

Programme de recherche GICC 2001

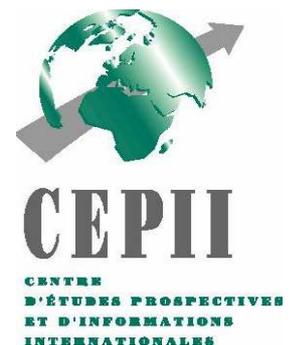
**Renforcement
des capacités
de scénarisation
à long terme :**

**maîtrise des données,
couplage des modèles**

Rapport final

Convention CNRS-MATE N°3/2001 du 7 décembre 2001

Avril 2004



Renforcement des capacités de scénarisