploi que pour les autres salariés. La séparation complète des deux types de main-d'œuvre permet de calculer de manière endogène les cotisations versées à la Sécurité sociale pour chaque catégorie de main-d'œuvre dans chacun des secteurs.

### 3. Fonctions de production dans les services marchands

Dans chaque secteur, on considère une entreprise type en situation de concurrence parfaite qui maximise son profit compte tenu du prix des facteurs de production. Au niveau le plus agrégé de la structure de production, l'entreprise répartit sa production entre inputs intermédiaires non énergétiques et un agrégat capital-travail-inputs énergétiques. Cette répartition est effectuée sur base d'une fonction Leontief dont les coefficients fixes sont représentatifs des relations inter-industrielles de l'économie. L'élasticité de substitution est donc nulle. Les consommations intermédiaires sont soit importées, soit issues de la production nationale, et cette distinction est opérée par une spécification à la Armington (1969); les importations sont ensuite réparties entre chacune des trois zones géographiques distinguées (voir la section sur le commerce extérieur).

Pour les niveaux inférieurs de l'arborescence, il est supposé que, compte tenu de la quantité désirée de l'agrégat définie au niveau supérieur et des prix des facteurs définis aux niveaux inférieurs, l'entreprise minimise le coût de l'agrégat correspondant en allouant de manière optimale les deux facteurs qui le constituent. Au niveau 2, l'agrégat valeur ajoutée ( $Y$ ) est décomposé entre le facteur travail ( $L$ ) et un facteur composite regroupant le capital et l'énergie ( $Z$ ). La minimisation des coûts est effectuée sous contrainte de la fonction de production; la fonction retenue est une fonction CES. En indiquant (4) le secteur des services marchands, le programme s'exprime de la manière suivante:

$$\text{Min } PL_4 \cdot L_4 + PZ_4 \cdot Z_4 \quad (3)$$

sous contrainte de:

$$Y_4 = \left( \alpha_{Y_4} \cdot L_4^{1 - \frac{1}{\sigma_{Y_4}}} + (1 - \alpha_{Y_4}) \cdot Z_4^{1 - \frac{1}{\sigma_{Y_4}}} \right)^{\frac{1}{1 - \frac{1}{\sigma_{Y_4}}}} \quad (4)$$

où  $Y_4$ ,  $L_4$  et  $Z_4$  représentent les agrégats en volume,  $PL_4$  et  $PZ_4$  leur prix, et  $\alpha_{Y_4}$  le paramètre de répartition de la fonction CES, c'est-à-dire la part du travail dans la valeur ajoutée. Les rendements d'échelle sont constants. L'élasticité de substitution entre le travail et le composite capital-énergie est notée  $\sigma_{Y_4}$ . De ce programme découlent les conditions du premier ordre qui déterminent la demande pour chacun des deux facteurs:

$$L_4 = Y_4 \cdot \left( \frac{\alpha_{Y_4} \cdot PY_4}{PL_4} \right)^{\sigma_{Y_4}} \quad (5)$$

$$Z_4 = Y_4 \cdot \left( \frac{(1 - \alpha_{Y_4}) \cdot PY_4}{PZ_4} \right)^{\sigma_{Y_4}} \quad (6)$$

Au niveau le plus désagrégé, le facteur travail est décomposé entre travail "autres salaires" ( $LH$ ) et "bas salaire" ( $LL$ ). L'entreprise minimise alors son coût salarial total sous respect d'une fonction CES du type:

$$L_4 = \gamma_{L_4} \cdot \left( \alpha_{L_4} \cdot LL_4^{1 - \frac{1}{\sigma_{L_4}}} + (1 - \alpha_{L_4}) \cdot LH_4^{1 - \frac{1}{\sigma_{L_4}}} \right)^{\frac{\sigma_{L_4}}{\sigma_{L_4} - 1}} \quad (7)$$

avec:

$$PL_4 \cdot L_4 = PLL \cdot LL_4 + PLH \cdot LH_4 \quad (8)$$

où  $L_4$  représente l'emploi total du secteur des services marchands,  $LL_4$  et  $LH_4$  l'emploi "bas salaire" et "autres salaires"; l'élasticité de substitution entre les deux formes de travail est ici indiquée par  $\sigma_{L_4}$ .

Sous l'hypothèse de minimisation du coût salarial total, on détermine alors les demandes optimales pour chaque type de main-d'œuvre avec les équations suivantes:

$$LL_4 = L_4 \cdot \gamma_{L_4}^{(\sigma_{L_4} - 1)} \cdot \left( \frac{\alpha_{L_4} \cdot PL_4}{PLL} \right)^{\sigma_{L_4}} \quad (9)$$

$$LH_4 = L_4 \cdot \gamma_{L_4}^{(\sigma_{L_4} - 1)} \cdot \left( \frac{(1 - \alpha_{L_4}) \cdot PL_4}{PLH} \right)^{\sigma_{L_4}} \quad (10)$$

Les fonctions de demande pour le capital et les consommations intermédiaires énergétiques sont modélisées de la même manière. On a :

$$K_4 = Z_4 \cdot \gamma_{Z_4}^{(\sigma_{Z_4} - 1)} \cdot \left( \frac{\alpha_{Z_4} \cdot PZ_4}{PK} \right)^{\sigma_{Z_4}} \quad (11)$$

$$QE_4 = Z_4 \cdot \gamma_{Z_4}^{(\sigma_{Z_4} - 1)} \cdot \left( \frac{(1 - \alpha_{Z_4}) \cdot PZ_4}{PQE_4} \right)^{\sigma_{Z_4}} \quad (12)$$

Le prix des consommations intermédiaires d'énergie ( $PQE_4$ ) est déterminé par le prix des différents produits énergétiques qui les constituent; la décomposition de ces consommations intermédiaires par produit énergétique est exposée dans la section dévolue aux consommations énergétiques par produit (section 6).

Le coût d'usage du capital est défini par :

$$PK = (r + \delta) \cdot PI \quad (13)$$

où  $r$  est le taux d'intérêt réel de long terme,  $\delta$  le taux de déclassement (exogène) et  $PI$  le prix de l'investissement.

#### 4. Fonctions de production dans les secteurs industriels

Le modèle distingue deux secteurs industriels: le secteur des biens intermédiaires ( $j = 2$ ) et les autres industries ( $j = 3$ ). La structure productive dans les secteurs industriels diffère de celle retenue dans les services marchands par la dissociation des deux types de main-d'œuvre (voir les schémas 1 et 2 ci-dessus). Toutefois, la construction de l'arborescence suit le même principe. Après l'introduction des consommations intermédiaires non énergétiques avec une fonction Leontief, le produit est réparti entre un agrégat capital-énergie-travail "autres salaires" ( $Z$ ) et le travail "bas salaire" ( $LL$ ) sous l'hypothèse de minimisation du coût de production et sous contrainte d'une fonction CES. Cet agrégat  $Z$  est ensuite éclaté entre ses composantes suivant la même méthode.

Tout comme dans le secteur des services marchands, les consommations intermédiaires énergétiques sont, au niveau le plus bas de la structure productive, désagrégées par produit énergétique (voir la section 6).

## 5. La chaîne des prix de production

La chaîne des prix suit une structure de type *bottom up* dans le modèle. Cette approche permet, en partant d'une détermination des prix d'équilibre sur le marché des facteurs primaires (le travail "bas salaire" et autres salaires", le capital, les consommations intermédiaires énergétiques et les consommations intermédiaires non énergétiques), de calculer le prix des facteurs composites aux échelons intermédiaires sous respect des fonctions de production CES retenues, c'est-à-dire sous respect de la frontière des prix de facteurs.

Le prix moyen de l'énergie pour chaque secteur ( $PE_j$ ) est issu du module énergétique: il dépend de l'allocation réalisée par les entreprises entre les différents produits énergétiques et du prix de chacun de ces produits. Ce prix est donc différent d'un secteur à l'autre. Par contre, sous l'hypothèse de mobilité parfaite des facteurs de production, les deux formes de travail et le capital sont rémunérés de façon identique dans les trois secteurs.

## 6. Les consommations énergétiques par produit

Les consommations intermédiaires d'énergie calculées par les fonctions de production sont éclatées en cinq produits énergétiques par l'entremise de fonctions translog: charbon, coke, produits pétroliers, gaz et électricité. L'importance du rôle des substitutions inter-énergétiques dans les secteurs productifs a milité pour l'insertion de modules translog validés par l'économétrie. Les systèmes actuellement utilisés dans le modèle HERMÈS-Belgique (Bossier *et al.*, 1993) ont donc été sollicités: les fonctions de demande translog sont identiques (et donc l'ensemble des élasticités prix croisées et directes), mais l'interface avec la sphère macro-sectorielle a été entièrement re-modélisée pour tenir compte des particularismes du modèle SPOT.

Les consommations intermédiaires énergétiques des trois secteurs endogènes (hors secteur énergie) sont d'abord éclatées dans la nomenclature du modèle HERMÈS avec des clés de répartition exogènes afin de constituer cinq systèmes d'allocation. Notons  $PEE_i$  le prix du produit énergétique  $i$  et  $PQE_j$  le prix de sa consommation intermédiaire d'énergie. Ce dernier prix est donné par la fonction de coût translog suivante:

$$\ln PQE_j = \mu_0 + \sum_{i=1}^n \mu_{ij} \cdot \ln PEE_i + \frac{1}{2} \cdot \sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^n \mu_{ik} \cdot \ln PEE_i \cdot \ln PEE_k \quad (14)$$

L'application du lemme de Shephard permet de déduire la demande du secteur  $j$  pour chaque produit énergétique  $i$  sous forme de sa part budgétaire:

$$DEU_j E_i = \mu_{ij} + \sum_k \mu_{ik} \cdot \ln PEE_k \quad (15)$$

Les propriétés d'homogénéité, de concavité et de symétrie sont vérifiées lors des estimations économétriques.

Le prix de chaque produit énergétique est fonction du prix de livraison des secteurs producteurs d'énergie et du prix des importations, suivant le type de produit considéré (Cf. la description des secteurs producteurs d'énergie).

## 7. L'investissement en capital physique

Dans la perspective d'une dynamisation du modèle SPOT, la modélisation de l'investissement résulte directement du processus d'accumulation du capital issu de la fonction de production pour chacun des secteurs distingués (Ragot, 1997). Pour chaque secteur de l'économie, l'évolution du stock de capital peut s'écrire:

$$K_t = (1 - \delta) \cdot K_{t-1} + I_t \quad (16)$$

où  $K_t$  est le stock de capital,  $I_t$  le montant de l'investissement et  $\delta$  le taux de déclasserement du capital. À l'état stationnaire, toutes les grandeurs en volume croissent au rythme de la population; si l'on définit la population par  $N_t$  et son taux de croissance comme  $(1 + n)$  on a:

$$N_t = (1 + n) \cdot N_{t-1} \quad (17)$$

en notant en minuscules les grandeurs par tête:

$$k_t = \frac{K_t}{N_t} \quad \text{et} \quad i_t = \frac{I_t}{N_t} \quad (18)$$

L'équation (16) peut alors s'exprimer de la manière suivante:

$$k_t = \frac{1 - \delta}{1 + n} \cdot k_{t-1} + i_t \quad (19)$$

À l'état stationnaire, toutes les grandeurs par tête sont constantes, soit  $k_{t+1} = k_t$  ( $\forall t$ ) et l'équation (19) devient:

$$k_t = \frac{1 + n}{n + \delta} \cdot i_t \quad (20)$$

Cette équation permet de déterminer, dans le modèle stationnaire, le niveau de l'investissement par tête, connaissant le capital par tête. Il faut noter que  $k_t$  et  $i_t$  sont définis pour chaque secteur alors que  $n$  et  $\delta$  sont uniques pour l'ensemble de l'économie<sup>1</sup>. L'investissement sectoriel est agrégé pour former l'investissement total:

---

1. La version dynamique du modèle, qui n'est pas présentée ici, utilise l'équation (16).

$$IT = \sum_{j=1}^5 I_j \quad (21)$$

Cet investissement agrégé est considéré comme un bien composite produit selon une arborescence similaire à celle du schéma productif (Burniaux *et al.* (1992); Goulder (1992); Bovenberg *et al.* (1998)). L'autre méthode consisterait à considérer l'un des biens produits comme bien capital (Schubert et Letournel, 1991). Le schéma 3 présente la structure de l'investissement dans le modèle. Les livraisons à l'investissement total sont donc ventilées entre le secteur des autres industries et celui des services marchands (secteurs indicés respectivement:  $j = 3$  et  $j = 4$ ) par l'entremise d'une fonction CES sous l'hypothèse de minimisation du coût total des livraisons. Le calibrage est effectué sur base du Tableau d'Échanges Inter-industriel.

On a:

$$LQI = \gamma_{LQI} \cdot \left( \alpha_{LQI} \cdot LQI_3^{1 - \frac{1}{\sigma_{LQI}}} + (1 - \alpha_{LQI}) \cdot LQI_4^{1 - \frac{1}{\sigma_{LQI}}} \right)^{\frac{1}{\sigma_{LQI}}} \quad (22)$$

où  $\gamma_{LQI}$  est un paramètre d'échelle et  $\sigma_{LQI}$  l'élasticité de substitution entre les livraisons de chaque secteur. La minimisation du coût de ce panier conduit aux deux équations de demande de bien capital adressées aux secteurs 3 et 4:

$$LQI_3 = LQI \cdot \gamma^{\sigma_{LQI} - 1} \cdot \left( \frac{\alpha_{LQI} \cdot PLQI}{PLQI_3} \right)^{\sigma_{LQI}} \quad (23)$$

$$LQI_4 = LQI \cdot \gamma^{\sigma_{LQI} - 1} \cdot \left( \frac{(1 - \alpha_{LQI}) \cdot PLQI}{PLQI_4} \right)^{\sigma_{LQI}} \quad (24)$$

avec  $LQI = IT$

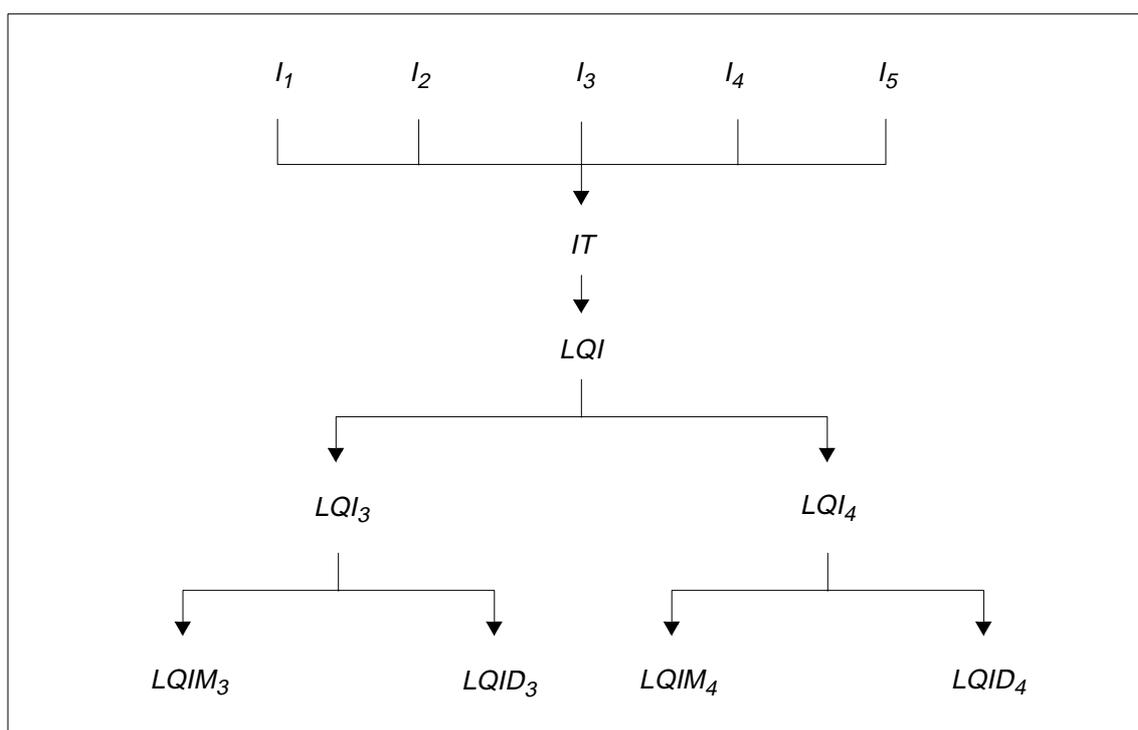
Le prix de l'investissement agrégé, unique pour l'ensemble de l'économie, est donné par le prix des livraisons:

$$PI = PLQI \quad (25)$$

$$\text{où: } PLQI = \frac{PLQI_3 \cdot LQI_3 + PLQI_4 \cdot LQI_4}{LQI}$$

La demande ainsi adressée à chaque secteur est satisfaite en partie par un recours aux importations ( $LQIM_j$ ) et en partie par la production domestique ( $LQID_j$ ).

### Schéma 3 - La structure arborescente de l'investissement en capital



## C. Le comportement des ménages

La segmentation du marché du travail s'est traduite par la mise en évidence d'une demande de travail pour deux catégories de main-d'œuvre et la distinction entre deux taux de salaires. Il est logique de compléter le modèle par une dualisation de l'offre de travail et la prise en compte de comportements différenciés pour chacune des catégories de main-d'œuvre. Plus précisément, la distinction entre deux types de ménages permet de décrire de manière distincte les comportements de consommation et d'offre de travail, mais également de spécifier de manière plus correcte les composantes du revenu disponible (taxation et transferts).

### 1. L'arbitrage consommation - loisir

Chacun des travailleurs considérés sur le marché du travail constitue un ménage représentatif. Chaque ménage dispose d'une structure de revenu et d'un comportement d'offre de travail et de consommation spécifique. La fonction d'utilité instantanée entre consommation ( $C_m$ ) et loisir ( $l_m$ ) pour le ménage  $m$  est la suivante:

$$U(C_m, l_m) = (C_m^{-\rho_m} + \beta_m \cdot l_m^{-\rho_m})^{-\frac{1}{\rho_m}} \quad (\text{pour } m = L, H) \quad (26)$$

$$\text{où: } \sigma_m = \frac{1}{(1 + \rho_m)}$$

est l'élasticité de substitution entre la consommation et le loisir pour le ménage  $m$  et  $\beta$  un paramètre de préférence pour le loisir. La maximisation de l'utilité sous respect de la contrainte budgétaire donne:

$$l_m = C_m \cdot \left( \frac{\beta_m \cdot PC_m}{YDH_m} \right)^{\frac{1}{1+\rho_m}} \quad (\text{pour } m = L, H) \quad (27)$$

où  $YDH_m$  est le revenu nominal du ménage  $m$  et  $PC_m$  son déflateur. Cette expression est utilisée pour déterminer le volume de la consommation. Le revenu disponible nominal est défini de la manière suivante:

$$YDH_m = W_m \cdot L_m - CSS_m - DTH_m + TR_m + RS_m \quad (28)$$

où  $W_m$  représente le salaire par tête,  $L_m$  l'emploi,  $CSS_m$  les cotisations personnelles à la Sécurité sociale,  $DTH_m$  l'impôt sur le revenu,  $TR_m$  les transferts et  $RS_m$  la rémunération de l'épargne. L'épargne est définie à partir de la contrainte budgétaire:

$$YDH_m = PC_m \cdot C_m + S_m \quad (29)$$

En substituant par son expression et en posant que:

$$RS_m = r \cdot (1 - T) \cdot S_m \quad (30)$$

où  $r$  est le taux d'intérêt,  $T$  le taux de l'impôt sur la rémunération de l'épargne et  $S$  l'épargne, alors on obtient:

$$S_m = \frac{W_m \cdot L_m - CSS_m - DTH_m + TR_m}{1 - r \cdot (1 - T)} \quad (31)$$

La composition du revenu disponible entre les deux ménages se distingue donc non seulement par le niveau de salaire mais également par l'application de barèmes fiscaux spécifiques sur le revenu imposable et par des transferts forfaitaires différents (ces règles sont explicitées dans le chapitre 3 consacré au calibrage).

## 2. Modules d'allocation de la consommation privée

Une fois l'arbitrage consommation - loisir réalisé pour chaque ménage, la consommation agrégée est éclatée en 14 catégories de biens et services suivant l'arborescence présentée dans le schéma 4. Cette allocation est réalisée sur base de modèles AIDS (*Almost Ideal Demand System*, Deaton et Muellbauer, 1980) estimés économétriquement sur la période 1970 - 1993. Les ménages déterminent en premier lieu un arbitrage entre les biens durables et les autres biens non durables d'autre part en fonction de leur prix relatif et du revenu réel avec une relation du type:

$$\ln(CND_m) = \alpha_{1m} + \alpha_{2m} \cdot \ln\left(\frac{YDH_m}{PC_m}\right) + \alpha_{3m} \cdot \ln\left(\frac{PCND_m}{PCD_m}\right) \quad (32)$$

$$\text{avec: } CD_m = C_m - CND_m \quad (\text{pour } m = L, H) \quad (33)$$

où  $C$ ,  $CD$  et  $CND$  représentent respectivement la consommation totale, la consommation durable et non durable en volume,  $PC$ ,  $PCD$  et  $PCND$  leur prix et  $YDH$  le revenu disponible nominal.

L'allocation optimale des parts budgétaires est ensuite réalisée par maximisation d'une fonction d'utilité sous contrainte du budget alloué à chaque niveau, sous l'hypothèse de séparabilité des fonctions d'utilité. La spécification AIDS repose sur l'hypothèse de courbes de préférence de type PIGLOG représentées par la fonction de coût nécessaire pour atteindre un niveau d'utilité spécifique à prix donnés (sur les formes PIGLOG, voir Deaton et Muellbauer (1980)). Les fonctions de demande pour les différentes classes de biens et services sont dérivées de cette fonction de coût et permettent d'obtenir les équations de parts budgétaires sous la forme générique suivante (l'indice relatif au ménage est omis par souci de clarté):

$$BS_i = \alpha_i + \sum_j \gamma_{ij} \cdot \ln PC_j + \beta_i \cdot \ln\left(\frac{CU}{P}\right) \quad (34)$$

où  $P$  est l'indice de prix défini par:

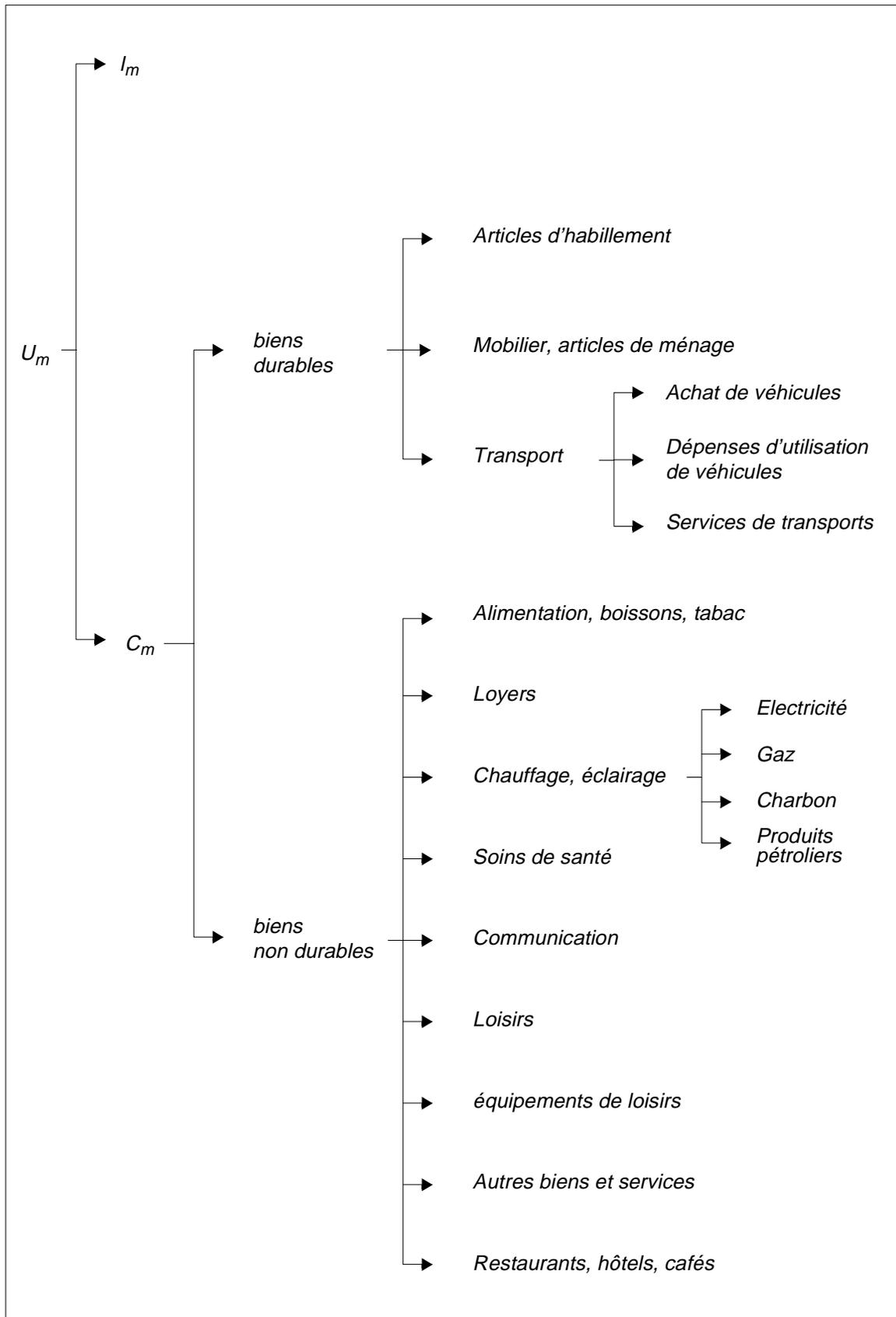
$$\ln P = \alpha_0 + \sum_k \alpha_k \cdot \ln PC_k + \frac{1}{2} \cdot \sum_k \sum_l \gamma_{kl} \cdot (\ln PC_k) \cdot (\ln PC_l) \quad (35)$$

Cet indice est approché, en estimation et en simulation, par la forme suivante:

$$\ln P = \sum_k BS_k \cdot \ln PC_k \quad (36)$$

La contrainte d'additivité d'homogénéité et de symétrie sont vérifiées lors des estimations économétriques (voir Bracke et Bréchet, 1997). La demande correspondant à chacune des quatorze catégories désagrégées est adressée à chacun des quatre secteurs livreurs par l'entremise d'une matrice de transition, une fois défalqué le contenu importé de chaque livraison par une spécification à la Armington (1969). Ces spécifications sont explicitées dans les sections consacrées au commerce extérieur et à l'intersectoriel.

**Schéma 4 - La structure arborescente de la consommation privée**  
(pour  $m = L, H$ )



### 3. Les consommations énergétiques par produit

Parmi les quatorze catégories de consommation définies pour chacun des deux ménages, deux catégories sont dévolues à la consommation d'énergie: les dépenses en carburants et celles en chauffage et éclairage. Ces deux catégories sont traduites en consommations par type de produits énergétiques. L'ensemble des carburants est identifié comme une consommation de combustible liquide. Le poste éclairage est entièrement identifié comme une consommation d'électricité. Le poste chauffage (hors chauffage électrique) est quant à lui réparti entre trois vecteurs énergétiques: gaz naturel, mazout et charbon. La répartition entre ces trois produits est réalisée par un modèle AIDS dont l'estimation économétrique provient du modèle HERMÈS.

Le prix initial de chaque produit énergétique dépend du prix des composantes d'approvisionnement (productions domestiques et importations) éventuellement grêvé d'une taxe environnementale.

## D. Les secteurs producteurs d'énergie

Les ménages et les entreprises déterminent, en fonction des prix relatifs et du niveau de revenu ou d'activité, une demande pour chacun des cinq produits énergétiques. Cette demande est adressée à deux secteurs producteurs d'énergie: un secteur électrique (*IE*) et un secteur non électrique (*INE*). Cette dichotomie est justifiée par l'importance d'une explicitation précise du parc de production électrique (rôle du nucléaire et des centrales classiques) d'une part, et par le traitement particulier que nécessitent les énergies transformées (combustibles liquides notamment) d'autre part. Le passage des consommations individuelles par produit à la production des deux secteurs énergétiques est présenté dans une première section (ce qu'on dénomme "l'inter-énergétique") suivie par une description de la modélisation plus technologique des deux secteurs producteurs d'énergie.

### 1. L'inter-énergétique

La consommation de chaque produit énergétique est calculée par application des parts budgétaires (déterminées par les modules translog et AIDS) aux postes budgétaires (déterminés par les fonctions de production et les systèmes d'allocation de la consommation privée):

$$EO_j E_i = \frac{DEU_j E_i}{PE_j E_i} \cdot PQE_j \cdot QE_j \quad \text{pour les entreprises} \quad (37)$$

$$ECO E_i = \frac{DECUE_i}{PECOE_i} \cdot PC_k \cdot C_k \quad \text{pour les ménages} \quad (38)$$

où l'indice  $i$  représente le produit énergétique,  $j$  le secteur et  $k$  la catégorie de consommation privée.

Il est à noter que ces deux équations constituent des formes génériques dans la mesure où tous les secteurs ne consomment pas nécessairement tous les produits énergétiques. L'agrégation des consommations par produit fournit la demande finale et intermédiaire, en ce compris les consommations intermédiaires énergétiques des secteurs énergétiques (*Cf. infra*):

$$FDE_i = \sum_j EO_j E_i + ECOE_i + \sum_{j=(E, NE)} QEI_j E_i \quad (i = 1, \dots, 5) \quad (39)$$

La demande pour un produit supplémentaire est introduite ici: le pétrole brut qui est utilisé comme consommation intermédiaire par le secteur non électrique. La demande totale par produit est obtenue en ajoutant, le cas échéant, les exportations. Ces dernières ne sont considérées que pour le charbon, les produits pétroliers raffinés, le gaz naturel et l'électricité, et avec la spécification suivante:

$$XE_i = \Omega_{E_i} \cdot \left( \frac{PQI_{E, NE}}{PWE_i} \right)^{\rho_{E_i}} \quad (40)$$

où  $PQI_{E, NE}$  représente le prix de production du secteur électrique et non électrique (suivant les cas),  $PWE_i$  le prix de référence international en monnaie nationale et  $\rho_{E_i}$  l'élasticité prix des exportations.

La demande totale par produit est satisfaite de manière concurrente par la production domestique (notée  $LDE_i$ ) et les importations (notées  $EMOE_i$ ) par l'entremise d'une fonction fonction CES. Enfin, le passage des livraisons du produit  $i$  à la production des secteurs producteurs ( $E$  pour électrique,  $NE$  pour non électrique) est donné par:

$$QIE = LDE7 \quad \text{et} \quad QINE = LDE2 + LDE4 \quad (41)$$

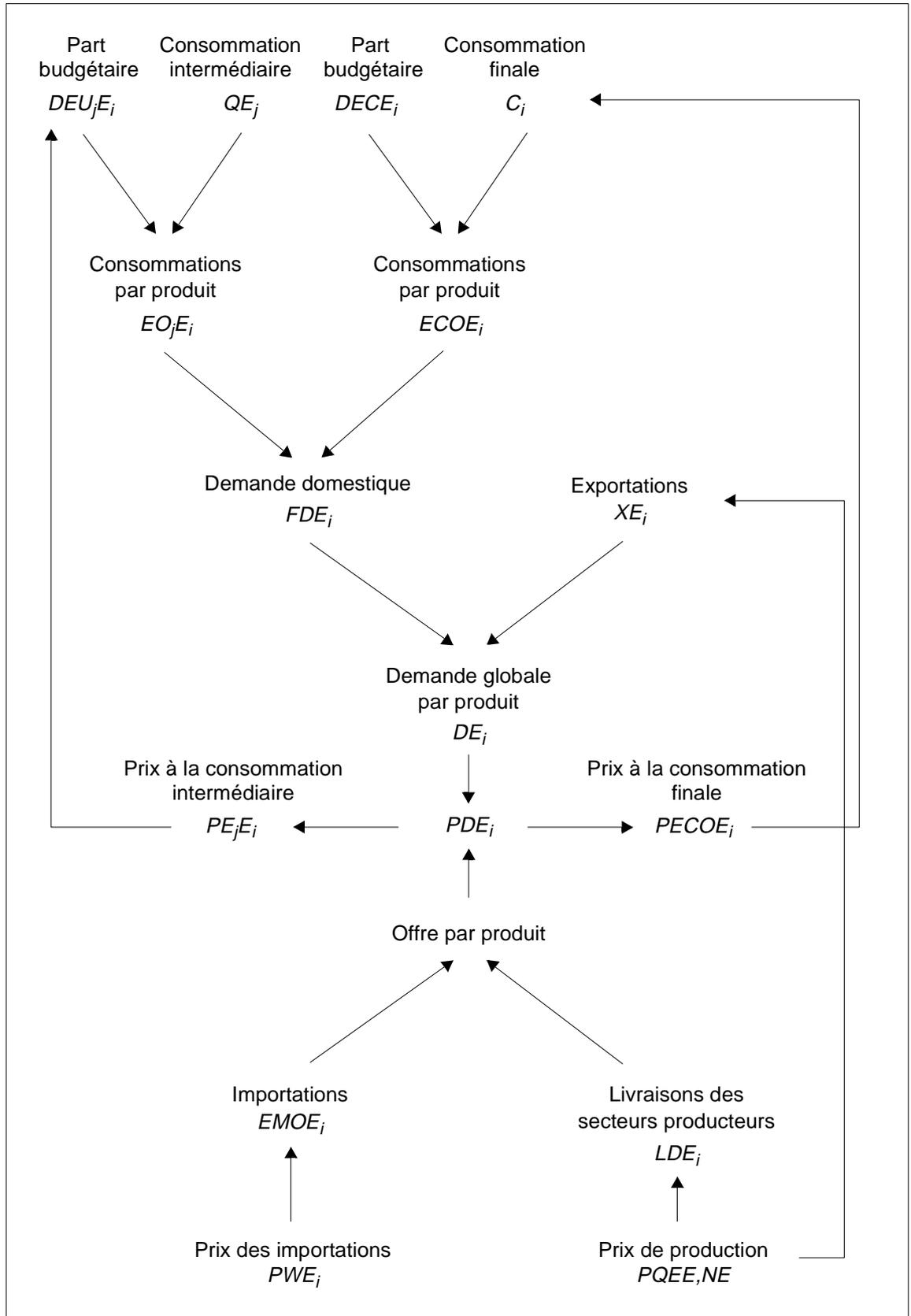
Livraisons et importations sont déterminées par minimisation du coût total des approvisionnements avec:

$$EMOE_i = DE_i \cdot \Phi_i^{\sigma_i - 1} \cdot \left( \frac{\delta_i \cdot PDE_i}{PWE_i} \right)^{\sigma_i} \quad (42)$$

$$LDE_i = DE_i \cdot \Phi_i^{\sigma_i - 1} \cdot \left( \frac{(1 - \delta_i) \cdot PDE_i}{PQI_{E, NE}} \right)^{\sigma_i} \quad (43)$$

Le prix de chaque produit élémentaire est déterminé par le prix de l'offre, c'est-à-dire une pondération du prix des importations et de la production domestique. Ce prix est éventuellement augmenté d'une taxe environnementale (CO<sub>2</sub> et/ou énergie). Les importations totales de chaque secteur énergétique sont déterminées par sommation des importations par produit. Le schéma 5 présente l'organisation du système inter-énergétique tel qu'il vient d'être exposé.

**Schéma 5 - La structure des relations inter-énergétiques**  
*(i = produit énergétique, j = secteur)*



## 2. La production énergétique

### a. Le secteur non électrique

La structure productive du secteur producteur d'énergie non électrique est représentée par le schéma 6. La production est satisfaite par l'usage de capital, de main-d'œuvre, de consommations intermédiaires non énergétiques et énergétiques. Capital et travail sont combinés au sein d'une fonction CES. Les autres facteurs constituent une structure productive fixe.

La demande adressée au secteur producteur d'énergie non électrique consiste uniquement en charbon (indiqué 2) et en produits raffinés (indiqués 4): les demandes pour le gaz (indiqué 5) et le coke (indiqué 1) sont intégralement imputées aux importations. Cette production requiert trois types d'inputs énergétiques: l'électricité (indiquée 7, et qui est adressée au secteur électrique comme livraison à la consommation intermédiaire), la houille (indiquée 3) et le coke. Les livraisons intermédiaires de ces deux derniers produits sont entièrement satisfaites par les importations. L'électricité se différencie des deux autres inputs par le fait qu'elle constitue un facteur de production nécessaire à la mise en œuvre des procédés de production tandis que le coke et la houille représentent des entrées en transformation. Enfin, le coke sert uniquement à la production du charbon, et la houille uniquement à la production des produits raffinés.

Cette caractéristique technologique est traduite en imposant la double contrainte suivante:

$$\frac{QE1NE_1}{QE1NE_0} = \frac{LDE_2}{Q1NE} \quad \text{et} \quad \frac{QE1NE_3}{QE1NE_0} = \frac{LDE_4}{Q1NE} \quad (44)$$

où  $QE1NE_i$  représente la consommation intermédiaire du secteur non électrique en produit  $i$ ,  $Q1NE$  la production du secteur et  $QE1NE_0$  l'agrégat combinant coke et houille (se reporter au schéma 6). On a donc:

$$QE1NE_1 = \frac{LDE_2}{Q1NE} \cdot QE1NE_0 \quad (45)$$

$$QE1NE_3 = \frac{LDE_4}{Q1NE} \cdot QE1NE_0 \quad (46)$$

ce qui, en introduisant la consommation intermédiaire d'électricité ( $QE1NE_7$ ) avec:

$$QE1NE_0 = \alpha \cdot QE1NE \quad (47)$$

$$QE1NE_7 = (1 - \alpha) \cdot QE1NE \quad (48)$$

et en posant  $\gamma_1 = \frac{QE1NE}{Q1NE}$  (part des consommations intermédiaires énergétiques dans la production totale), permet par substitution d'obtenir la consommation de chaque input intermédiaire en fonction de la demande spécifique:

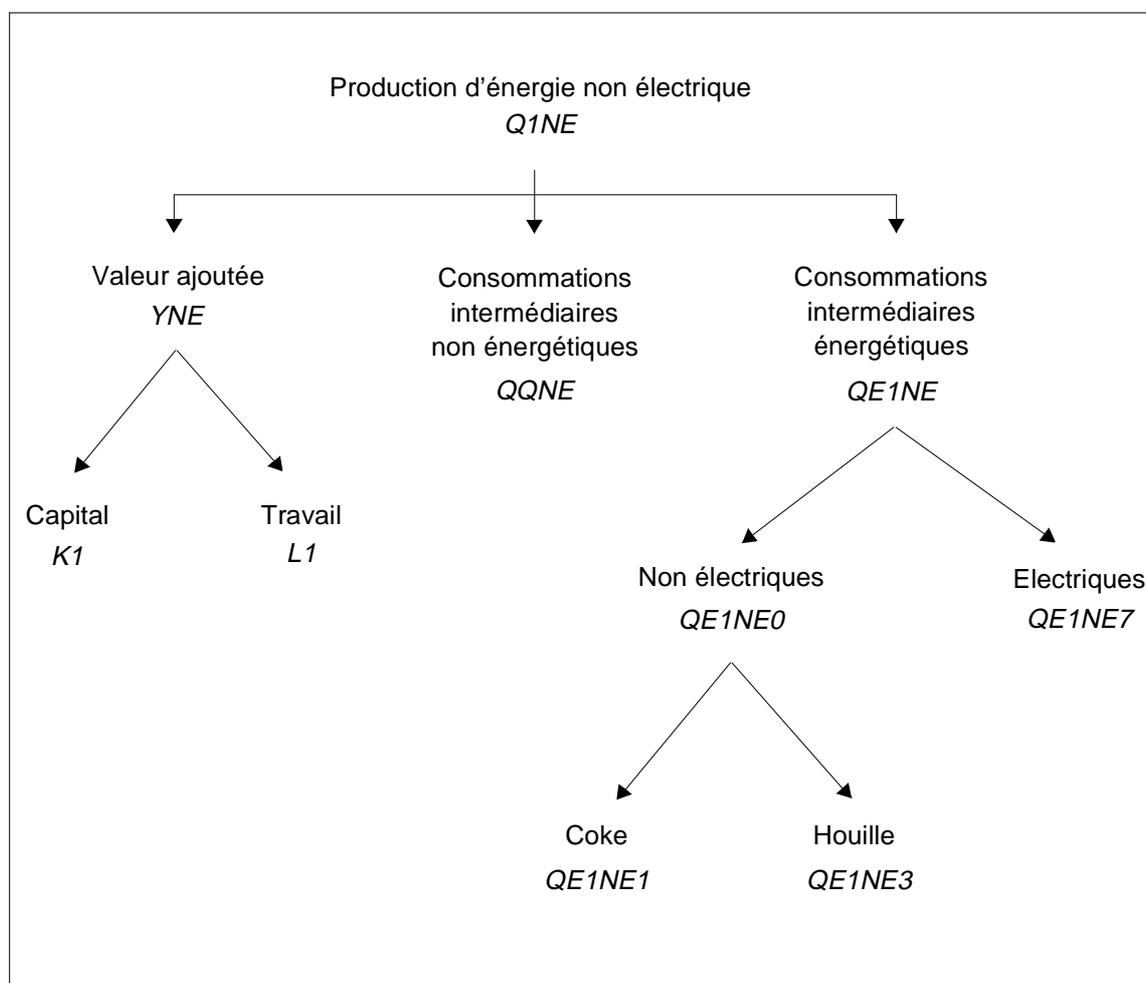
$$QE1NE_1 = \alpha \cdot \gamma_1 \cdot LDE_2 \quad (49)$$

$$QE1NE_3 = \alpha \cdot \gamma_1 \cdot LDE_4 \quad (50)$$

La consommation intermédiaire d'électricité est alors déterminée en tenant compte des quantités utilisées de chaque input et de la consommation intermédiaire totale requise:

$$QE1NE_7 = QE1NE - QE1NE_0 \quad \text{avec} \quad QE1NE_0 = QE1NE_1 + QE1NE_3 \quad (51)$$

### Schéma 6 - La structure du secteur producteur d'énergie non électrique



Au niveau le plus agrégé de la structure de production du secteur, les consommations intermédiaires (énergétiques totales et non énergétiques) ainsi que la valeur ajoutée sont définies comme des proportions constantes du produit:

$$QEINE = \gamma_1 \cdot QINE \quad (52)$$

$$QQNE = \gamma_2 \cdot QINE \quad (53)$$

$$YNE = (1 - \gamma_1 - \gamma_2) \cdot QINE \quad (54)$$

## b. Le secteur électrique

La modélisation du secteur électrique consiste en une description du parc de centrales de manière à capter correctement, d'une part, l'influence d'une variation de la production d'électricité sur les émissions de CO<sub>2</sub> du secteur (qui comptent pour 28 % des émissions nationales) et, d'autre part, l'augmentation du prix de l'électricité suivant le mode de taxation appliqué aux inputs. La production d'électricité (notée  $QEIE$ ) est assurée par quatre grands types de centrales: les centrales thermiques classiques, les centrales au mazout, les centrales au gaz et les centrales nucléaires:

$$QEIE = QEI_1 + QEI_4 + QEI_5 + QEI_N \quad (55)$$

La production des trois derniers types de centrales est exogène et constante. Leur proportion respective dans la production totale d'électricité est représentative de la situation du parc électrique en 1994. Tout supplément de demande d'électricité est donc satisfait par une production accrue de la part des centrales au charbon, ce qui permet d'écrire:

$$QEI_1 = QEIE - \sum_{k \neq 1} QEI_k \quad (56)$$

La consommation intermédiaire de charbon, seule consommation intermédiaire endogène dans le secteur électrique, constitue une demande exclusivement adressée à l'importation.

Le prix hors taxes de l'électricité est alors déterminé en fonction du prix de production des différentes centrales, soit:

$$PQEIE = \frac{\sum_k PQEI_k \cdot QEI_k}{\sum_k QEI_k} \quad (\text{pour } k = 1, 4, 5, N) \quad (57)$$

## E. Le commerce extérieur

Afin d'enrichir les propriétés variantielles du modèle SPOT, l'environnement international est constitué de trois zones géographiques distinctes:

- la zone MEP (*Main European Partners*) regroupe l'Allemagne, la France et les Pays Bas, principaux partenaires commerciaux;
- la zone OEP (*Other European Partners*) regroupe les autres pays de l'Union Européenne<sup>1</sup>;
- la zone ROW (*Rest of the World*) regroupe le reste du Monde.

Le choix de cette désagrégation est guidé par la prédominance des échanges intra-européens: 54 % du commerce extérieur de la Belgique est réalisé avec la zone MEP tandis que les partenaires commerciaux hors Union Européenne n'en représentent que 24 %. Chaque secteur endogène du modèle dispose de fonctions d'exportation et d'importation envers chacune de ces zones géographiques.

### 1. Les fonctions d'exportation

Chaque secteur  $j$  offre un volume d'exportations en direction de la zone  $z$ , noté  $X_j^z$ , suivant une spécification à la Wilcoxon (1988):

$$X_j^z = \Psi_j^z \cdot \left( \frac{PX_j}{EX \cdot PW_j^z} \right)^{\sigma_j^z} \quad \text{pour } z = (MEP, OEP, ROW) \text{ et } j = (1, 2, 3, 4) \quad (58)$$

où  $PX_j$  représente le prix à l'exportation du secteur  $j$ ,  $PW_j^z$  le prix de référence de la zone  $z$  pour le secteur  $j$  (exprimé en devise),  $EX$  le taux de change et  $\sigma_j^z$  l'élasticité prix des exportations. On suppose que les entreprises exportatrices n'appliquent pas de discrimination de prix suivant la zone considérée (il existe donc un seul prix à l'exportation par secteur).

### 2. Les fonctions d'importation

En comparaison avec l'approche traditionnelle des équations d'importations, la présence des trois zones géographiques enrichit nettement les propriétés du modèle, mais au prix d'une complexité plus grande. Le module d'importation repose sur l'interdépendance de deux mécanismes:

- une spécification à la Armington (1969) qui revient à considérer que, pour chaque poste de la demande finale et intermédiaire, production domestique et importations constituent des substituts imparfaits.

---

1. La construction du modèle a été achevée avant la mise en place de l'Union Monétaire: la zone Union Européenne (*OEP*) regroupe donc tous les pays faisant partie de l'Union Économique fin 1998.

- une procédure de minimisation du coût total en importations suivant les prix relatifs prévalant entre les différentes zones sous l'hypothèse de substitution imparfaite.

Ces deux modèles, qui relèvent de la même logique et s'enrichissent mutuellement, peuvent être parfaitement interconnectés à condition de connaître l'origine géographique des importations dues à chaque poste de la demande finale et intermédiaire, et ce au niveau de chaque secteur. On obtiendrait alors un modèle à trois dimensions (le secteur, la zone géographique d'origine, le poste de la demande finale et intermédiaire considéré). En l'absence de telles données, les deux modèles peuvent être connectés en réduisant la dimension à deux, c'est-à-dire en appliquant la minimisation du coût du panier d'importation en fonction des zones géographiques aux importations totales de chaque secteur. Ceci revient à supposer que l'origine géographique des biens importés est la même quel que soit le poste de demande domestique considéré.

Les importations totales d'un secteur  $j$  sont égales à la somme des importations pour la consommation privée, l'investissement, les consommations intermédiaires et, le cas échéant, l'énergie, soit:

$$M_j = MC_j + MI_j + MQ_j + ME_j \quad (59)$$

Chacun de ces postes est déterminé suivant la spécification d'Armington (1969) selon laquelle les agents minimisent le coût du panier formé de biens d'origine domestique et importés. En notant  $DC_j$  et  $MC_j$  ces variables pour la consommation privée, on a:

$$\text{Min } P_{MC_j} \cdot MC_j + P_{DC_j} \cdot DC_j \quad (60)$$

$$\text{s.c. } LC_j = (\mu \cdot DC_j^{\sigma_j} + (1 - \mu) \cdot MC_j^{\sigma_j})^{\frac{1}{\sigma_j}} \quad (61)$$

où  $\sigma_j$  est l'élasticité de substitution entre produits d'origine domestique et importés et  $LC_j$  les livraisons à la consommation privée du secteur  $j$ . Les prix sont exprimés toutes taxes comprises (TVA et/ou accises) à partir du prix de référence mondial et du prix de production. Le respect des conditions du premier ordre permet d'obtenir les fonctions de demandes suivantes:

$$DC_j = LC_j \cdot \left( \mu \cdot \frac{PLC_j}{P_{DC_j}} \right)^{\sigma_j} \quad (62)$$

$$MC_j = LC_j \cdot \left( (1 - \mu) \cdot \frac{PLC_j}{P_{MC_j}} \right)^{\sigma_j} \quad (63)$$

Il est supposé que les productions offertes par chaque zone constituent également des substituts imparfaits. L'importateur cherche à minimiser le coût total de l'approvisionnement en importations pour chaque secteur  $j$ . Si l'on note  $PW_j^z$  le prix de référence de la zone  $z$  en devise pour le produit  $j$  et  $M_j^z$  les importations correspondantes en volume, le programme est:

$$\text{Min } \sum_z PW_j^z \cdot M_j^z \quad \text{pour } j \text{ donné} \quad (64)$$

$$\text{s.c. } M_j = \left( \sum_z \gamma_j^z \cdot (M_j^z)^{\sigma_j} \right)^{\frac{1}{\sigma_j}} \quad \text{avec } \sum_z \gamma_j^z = 1 \quad (65)$$

Le coefficient  $\sigma_j^z$  représente l'élasticité de substitution entre les importations des trois zones. Du fait du recours à une fonction CES, cette élasticité est identique, pour un secteur donné, entre les trois zones. Elle est également équivalente à l'élasticité-prix de la demande d'importation, ce qui facilitera le calibrage. Le volume d'importation en provenance de chacune des trois zones est alors défini par:

$$M_j^z = M_j \cdot \left( \frac{\gamma_j \cdot PM_j}{PW_j^z} \right)^{\sigma_j} \quad (66)$$

Le prix de référence  $PW_j^z$  est exogène.

La complétion du module d'importation nécessite de relier ces deux sous-systèmes. On constate en effet que, pour le moment, aucune connection n'est établie entre le prix des importations par zone ( $PW_j^z$ ) et le prix par secteur ( $PM_j$ ). En l'absence d'explicitation des zones d'approvisionnement, ce dernier serait déterminé de la manière habituelle, c'est-à-dire, en reprenant les notations précédentes, à partir de ces différentes composantes:

$$PM_j = \frac{P_{MC_j} \cdot MC_j + P_{MI_j} \cdot MI_j + P_{MQ_j} \cdot MQ_j}{MC_j + MI_j + MQ_j} \quad (67)$$

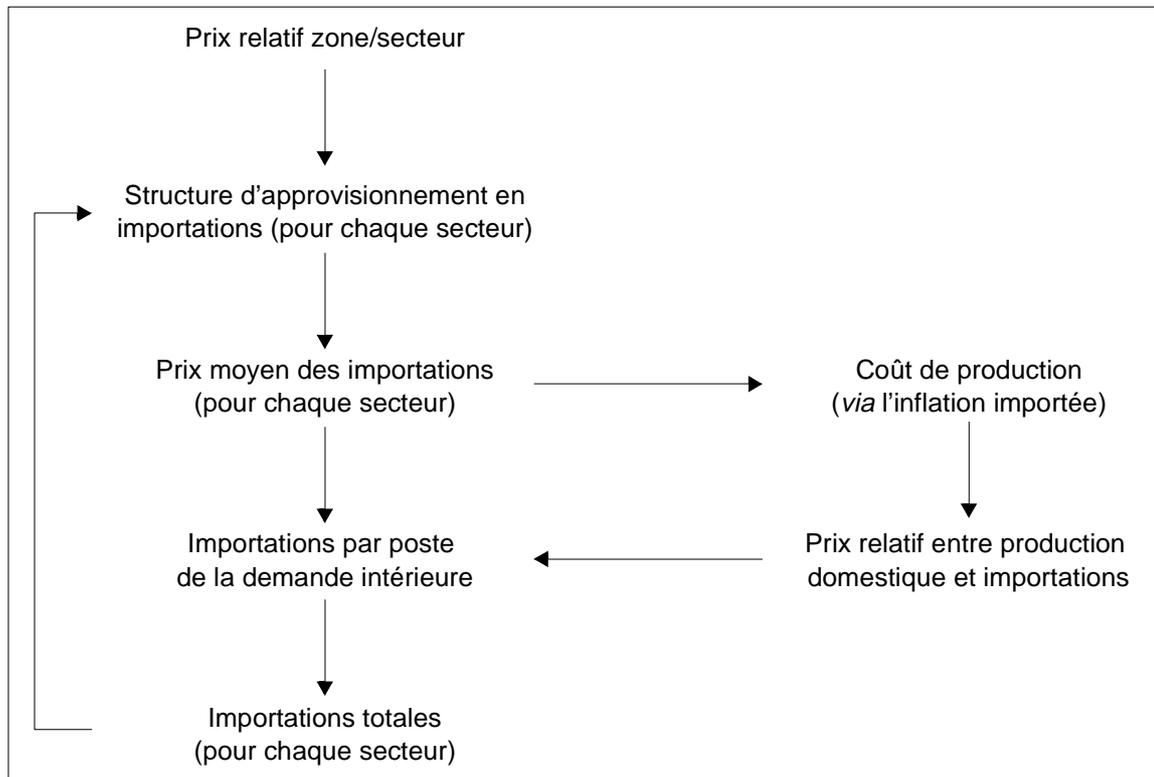
Néanmoins, ce prix de référence sectoriel est également fonction de la structure d'approvisionnement déterminée de manière endogène; on peut donc l'exprimer comme un  $PW_j$  déterminé par:

$$PW_j = \sum_z \frac{PW_j^z \cdot M_j^z}{M_j} \quad \text{pour } j \text{ donné} \quad (68)$$

La réduction de la dimension du module, *via* le respect de l'hypothèse d'origine indifférenciée quel que soit le poste de la demande intérieure, permet de substituer  $PM_j$  à  $PW_j$ . On a alors un lien formel entre la structure régionale des importations et le prix moyen des importations de chaque secteur; par l'équation (68),  $PW_j$  devient endogène et fonction des prix zone/secteur (les  $PW_j^z$  exogènes) et de la structure d'approvisionnement. Le prix des importations pour chaque poste de la demande finale et intermédiaire est ensuite déterminé par ce prix sectoriel.

Le schéma 7 illustre le fonctionnement du module d'importations et l'interaction entre les deux sous-systèmes. Une altération du prix relatif de l'une des zones et/ou secteur se traduit par une réorientation géographique initiale de l'approvisionnement en importations. La modification du prix sectoriel moyen est alors déterminée et affecte la demande d'importations par poste de la demande finale et intermédiaire intérieure en fonction des prix des livraisons domestiques concurrentes. La variation des importations agrégées par secteur est alors calculée et rétroagit sur la demande par zone (avec une élasticité unitaire). Un bouclage supplémentaire survient à travers la modification des prix de production engendrée par les prix des consommations intermédiaires et de l'énergie importées. Tous ces effets sont captés à l'échelon sectoriel. On constate que l'intérêt du module réside non seulement dans l'appréhension des substitutions entre les zones géographiques par secteur d'activité mais également dans la description sectorielle de l'origine des importations. Cette dernière caractéristique permettra d'évaluer les impacts d'une hausse des prix énergétiques (par exemple) de manière structurellement plus fine que ne le permettrait un modèle avec un prix mondial agrégé par produit et par zone, comme c'est souvent le cas.

**Schéma 7 - La structure du module d'importation par zone géographique**



## F. État, fiscalité et finances publiques

La modélisation des finances publiques et de la fiscalité a été motivée par un double principe: (i) rendre compte des distorsions de fiscalité existantes, (ii) alléger le bloc des finances publiques pour éviter l'enchaînement d'identités à faible retombée macroéconomique.

Le premier principe est de toute première importance puisqu'il permet de reproduire comme simulation de base un optimum de second rang. La présence des distorsions initiales modifie de manière importante l'impact des mouvements de fiscalité réalisés en variante, comme l'ont montré entre-autres Goulder (1992) ou Parry (1995). Un redéploiement fiscal peut s'interpréter comme le passage d'un optimum de second rang à un autre, moins distorsif et susceptible d'être générateur de bien-être supplémentaire. Le second principe résulte de la complexité des finances publiques belges qui appelle parfois des raffinements excessifs sans retour sur les comportements macro-sectoriels. Une certaine simplification du compte des finances publiques a donc été opérée. Notamment, dans la version actuelle du modèle, l'impôt des sociétés n'est pas présent; du point de vue théorique, il nécessiterait, en outre, des explorations supplémentaires (voir Shoven et Whalley (1992), page 179 et suivantes).

Il est important de relever que, le modèle fonctionnant toujours à l'équilibre budgétaire, la modélisation des recettes fiscales et parafiscales peut exercer une influence non négligeable sur les effets macroéconomiques d'une mesure. Nous verrons en effet qu'une réduction des cotisations patronales ciblée sur les travailleurs "bas salaires" se traduit par un manque à gagner budgétaire important pour la Sécurité sociale. Ce résultat ne peut être mis en évidence que par une modélisation explicite des cotisations payées par chaque catégorie de main-d'œuvre. La simplification adoptée pour les finances publiques est donc essentiellement guidée par le choix des domaines d'analyse couverts par le modèle.

### 1. Les dépenses

Dans les modèles d'équilibre général appliqués, l'activité de l'État est généralement spécifiée de deux manières différentes (Beaumais et Schubert, 1996). La première famille de solutions retient la notion d'utilité étatique. Cette représentation des préférences collectives intervient explicitement comme contrainte lors de la répartition optimale des dépenses de l'État. En pratique, ce choix apparaît simplement comme un moyen d'obtenir des clés d'allocation des dépenses qui ne soient pas triviales (McKibbin et Wilcoxon, 1992). La seconde famille de solutions consiste à retenir une matrice de dépenses correspondant généralement à l'année de calibrage et à l'appliquer telle quelle lors des simulations (Goulder, 1992). C'est la seconde solution qui a été retenue dans le modèle SPOT. Les recettes s'écrivent d'après la structure des prélèvements fiscaux et parafiscaux décrite l'année de base. Emploi et salaires publics sont exogènes.

## 2. Les recettes

Les cotisations sociales employeurs sont calculées par type d'emploi  $m$  pour chaque secteur  $j$  par:

$$CSE_{mj} = TCSE_m \cdot W_m \cdot L_{mj} \quad (69)$$

où  $TCSE_m$  est le taux de cotisation patronal à la Sécurité sociale,  $W_m$  le salaire par tête pour un travailleur de type  $m$  ( $m = L, H$ ) et  $L_{mj}$  l'emploi correspondant dans le secteur  $j$ . À noter que, pour chaque catégorie de main-d'œuvre, le salaire net est identique quel que soit le secteur. Les cotisations peuvent être sommées soit par secteur, soit par catégorie de main-d'œuvre.

Les cotisations personnelles à la Sécurité sociale sont déterminées pour chacun des deux ménages en appliquant un taux de cotisation ( $TCSS$ ) au revenu avant impôt:

$$CSS_m = TCSS \cdot W_m \cdot L_m \quad \text{pour } m = L, H \quad (70)$$

où  $W_m$  est le taux de salaire nominal par tête de la catégorie  $m$  et  $L_m$  l'emploi salarié correspondant. Le taux de cotisation est indifférencié quelle que soit la catégorie de ménage.

L'impôt sur le revenu des personnes physiques est déterminé à partir du revenu net des cotisations personnelles à la Sécurité sociale. Le taux d'imposition ( $TDTH$ ) est différent pour chaque ménage de manière à refléter la progressivité des barèmes (voir la section dévolue au calibrage du modèle). L'impôt sur le revenu acquitté par le ménage  $m$  est déterminé par:

$$DTH_m = TDTH_m \cdot (W_m \cdot L_m - CSS_m) \quad (71)$$

Les transferts aux ménages (prestations sociales) sont traités de manière agrégée. Ils permettent d'égaliser le budget de l'État et sont définis par:

$$TR = \sum_m CSE_m + \sum_m CSS_m \quad (72)$$

La répartition de ces transferts entre chaque type de ménage est réalisée de manière exogène au prorata de leur part dans l'emploi total l'année de base:

$$TR_m = \left( \frac{L_m}{LT} \right) \cdot TR \quad (73)$$

Enfin, la rémunération de l'épargne donne lieu à la recette fiscale suivante:

$$RS = r \cdot T \cdot (S_L + S_H) \quad (74)$$

Sous une écriture agrégée, la contrainte budgétaire de l'État s'exprime de la manière suivante:

$$IT + AC + CSS + CSE + DTH + RS = YG + TR \quad (75)$$

où  $YG$  représente la consommation publique, essentiellement composée des salaires et traitements et de l'investissement:

$$YG = W_5 \cdot L_5 + PI_5 \cdot I_5 \quad (76)$$

Seul l'investissement public est endogène: il s'ajuste de manière à vérifier *ex post* la contrainte budgétaire de l'État.

## G. Les échanges intersectoriels

À chaque poste de la demande finale et intermédiaire correspond des livraisons sectorielles déterminées soit par recours à des matrices de transition (cas des consommations intermédiaires non énergétiques), soit par minimisation des coûts (cas de l'investissement). Le produit sectoriel est déterminé par sommation des livraisons adressées au secteur  $j$  pour la consommation privée ( $LC_j$ ), les consommations intermédiaires non énergétiques ( $LQQ_j$ ) et énergétiques ( $LQE_j$ ), l'investissement ( $LQI_j$ ) ainsi que les exportations ( $X_j$ ):

$$Q_j = LC_j + LQQ_j + LQE_j + LQI_j + X_j \quad (77)$$

Les livraisons de chaque secteur à la consommation privée et aux consommations intermédiaires non énergétiques sont déterminées sur base du Tableau Entrées-Sorties et du Tableau d'Échanges Inter-industriels. On a:

$$LC_j = \sum_i \alpha_{i,j} \cdot C_i \quad \text{avec} \quad \sum_i \alpha_{i,j} = 1 \quad (78)$$

$$LQQ_j = \sum_i \beta_{i,j} \cdot QQ_i \quad \text{avec} \quad \sum_i \beta_{i,j} = 1 \quad (79)$$

Pour la consommation privée par exemple, ces livraisons sont ensuite réparties entre importations ( $LCM_j$ ) et production domestique ( $LCD_j$ ) par une spécification à la Armington (1969). Le prix des livraisons est donné par:

$$PLC_j = \frac{PLCM_j \cdot LCM_j + PLCD_j \cdot LCD_j}{LC_j} \quad (80)$$

Les prix élémentaires sont fonction des prix à l'importation (tributaires de la ventilation géographique des approvisionnements) ou des prix de production domestiques augmentés des accises éventuelles:

$$PLCM_j = EX \cdot PW_j \quad (81)$$

$$PLCD_j = PQ_j + ACC_j \quad (82)$$

Le prix des consommations finales et intermédiaires non énergétiques est alors défini par agrégation des prix à la livraison en inversant la matrice de transition. Par exemple, on a pour la consommation privée, en tenant compte de la TVA:

$$PC_i = \left( \sum_j \alpha_{i,j} \cdot PLC_j \right) \cdot (1 + TIT_i) \quad (83)$$

La consommation d'énergie (finale et intermédiaire) ne s'adresse qu'au secteur énergétique. L'investissement en capital s'adresse aux secteurs 3 et 4 (autres industries et services marchands). L'origine des livraisons entre ces deux secteurs s'opère par minimisation du coût, conformément aux spécifications présentées ci-dessus.

## H. Les émissions de gaz à effet de serre

SPOT modélise les émissions anthropiques des trois principaux gaz à effet de serre: le dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>), le méthane (CH<sub>4</sub>) et le protoxyde d'azote (N<sub>2</sub>O). Chacun de ces gaz se caractérise par des sources particulières qui sont plus ou moins bien représentées au sein du modèle. De ces trois gaz, seul le CO<sub>2</sub> peut être modélisé de manière parfaitement satisfaisante car il résulte quasi-exclusivement de la combustion des énergies fossiles; pour les deux autres gaz, la nature économique du modèle et son niveau d'agrégation se traduisent par un certain nombre de simplifications. Cette modélisation se justifie néanmoins par la volonté de ne pas limiter l'analyse au seul CO<sub>2</sub>. Le modèle développé ici, grâce au détail qu'il offre sur les comportements énergétiques, permet d'appréhender avec précision les émissions d'origine énergétique, mais certaines autres sources (liées par exemple à la consommation privée) peuvent également être reproduites assez fidèlement. Complainville et Martins (1994) fournissent un exemple de cette approche typiquement macro-sectorielle appliquée au modèle GREEN de l'OCDE.

### 1. Le dioxyde de carbone

La quasi-totalité des émissions de CO<sub>2</sub> provient de la combustion d'énergies fossiles, y compris à des fins de production énergétique. Le modèle SPOT décrit les consommations énergétiques pour cinq produits et le calcul des niveaux d'émissions passe simplement par l'application de coefficients d'émission. Ces coefficients sont indépendants de la technologie utilisée et reflètent le contenu en carbone du combustible. Un paramètre d'échelle permet le passage du coefficient d'émission exprimé en termes physiques (tonnes de CO<sub>2</sub> par Gigajoule consommée) à la dimension du modèle (francs de 1994). Les coefficients d'émission retenus sont conformes aux directives de l'IPCC. Les émissions de CO<sub>2</sub> du secteur  $j$  imputables au produit  $i$  sont données par:

$$\text{CO2}_{j,i} = \theta_i^{\text{CO2}} \cdot \text{EO}_j \text{E}_i \quad (84)$$

où le paramètre  $\theta$  incorpore le coefficient d'émission spécifique au produit  $i$  et un paramètre d'échelle déterminé par calibrage.

## 2. Le méthane

Le calcul des émissions de méthane est toujours opéré au moyen de méthodes *bottom up* dans lesquelles des facteurs d'émission empiriques ou semi-empiriques sont appliqués. Les sources principales de méthane en Belgique sont l'agriculture (essentiellement l'élevage, c'est-à-dire la méthanogénèse provoquée par les ruminants et l'utilisation d'engrais d'origine animale), la mise en décharge des déchets et les pertes inhérentes à la distribution du gaz naturel. Les méthodes appliquées pour l'évaluation de ces émissions sont entachées d'un degré d'incertitude élevé: la marge d'erreur atteint 30 %. Elle résulte des incertitudes relatives aux facteurs d'émission et à la définition des sources. La modélisation des émissions de méthane dans SPOT est menée en fonction de la source considérée: combustion énergétique, procédés de production industriels, agriculture et déchets.

Les sources énergétiques sont appréhendées dans le modèle à travers les consommations d'énergie par produit et par agent. Un facteur d'émission est déterminé sur base des inventaires proposés dans la Communication Nationale pour chacun des produits énergétiques et chacun des agents. La manière dont ces émissions sont calculées permet de les associer par type de combustible (solides, liquides et gaz).

Les procédés industriels entraînant des émissions de méthane sont exclusivement du ressort de la sidérurgie. Cette activité fait partie du secteur des biens intermédiaires. Les émissions imputables sont donc directement reliées à la production du secteur. À noter qu'une information complémentaire sur les caractéristiques des procédés de production concernés pourrait éventuellement amener à introduire une élasticité différente de l'unité entre la production du secteur et les rejets de méthane (déterminée ou non sur base économétrique). L'activité du secteur agricole est considérée comme exogène dans le modèle SPOT, les rejets de méthane liés à cette activité le sont également.

La quasi-totalité (99,4 %) des rejets de méthane liés à la production de déchets provient directement des décharges. Le reste provient de l'incinération. Les déchets biodégradables sont, à long terme, le résultat direct de la consommation finale de certaines catégories de produits: biens d'alimentation, restaurants et cafés, une partie des articles d'habillement (tous les tissus non synthétiques)... Les catégories correspondantes sont explicitement modélisées au sein des structures de consommation des deux ménages dans le modèle SPOT (catégories *C1*, *C4*, *C11* et *C12*). À l'instar du traitement des rejets liés aux procédés industriels, une élasticité distincte entre les catégories et différente de l'unité pourrait éventuellement être appliquée.

L'absence de modélisation du secteur agricole se traduit, dans le cas du méthane, par une endogénéisation seulement partielle des émissions totales (environ 40 %).

### 3. Le protoxyde d'azote

Les émissions de protoxyde d'azote sont calculées sur base de la méthode Corinair. Les sources principales sont l'agriculture (sols agricoles), l'industrie chimique (production d'acide citrique) et la combustion énergétique. Le degré d'incertitude des facteurs d'émission utilisés pour déterminer les émissions de  $N_2O$  est encore plus grand que celui lié au calcul des émissions de méthane: l'incertitude globale atteint au moins 50 %. Les données détaillées fournies par la Communication Nationale permettent néanmoins une modélisation dans le modèle SPOT peu ou prou similaire à ce qui est réalisé pour le méthane. Par contre, plus de 65 % des rejets de  $N_2O$  sont endogénéisés grâce à une contribution plus importante des sources énergétiques. La modélisation des émissions de méthane dans SPOT est menée, à l'instar du méthane, en fonction de la source considérée: combustion énergétique, procédés de production industriels, agriculture et déchets.

Les sources énergétiques sont appréhendées par les consommations d'énergie par produit et par agent. Le facteur d'émission est déterminé sur base des inventaires proposés dans la Communication Nationale. Les rejets de  $N_2O$  inhérents à la consommation du produit  $i$  par l'agent  $j$  sont calculés comme une fonction de la consommation par produit énergétique, où le facteur technique est fonction à la fois du vecteur énergétique et du secteur de manière à incorporer les différences de procédés technologiques.

Comme pour le méthane, les procédés industriels entraînant des émissions de protoxyde d'azote sont exclusivement du ressort de la sidérurgie. Cette activité fait partie du secteur des biens intermédiaires. Les émissions imputables sont donc directement reliées à la production du secteur. Les émissions sont liées aux catégories de la consommation privée correspondantes (*C1, C4, C11 et C12*).

### 4. L'agrégation des émissions en équivalent- $CO_2$

Les émissions de ces trois gaz à effet de serre sont agrégées en utilisant leur indice de réchauffement à l'horizon de 100 ans préconisés par le GIEC. On obtient alors des émissions de gaz à effet de serre exprimées en équivalent- $CO_2$ , ce qui permet d'évaluer l'impact de la réduction des émissions des trois gaz en terme de contribution globale à l'effet de serre additionnel.

## I. Les permis d'émission négociables

La manière dont le marché de permis négociables est modélisé dans SPOT repose sur la correspondance, en concurrence parfaite, entre le prix du permis librement négocié et le niveau de la taxe qui permettrait d'atteindre le niveau d'émission fixé comme plafond. Burniaux *et al.* (1992) utilisent cette propriété dans le modèle GREEN, ce qui leur permet de simuler le modèle tantôt avec des contraintes sur les niveaux d'émissions, tantôt en introduisant une taxe; dans le premier cas, le marché de permis négociables intervient dès que des échanges de permis sont autorisés entre les agents.

Cette approche duale est à opposer à l'approche primale qui consiste à incorporer explicitement au sein de la fonction de production les permis d'émission; voir par exemple McKibbin et Wilcoxon (1992). Une description des protocoles de modélisation pour ces deux approches est proposée par Beaumais (1995).

### 1. Modification des frontières de prix

Le fonctionnement du marché de permis négociables repose sur trois composantes:

- définition du plafond d'émission global;
- répartition des quotas de permis entre les secteurs;
- établissement du prix du permis qui permette de réaliser l'objectif fixé en autorisant les échanges de titres entre les agents.

L'attribution initiale de titres (quotas d'émissions) modifie cependant le calcul des frontières de prix. Considérons le programme d'une entreprise représentative; il s'écrit de la manière suivante:

$$\text{Max } P_{Q_j} \cdot Q_j - P_{LL} \cdot LL_j - P_{LH} \cdot LH_j - P_K \cdot K_j - P_{QE} \cdot QE_j - P_{QQ} \cdot QQ_j$$

sous contrainte de:

$$Q_j = \left( \alpha_1 \cdot LL_j^{1-\frac{1}{\rho_j}} + \alpha_2 \cdot LH_j^{1-\frac{1}{\rho_j}} + \alpha_3 \cdot K_j^{1-\frac{1}{\rho_j}} + \alpha_4 \cdot QE_j^{1-\frac{1}{\rho_j}} + \alpha_5 \cdot QQ_j^{1-\frac{1}{\rho_j}} \right)^{\frac{\rho_j}{\rho_j-1}}$$

où  $LL$  représente l'emploi "bas salaires",  $LH$  l'emploi "autres salaires",  $K$  le stock de capital,  $QE$  et  $QQ$  les consommations intermédiaires énergétiques et non énergétiques. On a  $\sum_i \alpha_i = 1$ .

En présence d'un marché de permis négociables, cette entreprise dispose d'une dotation exogène en permis d'émissions: cette dotation initiale autorise l'émission d'une quantité notée  $\overline{CO_2}_j$  de dioxyde de carbone. Si  $P_{PN}$  représente le prix du permis négociable et  $CO_2_j$  les émissions de  $CO_2$  de l'entreprise, ce programme devient:

$$\begin{aligned} \text{Max } & P_{Q_j} \cdot Q_j - P_{LL} \cdot LL_j - P_{LH} \cdot LH_j - P_K \cdot K_j - P_{QE} \cdot QE_j \\ & - P_{QQ} \cdot QQ_j - P_{PN} \cdot (CO_{2_j} - \overline{CO}_{2_j}) \end{aligned}$$

La frontière des prix s'écrit alors de la manière suivante:

$$\begin{aligned} P_{Q_j} \cdot Q_j = & P_{LL} \cdot LL_j + P_{LH} \cdot LH_j + P_K \cdot K_j + P_{QE} \\ & + QE_j + P_{QQ} \cdot QQ_j + P_{PN} \cdot (CO_{2_j} - \overline{CO}_{2_j}) \end{aligned}$$

Toutes choses égales par ailleurs, la dotation initiale en droits allège donc le coût de la réduction des émissions de dioxyde de carbone. La somme retirée de la vente ou de l'achat de permis d'émission est donnée par:

$$F_j = P_{PN} \cdot (CO_{2_j} - \overline{CO}_{2_j}) \quad (85)$$

La condition d'équilibre sur le marché implique que le prix du permis d'émission se fixe, par négociation, à un niveau tel que la demande en provenance des entreprises est égale à l'offre exogène fournie par l'État, offre qui correspond aux dotations initiales (voir Mensbrugghe, 1994). La somme des flux échangés entre les entreprises est donc nécessairement égale à zéro, et le plafond global d'émissions fixé par l'état est donc nécessairement respecté:

$$\sum_j F_j = 0 \quad \Leftrightarrow \quad \sum_j CO_{2_j} = \sum_j \overline{CO}_{2_j} \quad (86)$$

SPOT modélise les consommations intermédiaires d'énergie pour  $k$  produits énergétiques ( $k$  est variable selon le secteur considéré) avec des fonctions trans-log. La frontière de prix qui est modifiée est donc celle des consommations intermédiaires énergétiques à l'échelon le plus bas de l'arborescence des fonctions CES:

$$P_{QE_j} = \frac{\sum_{k=1}^n PE_j E_k \cdot EO_j E_k - P_{PN} \cdot (CO_{2_j} - \overline{CO}_{2_j})}{\sum_{k=1}^n EO_j E_k} \quad (87)$$

Le protocole de simulation du marché de permis négociables dans le modèle SPOT est le suivant:

- fixer un objectif global de réduction des émissions  $\overline{CO}_2$  ;
- définir les dotations initiales en permis de manière à respecter cet objectif global; on doit avoir  $\sum_j \overline{CO}_{2_j} = \overline{CO}_2$ ;
- calculer par simulation du modèle le prix du permis qui permette d'atteindre l'objectif global.

## 2. L'algorithme de résolution

Le modèle SPOT est résolu sous le logiciel IODE qui n'autorise pas l'imposition explicite de contraintes. La simulation du marché de permis négociables est donc réalisée à l'aide d'un programme externe rédigé en LEC (langage utilisé sous IODE). Ce programme exécute le processus de tâtonnement qui permet d'obtenir le prix d'équilibre du permis négociable, soit  $P_{PN}$  tel que  $\sum_j F_j = 0$ .

L'algorithme de Newton-Raphson est utilisé: il permet en effet une convergence quadratique plus rapide qu'un simple tâtonnement linéaire. En outre, la convergence est assurée à proximité de la solution  $f(x) = 0$  par une méthode de *bracketing* (méthode de la bisection) plus sûre que l'algorithme de Newton-Raphson (voir Press *et al.*, 1992).

Considérons que la fonction  $f(x)$  représente la somme des flux d'échange de permis négociables; c'est la solution fournie par le modèle SPOT où  $x$  représente le prix du permis. La méthode de Newton-Raphson évalue la valeur de la fonction  $f(x)$  et de sa dérivée première  $f'(x)$  au point  $x$  pour déterminer la valeur de  $x$  à l'itération  $i+1$ :

$$x_{i+1} = x_i - \frac{f(x_i)}{f'(x_i)} \quad (88)$$

La dérivée est approximée par:

$$f'(x) \approx \frac{f(x+h) - f(x)}{h} \quad (89)$$

où  $h$  représente le pas du processus de convergence. Une fois la cible dépassée, c'est-à-dire dès que  $f(x) < 0$ , la convergence est assurée par la méthode de la bisection qui consiste à réduire de moitié l'intervalle entre  $x_{i-1}$  et  $x_i$  jusqu'au seuil de convergence fixé:

$$x_{i+1} = \frac{x_{i-1} + x_i}{2} \quad (90)$$

La convergence du système n'est malheureusement pas triviale dans la mesure où: (i) la forme de la fonction représentative du modèle complet est inconnue (quelques expérimentations ont révélé que la fonction était non monotone), (ii) la valeur initiale du permis influence fortement la capacité de l'algorithme à trouver la solution correcte.

## J. Calcul des variations d'utilité

La variation de bien-être est exprimée en revenu équivalent. Le revenu équivalent représente le montant (en francs de 1994) nécessaire pour compenser la variation du bien-être des consommateurs induite par la mesure simulée. Si cette variation de bien-être est négative, par exemple, le revenu équivalent indique la somme qu'il faudrait donner aux ménages pour que la politique simulée ne dégrade pas leur utilité. Cet indicateur est donné par la formule suivante, où l'exposant 0 représente l'équilibre de référence et l'indice 1 l'équilibre alternatif (la variante):

$$EV = E(U^1, P^0) - E(U^0, P^0) \quad (91)$$

Le revenu équivalent représente le montant en francs permettant de maintenir le niveau d'utilité de référence  $U^0$  avec le vecteur de prix  $P^0$ . Shoven et Whalley (1992) montrent qu'il peut également être exprimé directement en fonction de la variation d'utilité et du revenu de référence  $I^0$ :

$$EV = \frac{U^1 - U^0}{U^0} \cdot I^0 \quad (92)$$

Le modèle SPOT distingue deux ménages. L'épineuse question de l'agrégation de leurs fonctions d'utilité est facilement résolue en passant par le calcul de leurs revenus équivalents. Le revenu équivalent global est:

$$EV = EV_L + EV_H \quad (93)$$

et la variation de bien-être collectif, exprimée par rapport au revenu de référence, noté  $YDH^0$ , est donc donnée par:

$$EV = \frac{\left( \frac{U^1 - U^0}{U^0} \cdot I^0 \right)_L + \left( \frac{U^1 - U^0}{U^0} \cdot I^0 \right)_H}{YDH_L^0 + YDH_H^0} \quad (94)$$

Cette expression revient à accorder implicitement le même poids à une variation d'utilité des travailleurs à bas salaires et des autres travailleurs. Autrement dit, il n'est pas spécifié de fonction d'utilité collective intégrant un terme d'aversion pour l'iniquité (comme par exemple chez Jorgenson *et al.*, 1992).

## K. Règle de bouclage et conditions d'équilibre

Le modèle détermine un vecteur de prix tel que les conditions d'équilibre sont simultanément réunies sur l'ensemble des marchés. Les conditions d'équilibre sur chaque marché sont les suivantes:

- sur le marché des biens et services, l'équilibre est assuré en volume et en valeur par l'équilibre ressources-emplois et la frontière des prix de facteurs:

$$Q_j - M_j = LC_j + LI_j + LQQ_j + LQE_j + X_j \quad (\forall j)$$

$$PQ_j \cdot Q_j = PLL \cdot LL_j + PLH \cdot LH_j + PK \cdot K_j + PQQ_j \cdot QQ_j + PQE_j \cdot QE_j \quad (\forall j)$$

- sur le marché du travail, l'offre de main-d'œuvre est égale à la demande; en notant  $L_{MAX}$  la dotation en temps et  $LO$  le loisir, on a:

$$\sum_j L_j = \sum_m (L_{MAX} - LO_m) \quad (\forall j, \forall m) \quad (95)$$

- sur le marché du capital, l'investissement est égal à l'épargne totale (domestique et étrangère):

$$\sum_m S_m + \sum_j (PX_j \cdot X_j - PM_j \cdot M_j) = PI \cdot \sum_j I_j \quad (\forall j, \forall m) \quad (96)$$

La règle de bouclage retenue dans le modèle repose sur l'ajustement du différentiel d'intérêt avec le reste du monde en fonction des modifications de la capacité de financement de l'économie, ce qui correspond à un bouclage de type classique.





## Étalonnage et calibrage du modèle

Le calibrage peut se définir comme la détermination de paramètres et de coefficients de manière à reconstituer une situation d'équilibre. Le calibrage est ce qui différencie le plus clairement un modèle économétrique d'un modèle d'équilibre général appliqué, mais cette différence n'est pas à considérer comme une opposition. Le recours au calibrage se justifie à la fois du point de vue théorique et pratique et offre, par rapport aux méthodes économétriques, des avantages méthodologiques indéniables.

Le fait de "calibrer" un modèle, autrement dit de le construire suivant la méthodologie détaillée dans cette partie, offre des caractéristiques et ouvre des possibilités de modélisation particulières en comparaison avec d'autres méthodes de construction de modèles. Ces caractéristiques et possibilités méritent d'être évoquées car elles influencent fortement la manière d'exploiter le modèle et ses résultats; ce sera l'objet d'une première section. L'élaboration de la banque de données sollicitée pour la construction du modèle SPOT sera ensuite exposée, ainsi que les coefficients issus de l'économétrie. L'économétrie occupe une place relativement importante dans SPOT: certains des coefficients sont tirés de la littérature, mais d'autres ont été estimés spécialement pour le modèle. Enfin, la méthodologie de calibrage à proprement parler sera exposée.

### A. Qu'est-ce que le calibrage?

En suivant Schubert et Letournel (1991), on peut schématiquement décomposer le calibrage en trois étapes: la construction de la banque de données, le choix des élasticités, le calcul des autres paramètres du modèle.

La première phase soulève des difficultés variables suivant le type de modèle. À côté des grandes variables macroéconomiques, il peut être nécessaire de recueillir des données extrêmement fines concernant, par exemple, la fiscalité par catégorie de ménage. Le recours à des données d'enquête ou microéconomiques se justifie donc souvent dans la mesure où cela permet d'accroître considérablement la pertinence du modèle. Enfin, la mise en cohérence de l'ensemble de ces données est assurée par l'écriture de la Matrice de Comptabilité Sociale qui incorpore Tableau Entrées-Sorties et comptes d'agents.

La seconde phase consiste à imposer certaines élasticités ou coefficients techniques. En général, le modèle ne fait pas l'objet d'estimations économétriques (le contre-exemple le plus célèbre est le modèle de Jorgenson et Wilcoxon construit sur base de systèmes translog estimés par l'économétrie): on détermine donc les élasticités en s'inspirant des études économétriques existantes.

Une fois ces coefficients posés, le modèle est ré-écrit de manière à calculer les paramètres permettant de vérifier l'équilibre, ce qui constitue la troisième phase. Il existe donc un modèle de calibrage, "envers" du modèle stationnaire, qui permet de révéler les paramètres structurels.

Formellement, on pourrait imaginer de simuler le modèle stationnaire "à l'envers" en imposant les coefficients (une sorte de *goal seeking*). Cette méthode n'est pas praticable du fait de non-linéarités importantes dans les spécifications, d'une multiplicité possible de solutions et, rapidement, du nombre d'équations présentes dans le modèle. Le modèle est donc ré-écrit bloc par bloc en identifiant autant que possible les modules récursifs et en minimisant les systèmes simultanés. Il n'existe donc pas une manière unique de calibrer un modèle donné.

## B. Avantages et limites du calibrage

Calibrage et estimation économétrique sont deux techniques de valorisation des paramètres des modèles appliqués qui présentent des avantages et inconvénients que l'on ne peut évaluer dans l'absolu mais l'une par rapport à l'autre. Hansen et Heckman (1996) estiment que l'opposition entre les deux méthodologies est artificielle en se fondant sur les techniques développées par Hodrick et Prescott pour les modèles de RBC (*real business cycle*). Ils montrent comment l'importance des tests analytiques sur les propriétés des modèles minore la question de la "vraie" valeur des élasticités. La tendance actuelle est donc, à l'instar de McKibbin et Wilcoxon (1992) par exemple, de concilier les deux approches par l'entremise de leurs avantages respectifs.

La façon la plus intuitive de présenter les caractéristiques respectives des deux méthodes est sans doute de partir de l'économétrie.

L'économétrie présente la caractéristique de reproduire les tendances lourdes du passé. Ses inconvénients sont de deux sortes. D'une part, l'économétrie exige que les séries chronologiques soient disponibles, aussi longues que possible et fiables. D'autre part, elle rend le modèle prisonnier des mouvements captés sur le passé.

La non-disponibilité des séries constitue un obstacle rédhibitoire pour l'économétrie, pas pour le calibrage: il peut suffire de disposer de données d'enquêtes, de données partielles ou de "dires d'experts" pour calibrer un module. Le calibrage peut facilement s'inspirer de résultats microéconomiques très pointus pour élaborer un module particulier et en tester les propriétés. Le calibrage permet également de construire des modèles extrêmement désagrégés dont l'estimation économétrique serait insurmontable. Enfin, Shoven et Whalley (1992) insistent sur le fait que le calibrage permet de vérifier les restrictions imposées par la forme théorique utilisée; cet argument permet d'élaborer des MEGA parfaitement cohérents du point de vue théorique, ce qui n'est pas le cas des modèles néokeynésiens contraints, comme l'a montré Muet (1979), de recourir à plusieurs paradigmes.

Quant à la validation historique, elle constitue donc à la fois un avantage (le modèle est *descriptif*) et un inconvénient (il est *passéiste*). De nombreuses raisons peuvent justifier de vouloir se débarrasser de l'emprise du passé, par exemple pour simuler des modifications de comportements ou des changements structurels (apparition de nouvelles technologies par exemple). La multiplication des artefacts de modélisation au sein des modèles macro-économétriques illustre bien ce besoin. Ces artefacts sont tantôt dénoncés comme autant de manipulations *ad hoc* (Husson, 1996), tantôt présentés comme un enrichissement des comportements spontanés, par exemple par le recours à des chiffrages microéconomiques (Beaumais et Bréchet, 1995).

## C. L'appareillage statistique

### 1. Constitution de la banque de données

La constitution de la banque de données du modèle passe en premier lieu par la constitution d'un Tableau Entrées-Sorties (T.E.S.) complet dans la nomenclature du modèle. Un certain nombre de corrections destinées à rendre ce T.E.S. pleinement compatible avec les exigences de la modélisation sont ensuite nécessaires. Les sources statistiques utilisées sont la publication de l'Institut National de Statistique (1988) ainsi que les statistiques agrégées réalisées par de Biolley (1989) sur cette base, les Comptes SEC publiés par Eurostat (1996) et les Comptes Nationaux issus de l'Institut des Comptes Nationaux (1995) <sup>1</sup>.

Le T.E.S. constitue véritablement l'ossature d'un modèle et doit en cela faire l'objet de toutes les attentions. À cette fin, les travaux les plus récents menés par l'Institut National de Statistique (INS) ont été sollicités, à savoir le T.E.S. de 1980 <sup>2</sup>. Celui-ci est requis conjointement aux dernières publications statistiques (1994) pour élaborer le cadre complet. Tant qu'il a été possible, les coefficients structurels ont été corrigés pour coller avec les observations les plus récentes (par exemple pour le contenu en importation de la demande finale et intermé-

---

1. Je remercie Albert Gilot et Luc Avonds de la Direction Sectorielle du Bureau fédéral du Plan pour leurs commentaires et remarques sur la construction du T.E.S.  
2. Depuis que la construction du modèle SPOT a été entreprise, le T.E.S. pour 1990 a été publié: il sera bien entendu utilisé pour la mise à jour du modèle.

diaire). En cela, le modèle peut être considéré comme calibré sur une structure économique mixte (1980 et 1994).

Une méthode alternative consisterait à construire une banque de données en utilisant des moyennes historiques, ce qui permet d'éviter de calibrer le modèle sur des "accidents conjoncturels". En l'occurrence, l'année 1980 offre à certains égards des caractéristiques très particulières liées au mouvement des prix énergétiques, ce qui, pour Jorgenson et Wilcoxon (1990), constitue un biais important. Cette méthode n'a toutefois pas été retenue pour deux raisons:

- elle nécessite un gros travail de réécriture des données moyennes de manière à vérifier tous les équilibres;
- en calant le modèle sur un point historique moyen, elle appréhende mal les caractéristiques structurelles plus récentes de l'économie (ce dernier point renvoie à la discussion sur les avantages respectifs du calibrage par rapport à l'économétrie).

Cette dernière remarque souligne le paradoxe qu'il y a à caler un modèle d'équilibre général prospectif sur un point moyen qui ne reflète pas la situation de l'économie à l'époque contemporaine. Si des données récentes existent, il est plus judicieux d'y recourir pour calibrer le modèle. Dans le cas où les données sont plus anciennes, il est judicieux de corriger autant que possible les travers les plus dérangeant à l'aide des informations les plus récentes. C'est la démarche qui a été adoptée pour l'élaboration du modèle. Après la présentation de la nomenclature précise du modèle SPOT, la collecte et l'agencement des divers éléments nécessaires à la complétion de la banque de données statistiques seront exposés, à savoir essentiellement la constitution du Tableau Entrées-Sorties, les statistiques du commerce extérieur par zone géographique et les données énergétiques et environnementales.

## 2. La nomenclature sectorielle du modèle

Le modèle SPOT distingue six secteurs: deux secteurs producteurs d'énergie (énergie électrique (1E), énergie non électrique (1NE)), le secteur des biens intermédiaires (2), le secteur des autres industries (3), le secteur des services marchands (4) et le secteur non marchand (5). Ce dernier secteur est partiellement exogène.

L'encadré 1 ci-après résume les principales caractéristiques du modèle.

## D. Choix des élasticités et résultats économétriques

En modélisation d'équilibre général, il est usuel d'étayer le choix des élasticités introduites dans le modèle par un survol des résultats fournis par la littérature économétrique. Cette étape est particulièrement délicate du fait des différences de spécifications entre les équations incluses dans le modèle et les formes estimées par les méthodes économétriques. Chaque élasticité doit donc être choisie à l'aune des implications qu'elle aura sur le comportement du modèle plutôt que pour sa valeur intrinsèque. Dans le modèle SPOT, certaines parties du modèle ont toutefois recours à des systèmes dont les coefficients ont été estimés par l'économétrie. On pourra remarquer qu'il s'agit de systèmes d'allocation complexes pour lesquels un choix *ad hoc* aurait été particulièrement ardu à arrêter (éclatement de la consommation privée et consommations énergétiques par produit). Les élasticités retenues dans le modèle sont exposées par bloc. Afin d'alléger la lecture, les tableaux détaillés, présentant le cas échéant les survols de la littérature ou les résultats d'estimations économétriques, ne sont pas repris ici; ils sont disponibles dans la documentation technique du modèle (Bréchet 1998).

### 1. Le système productif

Les études économétriques disponibles ne fournissent généralement pas une information directement exploitable pour le calibrage dans la mesure où les structures emboîtées de fonctions CES ne correspondent pas aux formes habituellement testées sur séries chronologiques. Par ailleurs, la définition d'une élasticité de substitution n'est pas triviale. L'élasticité de substitution permet de définir le rapport entre deux facteurs de production  $i$  et  $j$  en fonction de leur prix relatif. Bien que définie sans ambiguïté dans le cas d'une fonction à deux facteurs, la définition d'une élasticité de substitution dans une forme comprenant plus de deux facteurs n'est pas sans soulever de nombreuses difficultés et nécessite le calcul des dérivées partielles en procédant à des hypothèses sur ce qui est maintenu constant. L'élasticité d'Allen, la plus utilisée, suppose que le prix de tous les autres facteurs reste constant et que les quantités s'ajustent de manière optimale. Berndt et Wood (1979) ont néanmoins montré que ces élasticités ne sont pas comparables lorsqu'elles sont calculées à partir de fonctions de production ou de coût différentes. En particulier, c'est le cas pour l'élasticité de substitution entre capital et énergie qui, lorsqu'elle est issue de l'estimation d'une fonction de production à trois facteurs ( $K, L, E$ ) n'est pas comparable à celle issue de l'estimation d'une fonction à quatre facteurs ( $K, L, E, M$ ).

## Encadré 1 - Fiche signalétique du modèle SPOT

<b>Secteurs productifs</b>		<b>Facteurs de production</b>	
1E.	secteur producteur d'électricité	LH	travail "bas salaires"
1NE.	secteur producteur d'énergie non électrique	LL	travail "autres salaires"
2.	secteur des biens intermédiaires	K	capital physique
3.	autres secteurs industriels	QE	énergie
4.	services marchands	QQ	autres consommations intermédiaires
5.	services non marchands		
<b>Catégories de consommation</b>		<b>Produits énergétiques</b>	
1.	articles d'habillement	1.	coke
2.	meublier, articles de ménage	2.	charbon
3.	dépenses de transport	3.	houille
3.1.	achat de véhicules	4.	produits pétroliers
3.2.	dépenses d'utilisation de véhicules	5.	gaz naturel
3.3.	services de transport	7.	électricité
4.	alimentation		
5.	loyers		
6.	chauffage, éclairage		
7.	soins de santé		
8.	communications		
9.	loisirs		
10.	équipements de loisir		
11.	autres biens et services		
12.	restaurants, cafés, hôtels		
<b>Types de ménages</b>		<b>Gaz à effet de serre</b>	
H - à revenu moyen		CO2	dioxyde de carbone
L - à bas revenu (salaire minimum)		CH4	méthane
		N2O	protoxyde d'azote
		<b>Environnement international</b>	
		Zone MEP Allemagne+France+Pays Bas	
		Zone OEP autres pays de l'Union Européenne	
		Zone ROW reste du Monde	

Afin de contourner cette difficulté, Kang et Brown (1981) recourent au concept d'élasticité de substitution totale (*Full Elasticity of Substitution*), ou élasticité de Morishima dont les propriétés autorisent de façon relativement souple la comparaison d'études empiriques d'origines diverses. Le calcul des élasticités de Morishima à partir des résultats de quatre études menées aux Etats-Unis sur la complémentarité capital-énergie montre que toutes les élasticités de substitution ont une valeur comprise entre 0 et 1: capital et énergie seraient donc substituables (Schubert, 1994). Pour mémoire, on peut rappeler que Berndt et Wood ont lancé la polémique sur la complémentarité capital-énergie sur base de l'estimation d'un modèle ( $K, L, E, M$ ), et que leur résultat fut contesté par Griffin et Gregory sur base d'un modèle ( $K, L, E$ ). L'homogénéisation des résultats économétriques en utilisant l'élasticité de Morishima trancherait donc en faveur d'une substitution entre capital et énergie (Beaumais, 1995).

Le tableau 2 présente les élasticités de substitution retenues dans la structure productive. Celles-ci ont été choisies de manière à reproduire les élasticités directes et croisées fournies par Vanhorebeek (1997) sur base de l'estimation d'un modèle ( $K, L, E, M$ ). Les substitutions entre formes de travail ont été calées sur l'hypothèse d'une élasticité prix directe de la main-d'œuvre "bas salaires" deux fois plus élevée que pour la catégorie "autres salaires"; cette caractéristique est déterminée par le jeu de plusieurs élasticités de substitution au sein de chaque structure productive. Les *surveys* réalisés par Bréchet (1995) et Wunsch (1996) sur la sensibilité de la demande de travail à son coût dans un cadre de segmentation ont été utilisés comme sources principales, mais il faut rester conscient de la difficulté de cerner ce genre d'élasticité et de la fragilité des analyses économétriques disponibles en la matière (voir Laffargue, 1996).

**TABLEAU 2 - Elasticités de substitution de la structure productive**

	Energie	Biens intermédiaires	Autres industries	Services marchands
capital - travail	0,40			
capital - énergie		0,30	0,30	0,45
capital - travail "autres salaires"		0,40	0,55	0,70
capital - travail "bas salaires"		0,75	0,85	0,70
énergie - travail "autres salaires"		0,40	0,55	0,70
énergie - travail "bas salaires"		0,75	0,85	0,70
travail "autres salaires" - travail "bas salaires"		0,75	0,85	0,90

À l'échelon le plus bas de chaque structure productive, les consommations intermédiaires énergétiques sont éclatées en cinq produits sur base de modèles translog. Ces systèmes ont été estimés sur la période 1970-1991 par la méthode de Zellner (de Rous, 1991).

## 2. Le comportement des ménages

Le modèle du consommateur est entièrement dédoublé: chaque type de ménage dispose d'une spécification propre en ce qui concerne son offre et sa demande d'emploi, ses revenus salariaux et non salariaux, son imposition directe. De plus, deux modules d'allocation de la consommation privée ont été estimés par des méthodes économétriques spécialement à l'occasion de la construction du modèle SPOT. Le détail des estimations est exposé par Bracke et Bréchet (1997). La structure de la consommation privée des deux ménages est présentée dans le tableau 3 pour l'année de référence. Les deux structures du modèle correspondent aux catégories "ouvriers" et "employés" reprises dans les publications sur le budget des ménages publiées par l'Institut National de Statistique.

**TABLEAU 3 - Structure de la consommation privée en 1994**

(source: Institut National de Statistique, 1994)

Catégorie	Code	Coefficient budgétaire (en %)	
		Ménage "bas salaires"	Ménage "autres salaires"
Articles d'habillement	C1	7,68	7,21
Mobilier, article de ménage	C2	10,27	10,38
Achat de véhicules	C31	4,93	7,31
Dépenses d'utilisation de véhicules	C32	6,41	7,32
Services de transport	C33	1,52	0,95
Alimentation, boissons, tabac	C4	19,04	24,48
Loyers	C5	10,33	8,95
Dépenses de chauffage et éclairage	C6	6,08	4,10
Soins de santé	C7	9,93	6,63
Communication	C8	0,96	0,67
Loisirs	C9	2,93	3,02
Équipements de loisir	C10	4,51	5,04
Autres biens et services	C11	7,83	5,17
Restaurants, hôtels, cafés	C12	7,58	8,80

L'élasticité de substitution entre consommation et loisir est posée égale à 0,8 pour les travailleurs "bas salaires" et à 1,2 pour les travailleurs "autres salaires". Ces valeurs sont inspirées de la littérature en la matière, notamment des articles de Pissarides (1996), Kehoe (1996), Laffargue (1996), Gelauff et Graafland (1994).

L'équation d'allocation de la consommation agrégée entre biens durables et non durables est estimée, sur la période 1970-1993, au sein d'un modèle à correction d'erreur après vérification des propriétés de stationnarité et de cointégration des séries. Seule l'expression de long terme (la cible du modèle à correction d'erreur) est adoptée dans SPOT. L'élasticité de substitution entre bien durables et non durables est de 0,18, ce qui s'est révélé plutôt faible par rapport aux autres pays européens (à titre illustratif, cette élasticité est de 0,39 pour la France et de 0,27 pour l'Allemagne). L'élasticité revenu des non durables est de 0,9; ceci implique qu'une augmentation de la consommation globale se traduit par une réduction de la part relative des biens non durables et un accroissement de la part des biens durables.

Le tableau 4 présente les élasticités revenu pour l'ensemble des catégories de consommation. Typiquement, ces élasticités sont inférieures à l'unité pour les biens de première nécessité et supérieures à l'unité (parfois très nettement) pour des catégories telles que les communications, les loisirs (équipement et dépenses) et l'énergie (transport privé, chauffage et éclairage). La structure complète de la consommation privée est donc susceptible d'être sensiblement modifiée pour toute altération du niveau du revenu global *via* le jeu des élasticités revenu de chaque catégorie.

**TABLEAU 4 - Élasticités revenu des postes de consommation** (source: Bracke, Bréchet, 1997)

		Ménage "bas salaires"	Ménage "autres salaires"
Articles d'habillement	C1	0,60	0,63
Mobilier, article de ménage	C2	0,58	0,61
Achat de véhicules	C31	1,04	1,15
Dépenses d'utilisation de véhicules	C32	1,02	1,03
Services de transport	C33	0,44	0,20
Alimentation, boissons, tabac	C4	0,76	0,57
Dépenses de chauffage et éclairage	C6	0,73	0,77
Communication	C8	1,27	1,24
Loisirs	C9	1,09	1,76
Équipements de loisir	C10	1,37	1,38
Autres biens et services	C11	1,22	1,33
Restaurants, hôtels, cafés	C12	1,38	1,13

Les élasticités prix directes et croisées de chaque système AIDS d'allocation de la consommation privée ont été estimées sur la période 1970 - 1993 par la méthode de Zellner. Le tableau 5 présente les élasticités prix directes compensées. À noter que les catégories de consommation 5 (soins de santé) et 7 (loyers) sont exogènes.

La détermination des consommations énergétiques par produit est réalisée sur le total des consommations énergétiques des deux ménages, faute de données détaillées. Le système AIDS utilisé pour l'allocation de la consommation énergétique par produit est également estimé par l'économétrie. Tous ces résultats sont détaillés dans la documentation technique.

**TABLEAU 5 - Élasticités prix directes compensées des postes de consommation**  
(source: Bracke, Bréchet, 1997)

		Ménage "bas salaires"	Ménage "autres salaires"
Articles d'habillement	C1	-0,52	-0,49
Mobilier, article de ménage	C2	-0,45	-0,40
Achat de véhicules	C31	-0,20	-0,24
Dépenses d'utilisation de véhicules	C32	-0,22	-0,23
Services de transport	C33	-6,48	-3,66
Alimentation, boissons, tabac	C4	-0,35	-0,26
Dépenses de chauffage et éclairage	C6	-0,57	-0,77
Communication	C8	-1,61	-1,51
Loisirs	C9	-0,85	-1,25
Équipements de loisir	C10	-1,40	-1,41
Autres biens et services	C11	-0,45	-0,63
Restaurants, hôtels, cafés	C12	-1,04	-1,08

### 3. Le commerce extérieur

L'analyse de quatre modèles belges de conceptions différentes a mis à jour des élasticités prix sectorielles des exportations fort tranchées. Dans le modèle HERMÈS (à huit secteurs marchands), les équations de commerce extérieur sont estimées sur la période 1970-1993 et présentent les caractéristiques habituelles inhérentes à un modèle néokeynésien avec introduction d'effets d'offre. L'élasticité prix agrégée des exportations à long terme est de -0,56. Cette élasticité est plus élevée pour les services marchands (-1) et les biens intermédiaires (-0,6), mais elle est nulle pour le secteur énergétique (les exportations d'énergie sont directement fonction des importations d'énergie *via* les fonctions de raffinage). Modèle néokeynésien agrégé, le modèle MODTRIM exprime les exportations nettes vis-à-vis des termes de l'échange; le coefficient estimé est nettement inférieur à l'unité (-1,22) mais ne fournit pas directement d'indication sur l'élasticité prix des exportations. Le modèle européen QUEST, dans sa nouvelle version présentée par la DG II de la Commission Européenne en juin 1996, présente des spécifications standards entre tous les pays de l'Union Européenne. L'élasticité prix des exportations de la Belgique est comparativement assez faible (-0,65) par rapport à la moyenne européenne (-0,90)<sup>1</sup>. Le modèle Dewatripont *et al.* (1991) est un modèle d'équilibre général dont les élasticités varient entre -0,75 et -2,50 suivant le secteur considéré, soit très nettement au-dessus des résultats des estimations économétriques sur secteurs plus agrégés.

1. Tous ces résultats correspondent aux élasticités de long terme des spécifications présentes dans les modèles.

Les élasticités prix des exportations par zone géographique proviennent du système multinational HERMÈS-LINK (C.E.C., 1993) pour les secteurs des biens intermédiaires, des biens d'équipement et de consommation (élasticité à 10 ans). Pour le secteur des services marchands, l'élasticité est identique quelle que soit la zone considérée. Le croisement des élasticités inter-classes permet de calculer les élasticités moyennes (par zone et secteur), ainsi que l'élasticité agrégée (-0,8) afin d'en vérifier la vraisemblance. Le tableau 6 présente l'ensemble de ces élasticités.

**TABLEAU 6 - Elasticités prix des exportations par secteur et par zone**

	Principaux partenaires européens*	Autres pays de l'Union Européenne	Reste du Monde	Toutes zones
Secteur énergétique	0,00	0,00	0,00	0,0
Biens intermédiaires	-1,36	-1,68	-1,48	-1,4
Autres industries	-0,96	-1,22	-0,36	-0,8
Services marchands	-0,73	-0,73	-0,73	-0,7
Tous secteurs	-0,89	-1,09	-0,62	-0,8

\* Allemagne + France + Pays Bas

Le calibrage du module d'importations comporte deux volets: le système d'Armington et la ventilation géographique des approvisionnements. Le choix des élasticités prix des importations est rendu délicat du fait de la structure du modèle d'Armington (1969) dans lequel les composantes importées de chaque poste de la demande finale et intermédiaire sont déterminées de manière indépendante sous l'hypothèse que les produits domestiques et importés constituent des substituts imparfaits. Leur sommation constitue les importations sectorielles. Il n'existe donc pas d'élasticité prix des importations sectorielles agrégées comme dans un modèle néokeynésien. Par contre, au dernier échelon de chaque structure d'allocation, l'élasticité de substitution entre composante domestique importée représente également l'élasticité-prix des importations pour la composante de la demande considérée. Avec des notations standards, on a en effet:

$$MC_i = LC_i \cdot \left( \frac{(1-\mu) \cdot PC_i}{P_{MC_j}} \right)^{\sigma_j}$$

Il est donc nécessaire de définir, dans chaque secteur livreur, les élasticités pour la demande d'importations au titre des livraisons à la consommation privée, à l'investissement et aux consommations intermédiaires non énergétiques.

Les modèles HERMÈS et MODTRIM offrent des élasticités des importations assez modérées et comprises entre -0,3 et -0,4 %. QUEST présente une élasticité nettement supérieure (-0,8), mais c'est à nouveau Dewatripont *et al.* (1991) qui retiennent l'élasticité la plus importante avec -1,0 pour tous les secteurs. Les élasticités finalement retenues dans le modèle SPOT sont regroupées dans le tableau 7.

**TABLEAU 7 - Elasticités prix des importations par poste de la demande intérieure**

	consommation privée	investissement	Consommations intermédiaires
Secteur énergétique	-0,2	--	-0,2
Biens intermédiaires	-0,2	--	-0,8
Autres industries	-0,8	-0,8	-0,8
Services marchands	-0,4	-0,6	-0,8

Le choix des élasticités de substitution entre les zones pour chaque secteur d'activité s'est heurté à une grande pénurie d'études ou, à tout le moins, à la difficile réinterprétation des données obtenues dans des contextes très différents. Le recours à différentes estimations économétriques d'élasticités prix sectorielles des importations a néanmoins permis de déterminer des ordres de grandeurs vraisemblables. Ces coefficients sont présentés dans le tableau 8. Une élasticité non nulle, mais très faible a été retenue pour le secteur énergétique dans la mesure où l'on peut estimer que, à moyen-long terme, une altération des prix énergétiques régionaux peut conduire à une réorientation significative de l'approvisionnement.

**TABLEAU 8 - Elasticités de substitution inter-zonale des importations**

Secteur énergétique	0,10
Biens intermédiaires	0,19
Autres industries	0,55
Services marchands	0,60

Il apparaît clairement que de nombreuses élasticités présentes dans le système de commerce extérieur devront faire l'objet d'investigations supplémentaires, notamment en ce qui concerne les importations. En l'occurrence, il serait intéressant de confronter les estimations économétriques sectorielles réalisées sur séries chronologiques avec des études plus microéconomiques permettant de singulariser davantage tel ou tel secteur d'activité ou poste de la demande intérieure.

## E. Méthodologie de calibrage du modèle

Une fois la banque de données constituée, les élasticités et certains paramètres posés, il reste à déterminer un certain nombre d'autres paramètres tels que parts budgétaires, paramètres d'échelle ou taux de taxation. Le tout doit permettre de reproduire une situation d'équilibre sur l'année de référence, c'est-à-dire de vérifier les contraintes théoriques imposées par la structure du modèle sur base de la Matrice de Comptabilité Sociale.

Le modèle stationnaire est décomposé en blocs et ré-écrit de manière à calculer les paramètres inconnus en fonction des variables et paramètres posés. La simultanéité des blocs doit ensuite être organisée de manière à vérifier les contraintes globales du modèle, par exemple l'équilibre ressources-emplois. Le choix des paramètres à poser ou à calibrer n'est pas trivial dans la mesure où, à la multiplicité des choix théoriques s'ajoutent des difficultés d'ordre numérique liées, par exemple, aux non linéarités ou à la présence d'arrondis dans des paramètres structurels déterminés hors modèle. En outre, l'exigence de réalisme du modèle oblige à reproduire soit des taux (coin fiscal, taux d'impôt sur le revenu de chaque catégorie de ménage, etc...), soit un ensemble d'agrégats (la contribution de chaque facteur dans la valeur ajoutée) de manière précise, ce qui nécessite une préparation importante des données sur tableur, et donc hors modèle. Face à ces difficultés (renforcées par la dimension sectorielle du modèle), il convient de discerner les variables ou paramètres qui influenceront le comportement du modèle et d'en parfaire le calibrage en dégageant des degrés de liberté sur d'autres paramètres.

### 1. Le système productif

Le principe de calibrage des secteurs producteurs est identique pour les différents secteurs productifs puisque, pour chacun, la modélisation des choix productifs est réalisée par l'emboîtement de fonctions CES. La méthode consiste alors, connaissant les élasticités de substitution, à calculer les paramètres d'échelle et les paramètres de répartition permettant de reproduire les données de l'année de référence. Dans le bloc production, on obtient un ensemble d'équations simultanées dont il n'est possible d'obtenir une solution numérique que par simulation.

### 2. Les ménages

Le calibrage du modèle à deux ménages soulève de nombreuses difficultés inhérentes à l'absence de données, d'une part à cause de la forte agrégation du modèle au regard des règles fiscales, et d'autre part à cause du caractère factice des ménages considérés. La plus grande attention doit être portée à tout ce qui peut significativement altérer les propriétés du modèle. Cette dernière remarque renvoie non seulement au choix des élasticités mais également au respect de certains traits structurels comme, par exemple, le poids de la consommation des bas salaires dans la consommation agrégée.

La première étape consiste à reconstituer le revenu disponible de chaque ménage à partir de la masse salariale. Par construction, on a que:

$$\frac{W_H}{W_L} = 2,29 \quad \text{avec} \quad PL_m = W_m \cdot (1 + TCSE_m) \quad \text{et} \quad PLL = 1$$

Il en résulte le revenu salarial. Le calcul des cotisations personnelles à la Sécurité sociale est effectué en appliquant le taux macroéconomique à chacun des ménages; ce taux est déterminé en rapportant la recette totale à l'ensemble des revenus salariaux. Dans la mesure où cette assiette ne représente qu'imparfaitement la véritable assiette fiscale, le taux de cotisation utilisé dans le modèle (8,7 %) est inférieur au taux légal (13 %).

La détermination du taux de l'impôt sur le revenu salarial pour chaque type de ménage est réalisée en tenant compte du coefficient de progressivité de l'impôt. Si l'on note  $\tau^M$  le taux moyen d'imposition et  $\tau^m$  le taux marginal, le coefficient de progressivité  $\theta$  est tel que:

$$\tau^m = \theta \cdot \tau^M$$

Ce coefficient de progressivité présente une valeur historiquement stable proche de 1,5. Le taux d'imposition pour le ménage  $m$  est alors donné par:

$$\tau_m^M = \frac{DTH_m}{\sum_m (W_m \cdot L_m - CSS_m)} \quad \text{pour } m = (L,H)$$

Saintrain (1996) propose une formule générique permettant, compte tenu du coefficient de progressivité, de déterminer le taux d'impôt sur le revenu pour chacun des deux ménages, connaissant la recette totale de l'impôt et chaque assiette. On obtient alors un taux d'impôt sur le revenu du ménage "autres salaires" égal à 27,8 %. Le taux d'impôt sur le revenu salarial des ménages "bas salaires" est ensuite déterminé par identité et est égal à 21,7 %. Le taux macroéconomique du modèle est donc de 27,1 %, ce qui est proche du taux macroéconomique observé (25 %).

Les transferts aux ménages ( $TR_m$ ) sont déterminés comme la somme des cotisations versées par les salariés et les employeurs à la Sécurité sociale. Leur répartition entre les deux ménages est réalisée en proportion de leur part dans l'emploi total l'année de référence. L'ampleur des mécanismes de redistribution présents dans le modèle est reflétée par la réduction du différentiel entre salaires par tête et revenus par tête entre les catégories de salariés: ce rapport passe de 2,29 dans le premier cas (par construction) à 1,74 dans le second.

L'hypothèse arrêtée sur les taux d'épargne respectifs détermine alors le niveau de consommation de chaque ménage et sa part dans la consommation totale. Le taux d'épargne global étant environ de 15 %, poser un taux d'épargne de 4,0 % pour les "bas salaires" implique un taux d'épargne de 18,1 % pour les autres salariés. Il en résulte que la part de la consommation des "bas salaires" dans la consommation totale s'élève à 12 % alors qu'ils représentent 22 % de l'emploi. Différents jeux d'hypothèses sur les paramètres inconnus (taux d'imposition, taux d'épargne) ont permis de valider le fait que la part de la consommation des "bas salaires" dans la consommation totale ne peut arithmétiquement pas être très différente de 12 %.

Les paramètres imposés et calculés par le calibrage sont présentés dans le tableau 9.

**TABLEAU 9 - Paramètres imposés et calculés dans le modèle du consommateur**

	Ménage "bas salaires"	Ménage "autres salaires"
Elasticité de substitution consommation-loisir	1,20	0,80
Taux d'épargne	4,00%	18,11%
Taux de cotisation à la Sécurité sociale	8,71%	8,71%
Taux d'impôt sur le revenu	21,76%	27,79%
Part dans la consommation totale	11,59%	88,41%

Le calibrage des fonctions de consommation agrégées est simplement effectué en inversant les équations pour obtenir le paramètre d'échelle. Les coefficients des modules d'allocation de la consommation privée sont estimés économétriquement, mais le système doit être calibré de manière à vérifier la structure observée l'année de référence compte tenu des prix élémentaires et de la consommation agrégée fournis par le modèle. Ceci est obtenu en calculant de manière endogène la constante comprise dans chaque équation de demande (parts budgétaires des systèmes AIDS) en posant les parts exogènes.

### 3. Les autres blocs du modèle

Le calibrage des autres blocs du modèle ne soulève pas de difficultés particulières. Une description détaillée est présentée dans la documentation technique (*Cf. bibliographie*)





## Simulations techniques

Les simulations présentées dans cette partie sont essentiellement de nature analytique dans le sens où, destinées à tester les propriétés du modèle, elles ne sont pas à considérer comme des mesures de politique économique *per se*. Il va néanmoins de soi que ces variantes s'inspirent des mesures pour lesquelles le modèle a été conçu, notamment en ce qui concerne les mesures relatives à la taxation de l'énergie et à la fiscalité sur le travail.

Les simulations sont regroupées par type de choc; pour chaque choc, diverses modalités sont envisagées. Préoccupation cruciale pour un pays tel que la Belgique, le comportement face à une altération de l'environnement international est traité en premier lieu à travers une analyse du commerce extérieur par zone géographique. Les mesures d'allègement du coût non salarial sont testées en jouant sur la différenciation des travailleurs introduite dans le modèle. Enfin, les impacts d'une taxation des produits énergétiques fossiles sont envisagés. D'autres types de chocs ont été analysés à l'aide du modèle; ils sont détaillés dans la documentation technique (se reporter à la bibliographie). Il en va de même pour les procédures de tests de sensibilité.

### A. Variantes d'environnement international

L'environnement international est constitué de trois zones géographiques. La zone MEP (*Main European Partners*) regroupe l'Allemagne, la France et les Pays Bas; la zone OEP (*Other European Partners*) regroupe les autres pays de l'Union Européenne; le reste du Monde compose la zone ROW (*Rest of the World*).

#### 1. Spécification des variantes

Le choc introduit est une hausse du prix de référence de chaque zone de 10 % par rapport à la situation de référence. Le choc est appliqué à chacune des zones prise séparément, puis à l'ensemble des zones. Puisqu'il ne s'agit pas ici d'une mesure de politique économique mais d'un choc externe, aucune hypothèse de neutralité budgétaire n'est spécifiée pour les finances publiques. Les principaux résultats macroéconomiques sont présentés dans le tableau 10; les résultats sectoriels sont exposés dans le tableau 11.

## 2. Résultats macroéconomiques

La hausse du prix de référence d'une zone engendre deux mécanismes principaux: une amélioration de la compétitivité prix vers la zone en question, d'une part, et une inflation importée d'autre part. L'amélioration de la compétitivité se traduit à la fois par un accroissement des exportations vers la zone considérée, mais également par une dégradation du prix relatif des biens importés vis-à-vis des biens domestiques et un soutien relatif à la production intérieure. Le surcroît d'activité (notamment lié à la hausse des exportations) compense cet effet prix et tend à soutenir les importations macroéconomiques: cet effet parvient à compenser l'effet prix dans la variante OEP, et les deux effets s'annulent quasiment lorsque les prix augmentent dans l'ensemble des zones.

**TABLEAU 10 - Hausse du prix de référence par zone: résultats macroéconomiques**  
(différences en % par rapport à l'équilibre de référence)

	Hausse dans la zone MEP	Hausse dans la zone OEP	Hausse dans la zone ROW	Hausse dans l'ensemble des zones
PIB	1,36	1,47	1,01	3,51
Consommation privée	-0,99	0,08	-0,28	-1,40
Investissement privé	0,89	1,33	0,81	2,66
Consommation publique	0,79	0,65	1,10	2,42
Demande finale intérieure	-0,30	0,39	0,19	0,07
Exportations	2,99	2,33	1,54	6,51
Importations	-0,08	0,60	-0,29	-0,01
Prix à la consommation	1,69	0,36	1,11	3,33
Coût salarial (par tête)	0,02	0,02	-0,02	0,02
- bas salaires	0,00	0,00	0,00	0,00
- autres salaires	0,00	0,00	0,00	0,00
Salaire réel	-1,64	-0,34	-1,12	-3,20
Prix des importations	4,81	2,02	2,94	10,00
Prix des exportations	1,14	-0,01	1,00	2,36
Prix de l'investissement	2,18	0,56	1,49	4,47
Prix de production	1,07	-0,05	0,98	2,23
Taux d'intérêt ( <i>diff. en point de %</i> )	-0,30	-0,21	-0,11	-0,58
Emploi	0,80	0,69	1,24	2,63
Revenu disponible nominal	0,76	0,66	1,14	2,45
Revenu disponible réel	-0,91	0,30	0,03	-0,85
Intensité énergétique	-1,95	-0,59	-1,00	-3,45
Utilité "bas salaires"	0,07	0,06	0,18	0,30
Utilité "autres salaires"	0,41	0,36	0,60	1,32
Variation du revenu équivalent ( <i>en % du revenu</i> )	0,36	0,32	0,52	1,14

Les effets sur l'activité économique sont positifs quelle que soit la zone considérée, en dépit d'une élévation sensible du niveau général des prix qui ponctionne d'autant les revenus disponibles. Les composantes de la croissance sont toutefois

nettement modifiées par rapport à l'équilibre initial, la consommation privée domestique cédant le pas à la composante extérieure. Le regain d'activité se répercute sur le volume de travail. À noter que les recettes fiscales bénéficient de l'activité supplémentaire, ce qui se traduit corrélativement par un accroissement des dépenses publiques (*Cf. infra* les commentaires sur les finances publiques).

Le profil des résultats est nettement tributaire de la zone considérée, et les mécanismes responsables apparaissent clairement dans les résultats sectoriels détaillés (tableau 11). La zone MEP représentant 54 % du commerce extérieur de biens, il est logique qu'elle génère l'élévation la plus importante des exportations macroéconomiques, mais également le plus d'inflation importée. La contribution de la zone ROW se distingue surtout dans le secteur des services (60 % des échanges), alors que les secteurs industriels en bénéficient peu. Ces traits structurels se reflètent également dans la réaction des prix de production en fonction des coûts importés. Une élévation du prix dans la zone MEP provoque une augmentation des prix de production essentiellement concentrée sur les secteurs industriels; les services sont quant à eux plus sensibles à une modification du prix dans la zone ROW.

Les possibilités offertes aux entreprises de modifier l'origine géographique de leurs importations permettent d'alléger en partie l'impact inflationniste des chocs. D'un autre côté, cela se traduit également par une réduction plus faible du volume d'importation. Seules les variantes ROW et "Toutes zones" se traduisent par un repli des importations globales en raison d'une demande intérieure en net repli dans le premier cas (principalement du fait de la consommation privée) et d'un surcroît d'exportation plus faible dans le second cas. Les importations augmentent dans la variante OEP du fait de la hausse de la consommation privée et de la demande en consommations intermédiaires non énergétiques (exprimées comme une part constante de la production).

Le volume total de travail est tiré à la hausse par l'augmentation de la production, mécanisme renforcé par le renchérissement de l'investissement (provoqué par sa composante importée). Suivant la zone considérée, l'effet est concentré dans les secteurs industriels ou dans les services marchands. Dans la variante MEP et OEP, l'accroissement du volume de travail est concentré dans les secteurs industriels, ce qui se traduit par un impact agrégé relativement moins favorable que dans la variante ROW. En outre, et ceci tient aux caractéristiques structurelles, le surcroît de travail profite, dans les deux premiers scénarios, aux travailleurs "autres salaires"; seule la variante ROW voit la proportion de travailleurs "bas salaires" augmenter dans l'emploi total.

En terme d'utilité, toutes ces simulations révèlent le même profil: une amélioration de l'utilité pour l'ensemble des ménages. Cette amélioration est généralement moins prononcée pour les travailleurs à bas salaires; ce résultat s'explique par une proportion sensiblement plus importante de ces salariés dans le secteur abrité. Corrélativement, l'accroissement de l'utilité des ménages à bas salaires est la plus forte dans le cas de la variante ROW, ce qui s'explique par leur poids relativement plus important dans le secteur des services marchands. Pour l'ensemble des ménages, exprimée en variations de revenu équivalent par rapport au revenu de référence, c'est donc cette variante qui présente l'impact le plus favorable sur le bien-être global.

**TABLEAU 11 - Hausse du prix de référence par zone: résultats sectoriels**  
*(différences en % par rapport à l'équilibre de référence)*

	Hausse dans la zone MEP	Hausse dans la zone OEP	Hausse dans la zone ROW	Hausse dans l'ensemble des zones
<b>Emploi</b>				
- bas salaires	0,63	0,54	1,40	2,48
- autres salaires	0,85	0,74	1,20	2,66
- secteur énergétique	0,18	0,36	0,46	0,93
- biens intermédiaires	3,50	3,00	1,03	7,01
- autres industries	1,50	1,13	0,22	2,68
- services marchands	0,38	0,38	1,69	2,37
<b>Revenus disponibles réels</b>				
- bas salaires	-1,05	0,23	0,14	-0,93
- autres salaires	-0,82	0,37	0,11	-0,62
<b>Production</b>				
- énergie	0,00	0,72	0,16	0,68
- biens intermédiaires	3,37	3,08	0,91	6,79
- autres industries	1,42	1,40	-0,01	2,52
- services marchands	0,30	0,61	1,48	2,22
<b>Prix de production</b>				
- secteur énergétique	0,88	-0,50	0,99	1,68
- biens intermédiaires	1,86	0,14	1,32	3,57
- autres industries	1,33	0,06	1,21	2,85
- services marchands	0,41	-0,18	0,52	0,90
<b>Exportations</b>				
- secteur énergétique	0,00	0,00	0,00	0,00
- biens intermédiaires	4,57	4,07	1,32	9,23
- autres industries	3,84	2,66	-0,15	6,00
- services marchands	1,01	0,87	4,02	5,77
<b>Importations</b>				
- secteur énergétique	-0,86	0,62	-0,07	-0,53
- biens intermédiaires	1,75	1,76	0,35	3,50
- autres industries	-1,01	0,02	-0,36	-1,51
- services marchands	0,84	0,88	-1,16	0,28
<b>Consommation privée</b>				
- bas salaires	-1,46	0,09	-0,29	-1,93
- autres salaires	-0,92	0,07	-0,28	-1,31
<b>Investissement privé</b>				
- secteur énergétique	0,19	0,74	0,19	0,89
- biens intermédiaires	3,50	3,15	0,92	6,98
- autres industries	1,48	1,53	-0,07	2,59
- services marchands	0,32	1,02	1,19	2,18

### 3. Résultats sectoriels

L'analyse des résultats croisés par secteur et par zone éclaire sur la manière dont le commerce extérieur se réoriente lorsque le prix d'une seule zone augmente (tableau 12 et tableau 13).

On constate en premier lieu que, en raison de l'augmentation des prix de production, les exportations se réduisent vers les zones non concernées par la hausse de prix. Ce résultat n'est cependant pas vérifié dans la variante OEP où le prix de production du secteur des services marchands baisse très légèrement et autorise, de ce fait, une élévation de ses exportations vers l'ensemble des zones. Cette réduction du prix de production résulte de la faiblesse de l'inflation importée dans cette variante pour le secteur des services marchands. La réduction des exportations dans les autres cas de figure vers les zones dont le prix reste inchangé est déterminée simultanément par l'ampleur de la dégradation de la position compétitive et l'élasticité prix sectorielle vers la zone considérée.

Les flux d'exportation croisés par secteur et par zone (tableau 12) révèlent à quel point le secteur des biens intermédiaires est sensible à une altération de sa position compétitive, notamment vis-à-vis de la zone OEP. On constate également que les exportations vers les zones dont le prix n'augmente pas sont rapidement dégradées du fait de la hausse des prix de production inhérente à l'inflation importée. La variante "Toutes zones" simule les impacts d'une augmentation du prix de référence dans l'ensemble des zones. Elle montre que les exportations se réorientent alors vers la zone OEP (elles augmentent de 8,42 %, contre 6,86 % vers la zone MEP et 5,18 % vers le reste du Monde).

Les importations croisées présentées dans le tableau 13 détaillent les mécanismes explicités ci-dessus. On remarquera l'accroissement des importations en provenance des zones dont le prix n'augmente pas, indicateur de la réallocation géographique. L'élasticité de substitution est définie par secteur; les différences qui apparaissent dans les substitutions zonales résultent donc des composantes sectorielles des importations. Dans la variante "Toutes zones", l'ensemble des importations diminue à peine, quelle que soit la zone considérée. On note par contre une altération de la structure géographique de l'approvisionnement en faveur de la zone MEP. Du point de vue sectoriel, les autres secteurs industriels voient leurs importations diminuer lorsque le surcroît de production ne compense pas la dégradation de leur compétitivité.

**TABLEAU 12 - Hausse du prix de référence par zone: exportations par secteur et par zone**  
*(différences en % par rapport à l'équilibre de référence)*

HAUSSE DANS LA ZONE MEP				
	zone MEP	zone OEP	zone ROW	Total
Énergie	0,00	0,00	0,00	0,00
Biens intermédiaires	11,02	-3,05	-2,70	4,57
Autres industries	8,20	-1,59	-0,47	3,84
Services marchands	6,11	-0,27	-0,27	1,01
Total	8,44	-1,71	-0,62	2,99
HAUSSE DANS LA ZONE OEP				
	zone MEP	zone OEP	zone ROW	Total
Énergie	0.00	0.00	0.00	0.00
Biens intermédiaires	-0.19	17.08	-0.21	4.07
Autres industries	-0.06	12.14	-0.02	2.66
Services marchands	0.12	6.51	0.12	0.87
Total	-0.07	12.22	0.04	2.33
HAUSSE DANS LA ZONE ROW				
	zone MEP	zone OEP	zone ROW	Total
Énergie	0.00	0.00	0.00	0.00
Biens intermédiaires	-1.77	-2.18	12.94	1.32
Autres industries	-1.15	-1.44	3.04	-0.15
Services marchands	-0.34	-0.34	6.03	4.02
Total	-1.16	-1.41	5.95	1.54
HAUSSE DANS L'ENSEMBLE DES ZONES				
	zone MEP	zone OEP	zone ROW	Total
Énergie	0.00	0.00	0.00	0.00
Biens intermédiaires	8.53	10.64	9.32	9.23
Autres industries	6.66	8.47	2.45	6.00
Services marchands	5.77	5.77	5.77	5.77
Total	6.86	8.42	5.18	6.51

**TABLEAU 13 - Hausse du prix de référence par zone: importations par secteur et par zone**  
(différences en % par rapport à l'équilibre de référence)

HAUSSE DANS LA ZONE MEP				
	zone MEP	zone OEP	zone ROW	Total
Énergie	-1,18	-0,24	-0,24	-0,86
Biens intermédiaires	0,95	2,79	2,79	1,75
Autres industries	-3,24	1,48	1,48	-1,01
Services marchands	-3,34	1,87	1,87	0,84
Total	-1,95	1,78	1,76	-0,08
HAUSSE DANS LA ZONE OEP				
	zone MEP	zone OEP	zone ROW	Total
Énergie	0,74	-0,21	0,74	0,62
Biens intermédiaires	2,18	0,34	2,18	1,76
Autres industries	1,13	-3,58	1,13	0,02
Services marchands	1,62	-3,57	1,62	0,88
Total	1,40	-2,47	1,45	0,60
HAUSSE DANS LA ZONE ROW				
	zone MEP	zone OEP	zone ROW	Total
Énergie	0,14	0,14	-0,81	-0,07
Biens intermédiaires	0,77	0,77	-1,04	0,35
Autres industries	0,84	0,84	-3,85	-0,36
Services marchands	2,35	2,35	-2,88	-1,16
Total	0,85	0,94	-2,90	-0,29
HAUSSE DANS L'ENSEMBLE DES ZONES				
	zone MEP	zone OEP	zone ROW	Total
Énergie	-0,53	-0,53	-0,53	-0,53
Biens intermédiaires	3,50	3,50	3,50	3,50
Autres industries	-1,51	-1,51	-1,51	-1,51
Services marchands	0,28	0,28	0,28	0,28
Total	0,01	-0,05	-0,01	-0,01

#### 4. Finances publiques

En ce qui concerne les finances publiques, tous les ingrédients sont réunis pour engendrer une forte augmentation des recettes fiscales. L'élévation du volume de travail se traduit par un gonflement des cotisations patronales et personnelles à la Sécurité sociale (de 13 à 19 milliards suivant la variante). Il en va de même pour les impôts directs. L'élévation du niveau général des prix permet, en dépit de la réduction du volume de la consommation, une légère augmentation des recettes de TVA. Les recettes supplémentaires atteignent 26 milliards de FB de 1994 pour la variante MEP, 22 milliards pour la variante OEP et 37 milliards pour la variante ROW, soit approximativement 0,4 % du PIB *ex ante* dans le dernier cas. Lorsque l'ensemble des zones est considéré, les recettes augmentent de quelque 82 milliards (près de 1 % du PIB *ex ante*).

Ces recettes permettent d'une part un accroissement des transferts aux ménages (compte tenu de l'évolution des recettes de cotisations à la Sécurité sociale des ménages et entreprises), d'autre part une augmentation des investissements publics. La première composante soutient le revenu disponible nominal des ménages et modère d'autant le repli de la consommation privée. La seconde composante se traduit par une demande supplémentaire adressée aux autres secteurs industriels et aux services marchands au titre d'investissements productifs à hauteur de 0,1 % du PIB dans la variante MEP.

## B. Variantes de réduction des cotisations patronales

La réduction du coût non salarial est opérée par une baisse des taux de cotisations employeurs à la Sécurité sociale. La distinction opérée dans le modèle entre les deux types de main-d'œuvre permet d'envisager plusieurs modalités de réduction des cotisations sociales employeurs (CSE) suivant le niveau de salaire des bénéficiaires, les secteurs considérés ou la méthode de calcul de la réduction de cotisation (proportionnelle ou forfaitaire) <sup>1</sup>.

### 1. Spécification des variantes

Quatre modalités sont testées:

- une réduction uniforme du taux de cotisation de l'ensemble des salariés financée par une hausse de la TVA;
- une réduction uniforme du taux de cotisation de l'ensemble des salariés financée par une hausse uniforme des impôts directs;
- une réduction des cotisations ciblée sur les travailleurs à bas salaires financée par une hausse de la TVA;
- une réduction des cotisations ciblée sur les travailleurs à bas salaires financée par une hausse uniforme des impôts directs.

L'ampleur des mesures est fixée à 0,5 % du PIB *ex ante* (soit 48 milliards); la neutralité budgétaire est imposée *ex post*. Les résultats de ces quatre variantes sont présentés ci-dessous en ce qui concerne la macro-économie (tableau 14), le sectoriel (tableau 15), l'emploi par secteur et par niveau de salaire (tableau 16 et tableau 17) ainsi que les finances publiques (tableau 18).

---

1. Les politiques de réduction ciblée des CSE ont fait l'objet d'analyses spécifiques avec le modèle SPOT, notamment pour une comparaison des impacts macro-budgétaires avec les réductions uniformes: voir Bréchet (1998a) et (1998b).

## 2. Réduction des CSE généralisée

La réduction généralisée des CSE entraîne une réduction du coût salarial moyen de l'ordre de 1 %. Cette réduction n'est pas identique pour les deux catégories de main-d'œuvre du fait de la prise en compte, dans SPOT, des mesures de réduction des CSE ciblées sur les bas salaires actuellement en vigueur. Avec un coin fiscal plus faible, les bas salaires sont défavorisés par une réduction définie en pourcentage du taux de cotisation: la réduction de leur coût par tête est de 0,94 %, contre 1,02 % pour les autres salariés. Bien que faible, cette différence se traduira par un soutien relativement moins favorable à l'embauche de travailleurs bas salaires. Cette caractéristique révèle qu'une modélisation fine de la structure des coûts salariaux est importante, parallèlement à une description précise de la manière dont la réduction de charges est opérée à la fois dans le modèle et dans la réalité.

**TABLEAU 14 - Réduction des cotisations sociales employeurs: résultats macroéconomiques**  
(différences en % par rapport à l'équilibre de référence)

	Réduction généralisée sur tous les salariés		Réduction ciblée sur les bas salaires	
	+ hausse de la TVA	+ hausse des impôts directs	+ hausse de la TVA	+ hausse des impôts directs
PIB	0,56	1,19	-0,09	0,69
Consommation privée	-0,22	-0,15	-0,17	-0,07
Investissement privé	0,37	1,27	-0,86	0,23
Consommation publique	0,00	0,00	0,00	0,00
Demande finale intérieure	-0,09	0,08	-0,22	-0,01
Exportations	0,77	1,49	0,01	0,89
Importations	0,06	0,30	-0,25	0,05
Prix à la consommation	0,28	-1,19	0,74	-1,05
Coût salarial (par tête)	-1,02	-1,01	-1,94	-1,93
- bas salaires	-0,94	-0,94	-10,11	-10,11
- autres salaires	-1,04	-1,04	0,00	0,00
Salaire réel	-0,26	1,23	-1,54	0,25
Prix des importations	0,00	0,00	0,00	0,00
Prix des exportations	-0,86	-1,60	-0,14	-1,07
Prix de l'investissement	-0,64	-1,29	0,16	-0,64
Prix de production	-0,84	-1,56	-0,16	-1,05
Taux d'intérêt ( <i>diff. en point de %</i> )	-0,08	-0,22	0,09	-0,07
Emploi	0,25	0,20	0,94	0,88
Revenu disponible nominal	0,15	-1,17	0,31	-1,27
Revenu disponible réel	-0,13	0,02	-0,42	-0,22
Intensité énergétique	-0,77	-1,03	-0,57	-0,89
Utilité "bas salaires"	0,02	0,01	1,03	1,01
Utilité "autres salaires"	0,14	0,12	-0,30	-0,31
Variation du revenu équivalent ( <i>en % du revenu</i> )	0,12	0,11	-0,08	-0,10

Les substitutions factorielles jouent en faveur du travail, le prix des autres facteurs de production n'étant pas modifié *ex ante*. L'augmentation du volume de travail résulte en premier lieu de ces substitutions, mais l'impact définitif est nettement influencé par la manière dont cette réduction de charges est financée. L'emploi total s'élève de 0,25 % dans le cas d'un financement par la TVA et de 0,20 % avec un financement par l'impôt direct. Dans les deux cas, l'emploi "bas salaires" est relativement défavorisé. Cette différence s'explique d'abord par la réduction plus importante du coût du travail "autres salaires"; cet effet joue surtout dans le secteur des services marchands où les deux formes de travail sont en concurrence directe par l'entremise d'une fonction CES. Par ailleurs, dans la mesure où les deux facteurs travail sont dissociés au sein de la structure productive des secteurs industriels, les comportements d'embauche des travailleurs autres que bas salaires sont également tributaires de l'évolution de l'investissement: celui-ci est sensiblement soutenu (en réponse à la baisse du taux d'intérêt) dans les secteurs industriels, ce qui bénéficie à l'emploi des autres salariés.

Ces effets positifs dus aux mécanismes de substitution sont renforcés par l'accroissement de l'activité économique. Cet accroissement résulte d'une augmentation sensible du volume des exportations (surtout dans les secteurs industriels) provoqué par l'amélioration de la compétitivité des entreprises (le prix des exportations est réduit de 0,86 % à 1,60 %, suivant le financement alternatif, tandis que les prix de référence mondiaux demeurent inchangés). La hausse des prix à la consommation, forte dans le cas du relèvement de la TVA, atteint 0,28 % et ampute d'autant les revenus salariaux générés par les créations d'emploi tout en décourageant la consommation. Le financement par hausse des impôts permet par contre d'éviter une élévation du niveau des prix, mais il décourage l'offre de travail. Dans les deux cas, *in fine*, la consommation privée se contracte.

### 3. Réduction des CSE ciblée sur les "bas salaires"

Les réductions de CSE ciblées sur les bas salaires présentent des caractéristiques foncièrement différentes. Celles-ci sont liées aux structures sectorielles (substitutions et réduction des prix de production) d'une part, et aux répercussions macroéconomiques de ces mécanismes, d'autre part. L'affectation exclusive des 48 milliards à une réduction des cotisations payées sur les bas salaires entraîne une réduction substantielle de leur coût salarial (-10 %). La création d'emploi sur cette catégorie dépasse alors 7 %. Toutefois, la mesure ne profite qu'aux secteurs les plus intensifs en emplois bas salaires (tels que définis ici), c'est-à-dire les services marchands et autres industries. En dépit d'une réduction du volume de travail des autres salariés de 0,6 %, l'accroissement du volume total de travail est nettement plus fort que dans la variante précédente puisqu'il atteint environ 0,9 %.

**TABLEAU 15 - Réduction des cotisations sociales employeurs: résultats sectoriels**  
(différences en % par rapport à l'équilibre de référence)

	Réduction généralisée sur tous les salariés		Réduction ciblée sur les bas salaires	
	+ hausse de la TVA	+ hausse des impôts directs	+ hausse de la TVA	+ hausse des impôts directs
<b>Emploi</b>				
- bas salaires	0,15	0,02	7,55	7,38
- autres salaires	0,27	0,25	-0,60	-0,63
- secteur énergétique	-0,04	-0,43	0,07	-0,40
- biens intermédiaires	0,81	1,60	-0,27	0,69
- autres industries	0,33	0,42	0,77	0,88
- services marchands	0,19	0,04	1,10	0,92
<b>Revenus disponibles réels</b>				
- bas salaires	-0,17	0,87	2,77	4,06
- autres salaires	-0,11	-0,26	-1,04	-1,22
<b>Production</b>				
- énergie	0,08	0,24	-0,20	0,00
- biens intermédiaires	0,81	1,79	-0,44	0,75
- autres industries	0,38	0,92	-0,29	0,38
- services marchands	0,22	0,50	0,23	0,58
<b>Prix de production</b>				
- secteur énergétique	-0,39	-0,83	0,22	-0,34
- biens intermédiaires	-0,73	-1,56	0,38	-0,66
- autres industries	-0,84	-1,69	0,25	-0,81
- services marchands	-0,98	-1,54	-1,02	-1,71
<b>Exportations</b>				
- secteur énergétique	0,07	0,15	-0,04	0,06
- biens intermédiaires	1,09	2,34	-0,55	0,97
- autres industries	0,73	1,48	-0,22	0,70
- services marchands	0,64	1,02	0,67	1,13
<b>Importations</b>				
- secteur énergétique	0,19	0,16	-0,11	-0,13
- biens intermédiaires	0,45	1,06	-0,29	0,45
- autres industries	-0,12	-0,03	-0,19	-0,07
- services marchands	0,08	0,41	-0,45	-0,05
<b>Consommation privée</b>				
- bas salaires	-0,23	1,04	2,29	3,85
- autres salaires	-0,22	-0,33	-0,54	-0,67
<b>Investissement privé</b>				
- secteur énergétique	0,04	0,33	-0,26	0,09
- biens intermédiaires	0,84	1,90	-0,48	0,80
- autres industries	0,41	1,13	-0,49	0,39
- services marchands	0,32	1,34	-1,14	0,09

**TABLEAU 16 - Réduction généralisée des cotisations sociales employeurs: emploi sectoriel**  
(différences en % par rapport à l'équilibre de référence)

	Réduction généralisée sur tous les salariés + hausse de la TVA			Réduction généralisée sur tous les salariés + hausse des impôts directs		
	bas salaires	autres salaires	total	bas salaires	autres salaires	total
Secteurs énergétiques	--	-0,04	-0,04	--	-0,43	-0,43
Biens intermédiaires	0,79	0,81	0,81	1,46	1,61	1,60
Autres industries	0,26	0,34	0,33	0,14	0,47	0,42
Services marchands	0,12	0,20	0,18	-0,02	0,06	0,04
Total	0,15	0,27	0,24	0,02	0,25	0,20

**TABLEAU 17 - Réduction ciblée des cotisations sociales employeurs: emploi sectoriel**  
(différences en % par rapport à l'équilibre de référence)

	Réduction généralisée sur tous les salariés + hausse de la TVA			Réduction généralisée sur tous les salariés + hausse des impôts directs		
	bas salaires	autres salaires	total	bas salaires	autres salaires	total
Secteurs énergétiques	--	0,07	0,07	--	-0,40	-0,40
Biens intermédiaires	2,40	-0,36	-0,27	3,24	0,61	0,69
Autres industries	5,96	-0,20	0,77	5,81	-0,04	0,88
Services marchands	8,01	-0,82	1,32	7,82	-0,99	1,14
Total	7,55	-0,60	0,94	7,38	-0,63	0,88

La réduction du coût salarial global est, logiquement, davantage prononcée avec la mesure ciblée que dans le cas généralisé (-1,9 % contre -1,0 %) puisque l'on encourage les substitutions en faveur de la forme de travail la moins onéreuse. Cette réduction supplémentaire du coût salarial dans l'ensemble de l'économie est compensée par une moindre réduction du taux d'intérêt du fait de la relance moins soutenue des exportations (à l'exception du secteur des services marchands).

Les composantes domestiques de l'activité économique subissent des effets structurels importants. La consommation privée, ici fortement encouragée pour les "bas salaires", se réduit moins que dans l'hypothèse d'une réduction généralisée des CSE. L'investissement privé, par contre, est découragé par les mécanismes de substitution et l'élévation du coût d'usage du capital associé à une réduction de la capacité de financement de l'économie. Globalement, la demande intérieure se contracte par rapport à une réduction généralisée des CSE. L'activité économique est donc nettement moins soutenue avec une réduction ciblée sur les bas salaires.

#### 4. Finances publiques

Les finances publiques révèlent quant à elles plusieurs résultats intéressants. Le premier concerne le taux d'autofinancement de la réduction des CSE, c'est-à-dire les effets induits sur les recettes de cotisations employeurs. La réduction généralisée des CSE se traduit par un effet net positif sur les finances publiques puisqu'environ 1 milliard de recettes supplémentaires est généré. Ces recettes proviennent des cotisations personnelles et de l'impôt direct. L'augmentation des recettes de TVA est amoindrie par rapport au choc initial en raison de la contraction de la consommation privée et en dépit de l'élévation du niveau général des prix. Dans les deux cas de financement alternatif, les cotisations patronales sont réduites *ex post* d'environ 45 milliards, pour 48 milliards de réduction *ex ante*, soit un auto-financement de l'ordre de 7 %.

**TABLEAU 18 - Réduction des cotisations sociales employeurs: finances publiques**  
(différences en milliards de FB par rapport à l'équilibre de référence)

	Réduction généralisée sur tous les salariés		Réduction ciblée sur les bas salaires	
	+ hausse de la TVA	+ hausse des impôts directs	+ hausse de la TVA	+ hausse des impôts directs
Recettes courantes	1,13	0,96	1,14	0,92
- taxes indirectes	42,16	-6,75	53,18	-5,64
TVA	42,16	-6,75	53,18	-5,64
taxe CO <sub>2</sub> /énergie	0,00	0,00	0,00	0,00
- impôts directs	3,02	52,27	-3,31	55,86
bas salaires	0,07	1,89	3,28	5,64
autres salaires	2,95	50,38	-6,59	50,21
- cotisations à la Sécurité sociale	-44,05	-44,56	-48,73	-49,29
* entreprises	-45,08	-45,45	-49,76	-50,16
sur bas salaires	-4,29	-4,43	-43,33	-43,44
sur autres salaires	-40,78	-41,02	-6,43	-6,72
* ménages	1,03	0,89	1,04	0,87
bas salaires	0,06	0,01	3,19	3,12
autres salaires	0,97	0,88	-2,16	-2,25
Dépenses courantes	1,03	0,89	1,04	0,87
- consommation publique	0,00	0,00	0,00	0,00
- prestations sociales	1,03	0,89	1,04	0,87
Solde courant des Administrations Publiques	0,00	0,00	0,00	0,00

Les réductions ciblées des CSE exercent une influence toute autre sur les recettes fiscales et para-fiscales. Pour une réduction fixée *ex ante* à 48 milliards, les cotisations patronales accusent *ex post* un déficit d'environ 50 milliards. Par ailleurs, la recette à lever pour assurer la neutralité budgétaire *ex post* atteint 53 milliards pour la TVA et 55 milliards pour les impôts directs. Ces résultats s'expliquent par le fait que la forte création d'emploi enregistrée chez les travailleurs bas salaires ne se traduit pas par une forte augmentation des recettes de cotisations,

et ce pour deux raisons: le taux de prélèvement sur les "bas salaires" est très faible (le nouveau taux de cotisation des bas salaires est réduit de moitié par rapport à la situation de référence et porte sur un salaire peu élevé) et le niveau absolu de l'emploi créé dans cette catégorie demeure faible en niveau absolu (de l'ordre de 40 000 emplois sur une population active de 3 millions d'individus). Par contre, les pertes d'emplois dans la catégorie des autres salariés se traduisent par un manque à gagner très important en terme de recettes de cotisations patronales (plus de 6 milliards). À noter que les recettes d'impôt direct sont également handicapées par la réduction du volume de l'emploi des autres salariés. Au total, la réduction ciblée des CSE ne s'autofinance donc pas: elle coûte plus cher *ex post* qu'*ex ante*.

## C. Variantes modifiant les règles d'imposition directe

Pour solliciter les comportements des deux ménages et analyser l'arbitrage consommation - loisir, des simulations modifiant la progressivité de l'impôt sur le revenu ont été testées.

### 1. Spécification des variantes

Trois variantes de modification des règles d'imposition directe sont proposées<sup>1</sup>:

- la première consiste à accroître la progressivité du barème en diminuant le taux d'imposition sur les bas revenus et en l'augmentant sur les autres revenus; cette variante est réalisée de manière à maintenir inchangée la recette de l'impôt sur le revenu tout en obtenant un transfert de la charge de l'impôt de 0,25 % du PIB (soit 24 milliards de FB) entre les deux ménages<sup>2</sup>;
- la configuration inverse est proposée dans la seconde variante; techniquement, ces deux simulations sont réalisées en augmentant l'un des taux d'impôt sur le revenu de manière à générer 24 milliards de recettes supplémentaires *ex ante*; la neutralité budgétaire est obtenue en exogénéisant les recettes de l'impôt sur le revenu et en endogénéisant le taux d'imposition de l'autre ménage;
- enfin, la dernière variante met en œuvre une hausse homogène des taux de l'impôt sur le revenu pour les deux ménages compensée par une réduction de la TVA. La mesure est calibrée à 0,5 % du PIB avec neutralité budgétaire *ex post*.

Les résultats macroéconomiques de ces trois variantes sont exposés dans le tableau 19; les résultats sectoriels figurent dans le tableau 20 et les finances publiques dans le tableau 21.

---

1. Pour mémoire, ces simulations sont exclusivement destinées à tester les propriétés du modèle en jouant sur le comportement des ménages: elles ne sont pas à considérer comme "réalistes" ou "souhaitables", et leurs résultats ne peuvent pas être analysés en terme de répartition des revenus eu égard au nombre restreint de ménages considérés dans le modèle.

2. L'ampleur du choc est ici limitée par le montant de l'impôt acquitté par les bas salaires: 43 milliards.

## 2. Accroissement de la progressivité

La première simulation montre qu'un accroissement de la progressivité de l'impôt, avec recettes inchangées, se traduit par un impact négatif sur l'activité économique. Pour calibrer le transfert entre les deux ménages à 24 milliards, le taux d'imposition directe sur les bas revenus (revenus à peu près équivalents au salaire minimum) est diminué de manière endogène pour compenser la hausse de 2,2 % de l'impôt sur les autres revenus. *Ex post*, le taux d'impôt sur les bas revenus est alors réduit de plus de moitié. Ce transfert autorise un relèvement important du revenu disponible des bas salaires, corrélativement à une ponction nettement plus faible sur les autres revenus.

**TABLEAU 19 - Modification de l'imposition directe: résultats macroéconomiques**  
(différences en % par rapport à l'équilibre de référence)

	Accroissement de la progressivité	Diminution de la progressivité	Hausse de $\tau_L$ et $\tau_H$ et baisse de la TVA
PIB	-0,23	0,22	0,60
Consommation privée	-0,04	0,03	0,06
Investissement privé	-0,26	0,25	0,85
Consommation publique	0,03	-0,03	0,00
Demande finale intérieure	-0,05	0,05	0,15
Exportations	-0,26	0,24	0,69
Importations	-0,06	0,05	0,23
Prix à la consommation	0,18	-0,17	-1,44
Coût salarial (par tête)	0,00	0,00	0,01
- bas salaires	0,00	0,00	0,00
- autres salaires	0,00	0,00	0,00
Salaire réel	-0,19	0,18	1,47
Prix des importations	0,00	0,00	0,00
Prix des exportations	0,28	-0,26	-0,73
Prix de l'investissement	0,23	-0,22	-0,61
Prix de production	0,28	-0,26	-0,75
Taux d'intérêt (diff. en point de %)	0,05	-0,05	-0,13
Emploi	0,08	-0,07	-0,05
Revenu disponible nominal	0,09	-0,08	-1,30
Revenu disponible réel	-0,09	0,09	0,14
Intensité énergétique	0,11	-0,10	-0,22
Utilité "bas salaires"	0,02	-0,02	-0,17
Utilité "autres salaires"	0,03	-0,03	-0,11
Variation du revenu équivalent (en % du revenu)	0,03	-0,03	-0,12

Les effets qui s'exercent sont de signe opposé pour les deux ménages. L'alourdissement de l'impôt décourage l'offre de travail des travailleurs "autres salaires" et grève leur revenu, tandis que l'offre de travail est encouragée pour les "bas salaires" avec un soutien de leur revenu salarial. Il en résulte une baisse de la consommation privée pour la première catégorie (-0,76 %), mais une hausse pour la seconde (4,79 %). La combinaison de ces deux effets se traduit par un impact à peine négatif sur la consommation globale (pour mémoire, la consom-

mation des “bas salaires” représente environ 12 % de la consommation agrégée dans l'équilibre de référence).

**TABLEAU 20 - Modification de l'imposition directe: résultats sectoriels**  
(différences en % par rapport à l'équilibre de référence)

	Accroissement de la progressivité	Diminution de la progressivité	Hausse de $\tau_L$ et $\tau_H$ et baisse de la TVA
<b>Emploi</b>			
- bas salaires	0,11	-0,10	-0,12
- autres salaires	0,07	-0,06	-0,03
- secteur énergétique	0,10	-0,09	-0,26
- biens intermédiaires	-0,28	0,27	0,77
- autres industries	0,02	-0,02	0,04
- services marchands	0,12	-0,11	-0,13
<b>Revenus disponibles réels</b>			
- bas salaires	4,01	-3,89	1,04
- autres salaires	-0,93	0,90	-0,17
<b>Production</b>			
- énergie	-0,10	0,10	0,30
- biens intermédiaires	-0,35	0,33	0,95
- autres industries	-0,16	0,15	0,51
- services marchands	-0,03	0,02	0,27
<b>Prix de production</b>			
- secteur énergétique	0,43	-0,40	-1,15
- biens intermédiaires	0,31	-0,29	-0,82
- autres industries	0,30	-0,28	-0,81
- services marchands	0,21	-0,19	-0,55
<b>Exportations</b>			
- secteur énergétique	0,00	0,00	0,00
- biens intermédiaires	-0,45	0,42	1,22
- autres industries	-0,26	0,25	0,71
- services marchands	-0,13	0,13	0,36
<b>Importations</b>			
- secteur énergétique	-0,11	0,11	0,12
- biens intermédiaires	-0,20	0,19	0,58
- autres industries	0,02	-0,02	0,08
- services marchands	-0,08	0,07	0,31
<b>Consommation privée</b>			
- bas salaires	4,79	-4,62	1,28
- autres salaires	-0,76	0,74	-0,13
<b>Investissement privé</b>			
- secteur énergétique	-0,13	0,13	0,37
- biens intermédiaires	-0,37	0,35	1,01
- autres industries	-0,22	0,21	0,69
- services marchands	-0,28	0,26	0,95

L'accroissement de la progressivité se traduit, dans le modèle, par une réduction de la capacité de financement de l'économie suite à la contraction de l'épargne globale (en raison de la ponction effectuée sur l'épargne de la catégorie "autres salariés"). L'élévation correspondante du taux d'intérêt, à l'origine de la hausse des prix de production, et la modification de la structure de la consommation induisent les effets macroéconomiques. Repli de l'investissement et des exportations expliquent alors la baisse du PIB. Le relèvement du volume de travail de 0,08 % se traduit, pour des raisons sectorielles (soutien relatif aux services marchands), par un recours légèrement en faveur des travailleurs à bas salaires (hausse de 0,11 %, contre 0,07 % pour les autres salariés).

Cette première variante se révèle bénéfique pour les finances publiques puisque, pour une recette d'impôt direct inchangée par hypothèse, l'ensemble des recettes fiscales et para-fiscales s'améliore de 1,5 milliard. Ce supplément incombe de manière indifférenciée aux taxes indirectes (qui bénéficient de la hausse du niveau général des prix et de la stabilisation de la consommation privée) et aux cotisations sociales (soutenues par l'accroissement du volume de travail). Pour les deux ménages, la variante se traduit par une légère amélioration de bien-être.

### 3. Réduction de la progressivité

La variante suivante est symétrique: elle procède à une réduction de la progressivité de l'impôt sur le revenu, sous contrainte d'une recette inchangée. L'enveloppe est également fixée à 0,25 % du PIB. Cette variante exige que le taux d'impôt sur les bas revenus, du fait d'une assiette très faible, soit augmenté de plus de 54 %. L'impôt sur les autres revenus n'est, quant à lui, diminué que de 5 %. On vérifie que les effets sont qualitativement symétriques à ceux de la variante précédente: l'alourdissement de l'impôt décourage l'offre de travail pour les bas salaires et grève leur revenu. Ce mécanisme dépressif est cependant compensé grâce à l'accroissement de l'épargne disponible et, subséquemment, le repli du taux d'intérêt. Il en résulte une expansion de l'activité économique accompagnée d'une faible réduction du volume de travail. Les non linéarités présentes dans le modèle justifient que les variations ne soient pas exactement symétriques à celles de la simulation précédente.

### 4. Hausse de l'impôt et baisse de la TVA

La dernière variante procède à une hausse uniforme de taux d'impôt sur le revenu compensée par une réduction des taux de TVA sur toutes les catégories de consommation. L'augmentation du taux de l'impôt est identique, en pourcentage, pour les deux types de ménages. Les taux d'imposition sont réduits de 4,2 % et compensés par une hausse des taux de TVA de 9,3 %, soit l'équivalent de 2 points de pourcentage sur le taux normal. La neutralité budgétaire est déterminée *ex ante* pour un transfert de 0,5 % du PIB, soit environ 48 milliards. Deux effets jouent de manière concurrente. La baisse des taux de TVA provoque une repli mécanique du niveau général des prix (-1,44 %) qui accroît d'autant le pouvoir d'achat des ménages et soutient la consommation. Par ailleurs, l'alourdissement de l'impôt sur les revenus salariaux décourage l'offre de travail en dégradant le revenu disponible et déprime la consommation privée. La combinaison de ces deux effets sur l'arbitrage consommation - loisir a pour résultat

une légère augmentation de la consommation totale et une réduction du volume de travail.

Les effets sont cependant différents selon le ménage considéré. L'élévation du revenu disponible réel est exclusivement concentrée chez les bas salaires, tandis que les autres salariés voient leur revenu légèrement ponctionné. L'influence d'une réduction du taux marginal d'imposition sur le revenu disponible est en effet fonction du niveau du salaire. On constate que l'augmentation d'impôt ronge quasiment la totalité du revenu réel supplémentaire par tête généré par la baisse des prix pour les ménages non bas salaires. Leur arbitrage consommation - loisir est donc à peine altéré par rapport à l'équilibre initial, ce qui n'est pas le cas des ménages à bas salaire pour lesquels la variante autorise une augmentation de la consommation. En contrepartie, le volume d'emploi se réduit davantage pour les travailleurs bas salaires (-0,12 %), alors qu'il demeure presque inchangé pour les autres.

**TABLEAU 21 - Modification de l'imposition directe: finances publiques**  
(différences en milliards de FB par rapport à l'équilibre de référence)

	Accroissement de la progressivité	Diminution de la progressivité	Hausse de $\tau_L$ et $\tau_H$ et baisse de la TVA
Recettes courantes	1,58	-1,51	-0,59
- taxes indirectes	0,45	-0,42	-47,61
TVA	0,45	-0,42	-47,61
taxe CO <sub>2</sub> /énergie	0,00	0,00	0,00
- impôts directs	0,00	0,00	47,62
bas salaires	-24,76	23,93	1,77
autres salaires	24,76	-23,93	45,84
- cotisations à la Sécurité sociale	1,13	-1,09	-0,59
* entreprises	0,84	-0,81	-0,44
sur bas salaires	0,12	-0,11	-0,13
sur autres salaires	0,72	-0,69	-0,31
* ménages	0,29	-0,28	-0,15
bas salaires	0,05	-0,04	-0,05
autres salaires	0,24	-0,23	-0,10
Dépenses courantes	1,58	-1,51	-0,59
- consommation publique	0,45	-0,42	0,00
- prestations sociales	1,13	-1,09	-0,59
Solde courant des Administrations Publiques	0,00	0,00	0,00

À peine néfaste pour les finances publiques, cette simulation se traduit par un manque à gagner de 0,6 milliards sur les recettes. La réduction de l'impôt sur le revenu atteint, *ex post*, quelque 47 milliards (pour 48 milliards *ex ante*) dont, évidemment, une portion congrue au titre des bas revenus (moins de 2 milliards). Cette perte est exactement compensée par la hausse de la TVA. Cependant, l'évolution de l'emploi provoque une baisse légère des recettes liées aux cotisations employeurs et personnelles. Partant, les transferts aux ménages se voient également réduits.

Exprimé en variation du revenu équivalent, le bien-être des ménages est dégradé dans cette simulation; ce résultat confirme ceux obtenus par d'autres modèles d'équilibre général appliqués, notamment Schubert et Letournel (1991).

## D. Variantes de taxation des énergies fossiles

Les variantes entreprises ici s'inspirent directement de la proposition communautaire de taxation des énergies fossiles élaborée en 1992, à savoir une taxation mixte des produits énergétiques assise à la fois sur le contenu énergétique et le contenu en carbone (CCE, 1992). Cette taxe, calibrée de manière à être équivalente à une taxe de 10 \$ par baril de pétrole, pénalise les produits au contenu en carbone le plus élevé (charbon, produits pétroliers) au profit du gaz et de l'électricité. Elle lève *grosso modo* une recette de l'ordre de 1,4 % du PIB *ex ante*.

### 1. Spécification des variantes

Quatre simulations sont proposées suivant la manière dont la recette de la taxe CO<sub>2</sub>/énergie est ré-injectée dans l'économie:

- pas d'hypothèse sur le recyclage de la recette; celle-ci entraîne donc une hausse endogène des dépenses publiques;
- réduction des impôts directs sur le revenu; la réduction est identique en pourcentage pour les deux types de ménages;
- réduction de la TVA sur l'ensemble des catégories de consommation, sauf postes énergétiques;
- réduction généralisée des cotisations sociales employeurs; la réduction du taux de cotisation est identique en pourcentage pour les deux types de main-d'œuvre.

Les trois dernières variantes sont réalisées sous hypothèse de neutralité budgétaire *ex post*, ce qui se traduit par des dépenses publiques inchangées par rapport à l'équilibre de référence. Le tableau 22 présente les résultats macroéconomiques de ces variantes et le tableau 23 les résultats sectoriels. L'impact sur les émissions de gaz à effet de serre est présenté dans le tableau 24 par type de gaz et par secteur d'activité. Enfin, les finances publiques sont présentées dans le tableau 25.

### 2. Résultats macroéconomiques

L'influence exercée par la taxe CO<sub>2</sub>/énergie sur l'activité économique est fortement marquée par la manière dont la recette de la taxe est ré-injectée dans l'économie. De nettement récessive (cas du recyclage par les dépenses publiques ou l'impôt direct), la combinaison se révèle positive pour l'activité dans le cas d'une réduction des CSE. L'effet sur le niveau général des prix est également tantôt marqué à la hausse, tantôt à la baisse (réduction de la TVA et des CSE).

**TABLEAU 22 - Taxe CO<sub>2</sub>/énergie et modalités de recyclage de la recette: résultats macroéconomiques**  
(différences en % par rapport à l'équilibre de référence)

	Taxe CO <sub>2</sub> /énergie seule	Taxe CO <sub>2</sub> /énergie + baisse des impôts directs	Taxe CO <sub>2</sub> /énergie + baisse de la TVA	Taxe CO <sub>2</sub> /énergie + baisse des CSE
PIB	-2,84	-2,20	-0,75	1,69
Consommation privée	-3,41	0,74	1,19	0,87
Investissement privé	-5,02	-2,23	-0,04	1,72
Consommation publique	8,09	0,00	0,00	0,00
Demande finale intérieure	-0,88	0,15	0,73	0,78
Exportations	-4,54	-3,38	-1,83	1,21
Importations	-2,56	-0,90	-0,18	0,20
Prix à la consommation	3,92	3,14	-0,96	-0,81
Coût salarial (par tête)	-0,07	-0,06	-0,04	-3,90
- bas salaires	0,00	0,00	0,00	-3,55
- autres salaires	0,00	0,00	0,00	-3,95
Salaire réel	-3,84	-3,10	0,93	0,82
Prix des importations	0,00	0,00	0,00	0,00
Prix des exportations	4,67	3,34	1,60	-1,83
Prix de l'investissement	3,35	2,19	0,68	-1,93
Prix de production	4,40	3,10	1,41	-1,95
Taux d'intérêt (diff. en point de %)	0,53	0,28	-0,05	-0,41
Emploi	-0,55	0,75	0,89	1,92
Revenu disponible nominal	-0,54	4,13	0,81	1,16
Revenu disponible réel	-4,29	0,97	1,79	1,99
Intensité énergétique	-7,94	-5,02	-6,49	-8,02
Utilité "bas salaires"	-0,02	0,17	0,16	0,25
Utilité "autres salaires"	-0,34	0,32	0,41	0,98
Variation du revenu équivalent (en % du revenu)	-0,29	0,29	0,37	0,85

Les mécanismes engendrés par ces combinaisons sont complexes. L'élévation du prix des produits énergétiques, différenciée selon leur contenu en carbone, provoque en premier lieu des substitutions inter-énergétiques de manière à minimiser l'accroissement de la charge fiscale. Puis s'exercent les substitutions entre les facteurs de production (pour les entreprises) et les postes de la consommation privée (pour les deux ménages). En résulte alors l'impact de la taxe sur les prix de production et une ponction sur le revenu disponible réel à l'origine des effets récessifs. L'élévation des prix décourage la consommation privée tandis que la hausse des coûts de production provoque une baisse du volume des exportations et une substitution importante au profit des importations. Les importations énergétiques sont également fortement réduites par la contraction de la demande.

Parallèlement, les quatre modalités de redistribution de la recette de la taxe ont des impacts macrosectoriels différents:

- l'accroissement des dépenses publiques soutient l'activité des secteurs livreurs (autres industries et services marchands) mais ne tempère pas l'accroissement des prix et des coûts: la demande, tant domestique qu'extérieure, demeure réduite;
- la réduction des impôts directs exerce un effet bénéfique sur les revenus disponibles nominaux mais ne modère pas l'effet de la taxe sur les prix: l'effet positif final sur le volume de la consommation privée en est atténué tandis que les autres composantes de la demande restent en recul;
- la réduction de la TVA parvient à compenser l'impact de la taxe sur l'indice des prix à la consommation, ce qui se révèle finalement plus bénéfique sur le revenu réel que la combinaison précédente;
- enfin, la réduction des cotisations sociales employeurs renforce les substitutions en faveur de l'emploi et permet une réduction du prix de production pour les secteurs les moins intensifs en énergie (services marchands et autres industries); des effets positifs en résultent en terme de revenus distribués et d'évolution des coûts.

On constate que l'introduction de la taxe seule provoque une réduction de bien-être importante, mais que les différentes modalités de redéploiement fiscal se traduisent par un accroissement de l'utilité (moins accentué pour les bas salaires); le gain maximal est obtenu pour la variante de réduction des CSE.

### 3. Résultats sectoriels

L'examen des résultats sectoriels révèle la disparité des impacts de chaque combinaison suivant le secteur considéré. On remarque notamment la forte sensibilité du secteur des biens intermédiaires à une taxation des énergies fossiles et aux pertes de compétitivité qui en résultent: ce secteur enregistre un recul d'activité dans les quatre combinaisons examinées. D'autres secteurs, notamment les services marchands, tirent rapidement leur épingle du jeu, mais seule la réduction des CSE autorise une réduction nette des coûts de production pour la plupart des secteurs et, partant, un regain relativement homogène d'activité.

**TABLEAU 23 - Taxe CO<sub>2</sub>/énergie et modalités de recyclage de la recette: résultats sectoriels**  
*(différences en % par rapport à l'équilibre de référence)*

	Taxe CO <sub>2</sub> /énergie seule	Taxe CO <sub>2</sub> /énergie + baisse des impôts directs	Taxe CO <sub>2</sub> /énergie + baisse de la TVA	Taxe CO <sub>2</sub> /énergie + baisse des CSE
<b>Emploi</b>				
- bas salaires	-0,02	1,25	1,22	1,86
- autres salaires	-0,69	0,63	0,81	1,93
- secteur énergétique	-3,23	-1,68	-2,89	-2,43
- biens intermédiaires	-6,34	-4,75	-3,01	0,13
- autres industries	-0,62	0,18	0,53	1,91
- services marchands	-0,09	1,39	1,38	2,14
<b>Revenus disponibles réels</b>				
- bas salaires	-4,07	-1,46	1,74	1,74
- autres salaires	-4,38	1,83	1,86	2,14
<b>Production</b>				
- énergie	-6,24	-3,97	-3,85	-3,03
- biens intermédiaires	-7,89	-6,04	-3,95	-0,82
- autres industries	-2,84	-1,29	0,08	1,75
- services marchands	-2,29	-0,12	0,83	1,83
<b>Prix de production</b>				
- secteur énergétique	3,81	3,01	1,95	0,37
- biens intermédiaires	7,91	6,39	4,42	1,41
- autres industries	4,45	2,90	0,90	-2,50
- services marchands	3,06	2,06	0,76	-3,11
<b>Exportations</b>				
- secteur énergétique	-0,45	-0,31	-0,12	0,16
- biens intermédiaires	-10,55	-8,67	-6,14	-2,03
- autres industries	-3,68	-2,44	-0,77	2,21
- services marchands	-1,94	-1,32	-0,49	2,07
<b>Importations</b>				
- secteur énergétique	-9,11	-6,28	-6,25	-5,55
- biens intermédiaires	-4,25	-2,50	-1,02	0,81
- autres industries	-1,11	0,43	0,88	0,57
- services marchands	-2,46	-1,04	-0,16	0,28
<b>Consommation privée</b>				
- bas salaires	-4,86	-1,91	1,93	1,84
- autres salaires	-3,19	1,14	1,07	0,72
<b>Investissement privé</b>				
- secteur énergétique	-5,92	-3,31	-3,02	-2,09
- biens intermédiaires	-7,35	-5,37	-3,08	0,25
- autres industries	-3,28	-1,45	0,31	2,16
- services marchands	-5,16	-1,85	0,72	2,30

#### 4. Émissions de gaz à effet de serre

Les émissions de gaz à effet de serre (GES) sont appréhendées gaz par gaz (CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> et N<sub>2</sub>O) et en équivalent-CO<sub>2</sub> en utilisant les indices de potentiel de réchauffement global. Ce dernier indicateur révèle l'impact global de la combinaison simulée en terme de contribution à l'effet de serre.

**TABLEAU 24 - Taxe CO<sub>2</sub>/énergie et modalités de recyclage de la recette: émissions de gaz à effet de serre (différences en % par rapport à l'équilibre de référence)**

	CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O	Total en équivalent CO <sub>2</sub>
Taxe CO <sub>2</sub> /énergie				
Secteurs énergétiques	-11,86	-15,74	-19,87	-16,33
Biens intermédiaires	-10,43	-8,18	-8,05	-8,24
Autres industries	-7,55	-5,98	-7,57	-7,55
Services marchands	-9,48	-11,14	-10,90	-10,13
Ménages	-9,76	-2,26	-10,32	-7,58
Total	-9,99	-0,95	-6,25	-6,02
Intensité de la production en GES	-6,66	3,38	-2,31	-2,24
Intensité de la consommation privée en GES	-6,57	1,19	-7,16	-4,32
Taxe CO <sub>2</sub> /énergie + réduction des impôts directs				
Secteurs énergétiques	-8,73	-11,58	-14,62	-12,01
Biens intermédiaires	-8,85	-6,40	-6,23	-6,44
Autres industries	-6,34	-5,04	-6,40	-6,37
Services marchands	-7,49	-9,01	-8,79	-8,08
Ménages	-6,53	1,78	-5,51	-3,30
Total	-7,65	0,34	-4,59	-4,32
Intensité de la production en GES	-6,21	1,51	-2,77	-2,75
Intensité de la consommation privée en GES	-7,22	1,03	-6,21	-4,02
Taxe CO <sub>2</sub> /énergie + réduction de la TVA				
Secteurs énergétiques	-8,71	-11,56	-14,58	-11,99
Biens intermédiaires	-7,14	-4,40	-4,17	-4,40
Autres industries	-5,41	-4,44	-5,53	-5,48
Services marchands	-6,41	-7,79	-7,60	-6,96
Ménages	-6,59	2,44	-5,34	-3,02
Total	-6,99	0,58	-3,65	-3,52
Intensité de la production en GES	-6,57	0,29	-2,97	-3,07
Intensité de la consommation privée en GES	-7,68	1,24	-6,45	-4,15
Taxe CO <sub>2</sub> /énergie + réduction des CSE				
Secteurs énergétiques	-8,00	-10,62	-13,40	-11,02
Biens intermédiaires	-4,63	-1,42	-1,10	-1,37
Autres industries	-4,64	-4,14	-4,85	-4,78
Services marchands	-6,52	-7,72	-7,56	-7,00
Ménages	-6,74	2,22	-5,39	-3,14
Total	-6,33	0,53	-2,29	-2,45
Intensité de la production en GES	-7,21	-1,25	-3,00	-3,35
Intensité de la consommation privée en GES	-7,54	1,34	-6,20	-3,97

Globalement, le niveau des émissions est réduit, ainsi que l'intensité de la production et de la consommation privée en GES. Quelle que soit la combinaison, la réduction la plus forte de GES est enregistrée pour le secteur des biens intermé-

diaires, sauf dans le cas de réduction des CSE qui renforce les substitutions dans le secteur des services. Les émissions de CO<sub>2</sub> reflètent exactement (aux coefficients d'émissions près) la modification des consommations énergétiques par produit. De manière générique, les deux autres gaz considérés, rattachés en majeure partie aux consommations énergétiques par produit, voient leurs émissions suivre celles du CO<sub>2</sub>. C'est en particulier le cas pour le N<sub>2</sub>O. Les émissions de CH<sub>4</sub> sont en outre influencées par le comportement des autres catégories de consommation privée, ce qui explique la hausse de la part des ménages sitôt que la consommation globale est relevée. En terme d'équivalent-CO<sub>2</sub>, le recyclage de la recette de la taxe en diminution des prélèvements obligatoires réduit de moitié l'impact de la taxe CO<sub>2</sub>/énergie sur les émissions; par contre, l'intensité en GES de la production est améliorée lorsque la taxation sur le facteur travail est allégée.

## 5. Finances publiques

Le tableau des finances publiques montre que la recette levée par la taxe CO<sub>2</sub>/énergie va *ex post* de 141 à 151 milliards de FB suivant la variante considérée. On retrouve les mécanismes déjà évoqués dans les variantes précédentes, notamment l'influence positive sur les recettes de TVA d'une élévation du niveau général des prix; le meilleur exemple est fourni par la variante de réduction des impôts directs qui allie hausse du volume de la consommation privée et hausse des prix.

**TABLEAU 25 - Taxe CO<sub>2</sub>/énergie et modalités de recyclage de la recette: finances publiques**  
(différences en milliards de FB par rapport à l'équilibre de référence)

	Taxe CO <sub>2</sub> /énergie seule	Taxe CO <sub>2</sub> /énergie + baisse des impôts directs	Taxe CO <sub>2</sub> /énergie + baisse de la TVA	Taxe CO <sub>2</sub> /énergie + baisse des CSE
Recettes courantes	123,86	23,37	46,82	20,14
- taxes indirectes	141,31	168,94	23,98	153,09
TVA	-0,20	20,37	-125,10	1,40
taxe CO <sub>2</sub> /énergie	141,51	148,57	149,09	151,68
- impôts directs	-7,56	-156,44	9,41	21,99
bas salaires	-0,01	-5,72	0,53	0,81
autres salaires	-7,55	-150,72	8,88	21,18
- cotisations à la Sécurité sociale	-9,88	10,88	13,43	-154,94
* entreprises	-7,40	8,09	10,01	-162,65
sur bas salaires	-0,03	1,37	1,34	-15,15
sur autres salaires	-7,37	6,72	8,66	-147,49
* ménages	-2,48	2,78	3,42	7,72
bas salaires	-0,01	0,53	0,52	0,79
autres salaires	-2,47	2,25	2,90	6,93
Dépenses courantes	124,09	10,88	13,43	7,72
- consommation publique	133,97	0,00	0,00	0,00
- prestations sociales	-9,88	10,88	13,43	7,72
Solde courant des Administrations Publiques	0,00	0,00	0,00	0,00



## Références bibliographiques

- Armington P.S. (1969), "The geographic pattern of trade and the effects of prices changes", IMF Staff Papers, n° 16, pp. 176-199.
- Artus P., Muet P.A. (1980), "Une étude comparative des propriétés dynamiques de dix modèles américains et de cinq modèles français", *Revue Économique*, n° 1, pp. 88-120.
- Bayar A.H. (1994), "Taxation et environnement : une politique à double bénéfice ?", Communication au 11<sup>ème</sup> Congrès des Économistes belges de langue française, Commission 1, pp. 221-231.
- Beaumais O. (1995), *Une réinterprétation des politiques de l'environnement par les modèles*, Thèse de Doctorat en Sciences Économiques, Université de Paris I.
- Beaumais O., Schubert K. (1994), "Équilibre général appliqué et environnement : de nouveaux comportements pour le consommateur et le producteur", *La Revue Économique*, Vol. 45, n° 3, pp. 905-916.
- Beaumais O., Schubert K. (1996), "Les modèles d'équilibre général appliqués à l'environnement: développements récents", *Revue d'Économique Politique*, Vol. 106, n° 3, pp. 355-380.
- Bergman L. (1988), "Energy policy modeling : a survey of general equilibrium approaches", *Journal of Policy Modeling*, Vol. 10, n° 3, pp. 377-399.
- Bernheim B.D., Scholz J.K., Shoven J.B. (1989), "Consumption taxation in a general equilibrium model : how reliable are simulation results ?", document de travail, Department of Economics, Stanford University.
- Borges A.M. (1986), "Les modèles appliqués d'équilibre général: une évaluation de leur utilité pour l'analyse des politiques économiques", *Revue Économique de l'OCDE*, n°7, p.7-48.
- Bossier F., Bréchet Th., Strel C. (1991), "Variantes techniques et de politique économique avec le modèle Hermès en prix 1980", Bureau fédéral du Plan, Direction Générale, Bruxelles.

- Bossier F., *et al.* (1993), "A macrosectoral model for the Belgian economy" in *Hermes : Harmonized Econometric Research for Modelling Economic Systems*, C.E.C (ed.), North-Holland, chapter 4, pp. 112.
- Bovenberg A.L., Graafland J.J., de Mooij R.A. (1998), "Tax reform and the Dutch labor market : an applied general equilibrium approach", Research Memorandum n° 143, Centraal Planbureau, Den Haag.
- Bracke I., Bréchet Th. (1996), "Construction of an allocation system for private consumption in Europe", Rapport à la DG XII de la Commission Européenne, Programme JOULE III.
- Bréchet Th. (1992), "Energy tax in Europe : a VAT variant with Hermes-Link", Document de travail Érasme, Université Paris I - École Centrale de Paris.
- Bréchet Th. (1995), "Projet de modèle d'équilibre général : une description complète du modèle", Bureau fédéral du Plan, Direction Générale.
- Bréchet Th. (1998a), "Les impacts macro-budgétaires d'une réduction des cotisations patronales ciblées sur les bas salaires : l'analyse du modèle SPOT", Bureau fédéral du Plan, Direction Générale, Bruxelles.
- Bréchet Th. (1998b), "Tests de sensibilité sur les variantes de réduction des cotisations patronales ciblées sur les bas salaires", Bureau fédéral du Plan, Direction Générale, Bruxelles.
- Bréchet Th. (1999), "SPOT : le manuel de référence", Bureau fédéral du Plan, Direction Générale, Bruxelles.
- Bréchet Th., Lemiale L., Streel C., Van Brusselen P. (1995), "Les effets d'une réduction du coût salarial ciblée sur les bas salaires", *Les Cahiers Économiques de Bruxelles*, no. 146, 2<sup>ème</sup> trimestre, pp. 149-173.
- Burniaux J.M., Martin J.P., Nicoletti G., Oliveira Martins J. (1992), "GREEN - a multi-sector, multi-region general equilibrium model for quantifying the costs of curbing CO<sub>2</sub> emissions : a technical manual", OECD Working Papers, n° 116, Paris.
- Commission des Communautés Européennes (1992), "Proposition de directive du Conseil instaurant une taxe sur les émissions de dioxyde de carbone et sur l'énergie", Journal Officiel des Communautés Européennes, COM(92)226 final, Bruxelles.
- Complaiville C., O. Martins J. (1994), "NO<sub>x</sub>/SO<sub>x</sub> emissions and carbon abatement", *Working Paper* n° 151, OECD.
- Deaton A., Muellbauer J. (1980), *Economics and consumer behavior*, Cambridge University Press.

- Érasme (1994), "MÉGAPESTES : manuel de l'utilisateur", *Document de travail Érasme*, Université de Paris I & École Centrale de Paris.
- Farmer K., Steininger K. (1994), "Sustainable air quality and sectorial production in an intertemporal CGE-model of Austria", *Proceedings of the International Symposium "Exclusive or Complementary Approaches of Sustainability ?"*, Paris, Vol. 2, pp. 281-292.
- Fodha M., Kany F., Lemiale L. (1996), "Une évaluation de l'impact des politiques fiscales de l'environnement sur la structure à long terme de l'économie française", *Communication au Colloque International : "Quel environnement au XXIème siècle ? Environnement, maîtrise du long terme et démocratie"*, Fontevraud, 8-11 septembre.
- Frankel J.A. (1998), "What kind of research on climate change economics would be of greatest use to policy-makers ?", *Proceedings of Workshop on Climate Change and Economic Modeling: Background Analysis for the Kyoto Protocol*, OCDE, 17-18 septembre, Paris.
- Gelauff G.M.M., Graafland J.J. (1994), *Modelling Welfare State Reform*, North-Holland.
- Goulder L.H. (1992), "Do the cost of a carbon tax vanish when interactions with other taxes are accounted for ?", *NBER Working Paper*, n° 4061.
- Grubb M. (1993), "Policy modelling for climate change : the missing models", *Energy Policy*, Vol. 21, n° 3, pp. 203-208.
- Hamermesch D. (1993), *Labor Demand*, Princeton, Princeton University Press.
- Harrisson G.W., Vinod H.D. (1992), "The sensitivity analysis of applied general equilibrium models : completely randomized factorial sampling designs", *Review of Economics and Statistics*, Vol. 79, pp. 357-362.
- Institut National de Statistique (1997), *Enquête sur le Budget des Ménages - 1995/1996*.
- Jamar de Bolsée M.A., Verlinden J. (1994), "Projet MODTRIM : description du modèle dans sa version annuelle", *Planning Paper 67*, Bureau fédéral du Plan, Bruxelles.
- Jorgenson D.W., Slesnick D.T., Wilcoxon P.J. (1992), "Carbon taxes and economic welfare", *Brookings Papers : Microeconomics 1992*, pp. 393-431.
- Jorgenson D.W., Wilcoxon P.J. (1993), "Reducing US carbon emissions : an econometric general equilibrium assessment", *Resource and Energy Economics*, Vol. 15, pp. 7-25.

- Kehoe T.J. (1996), "Social accounting matrices and applied general equilibrium models", Federal Reserve Bank of Minneapolis, Research Department, Working Paper n° 563.
- Laffargue J.P. (1996), "Fiscalité, charges sociales, qualifications et emploi - étude à l'aide du modèle d'équilibre général calculable de l'économie française : Julien", *Économie et Prévision*, n° 125, pp. 87-105.
- Letournel P.Y., Schubert K., Trainar Ph. (1992), "L'utilisation des modèles d'équilibre général calculables dans l'évaluation de la politique fiscale", *Revue Économique*, Vol. 43, n° 4, pp. 709-724.
- Levy-Garboua V. (1992), "Pourquoi la prévision modélisée déçoit-elle ?", *Revue Économique*, Vol. 43, n° 4, pp. 591-602.
- Lucas R.E. (1976), "Econometric policy evaluation : a critique", in : Brunner K., Meltzer A.H. (eds), *The Phillips Curve and Labor Markets*, North-Holland, Amsterdam.
- Manne A.S., Richels R.G. (1990), "CO<sub>2</sub> emission limits : an economic analysis for the USA", *The Energy Journal*, 11(2), pp. 51-74.
- McKibbin W.J., Wilcoxon P.J. (1992), "G-Cubed: a dynamic multi-sector general equilibrium model of the global economy", *Brookings Discussion Papers in International Economics*, n° 98.
- Mensbrugge D.V.D. (1994), "Green: the reference manual", OECD, *Working Paper*, n° 143.
- Ministère des Affaires sociales, de la Santé publique et de l'Environnement (1997), Première Communication Nationale belge conformément aux articles 4 et 12 de la Convention, Convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques, janvier 1997.
- Parry I.W.H. (1995), "Pollution taxes and revenue recycling", *Journal of Environmental Economics and Management*, Vol. 29, pp. 64-77.
- Pissarides C. (1990), *Equilibrium unemployment theory*, Basil Blackwell, Oxford.
- Press W., Teukolsky S., Vetterling W., Flannery B. (1992), *Numerical recipes in C - the art of scientific computing*, Cambridge University Press, Seconde édition.
- Proost S., Van Regemorter D. (1993), "Policy modeling and the interactions environment - economy in the field of energy in Europe: past experience and skeleton for new models", KUL, *CES Discussion Paper n° 30*.
- Ragot L. (1997), *Croissance économique durable et pollution: un essai d'interprétation formalisée*, Thèse de doctorat en Sciences Économiques, Université de Paris I.

- Roberts B.M., Zolkiewski Z. (1996), "Modelling income distribution in countries in transition : a computable general equilibrium analysis for Poland", *Economic Modelling*, Vol. 13, n° 1, pp. 67-90.
- Schubert K. (1993), "Les modèles d'équilibre général calculable : une revue de la littérature", *Revue d'Économie Politique*, n° 103, pp. 775-826.
- Schubert K., Letournel P.Y. (1991), "Un modèle d'équilibre général appliqué à l'étude de la fiscalité française : résultats de long terme", *Économie et Prévision*, n° 112.
- Sheraga J.D., Leary N.A., Goettle R.J., Jorgenson D.W., Wilcoxon P.J. (1993), "Macroeconomic modeling and the assessment of climate change impacts", forthcoming in "Costs, impacts and possible benefits of CO<sub>2</sub> mitigation", IIASA Collaborative Paper Series, Vol. CP-93-2.
- Shoven J.B., Whalley J. (1984), "Applied general equilibrium models of taxation and international trade - an introduction and a survey", *Journal of Economic Literature*, Vol. XXII, n° 3, pp. 1007-1051.
- Shoven J.B., Whalley J. (1992), *Applying General Equilibrium*, Cambridge University Press.
- Sims C.A. (1980), "Macroeconomics and reality", *Econometrica*, Vol. 48, pp. 1-48.
- Standaert S. (1992), "The macro-sectoral effects of an EC-wide energy tax : simulation experiments for 1993-2005", *European Economy*, Special Edition n° 1, pp. 127-153.
- Wilcoxon P.J. (1988), *The Effects of Environmental Regulation and Energy Prices on U.S. Economic Performance*, Ph. D Thesis, Harvard University.





## Annexe: Agrégation de la NACE-CLIO R25 à la nomenclature SPOT

NACE-CLIO R25		Secteurs HERMÈS_I		Secteurs SPOT	
		dénomination	code	dénomination	code
1.	Agriculture	} Agriculture	A	} Industrie	3
2.	Energie	} Energie	E	} Energie	1
3.	Métaux ferreux et non ferreux	} Biens intermédiaires	Q	} Biens intermédiaires	2
4.	Minéraux non métalliques				
5.	Produits chimiques				
6.	Produits en métaux	} Biens d'équipement	K	} Industrie	3
7.	Machines agricoles et industrielles				
8.	Machines de bureau...				
9.	Matériel et fournitures électriques				
10.	Moyens de transport				
11.	Produits alimentaires, boissons, tabacs	} Biens de consommation	C	} Industrie	
12.	Textiles, cuirs et chaussures, habillement				
13.	Papier, impression				
14.	Caoutchouc, plastique				
15.	Autres produits industriels				
16.	Construction	} Construction	B		
17.	Récupération, commerce, réparation	} Services marchands	L	} Services marchands	4
18.	HORECA				
19.	Transport intérieur	} Transport et communications	Z	} Services marchands	
20.	Transport maritime et aérien				
21.	Services annexes de transport				
22.	Communications				
23.	Institutions de crédit et d'assurance	} Services marchands	L	} Services marchands	
24.	Autres services marchands				
25.	Services non marchands	} Services non marchands	N	} Services non marchands	5





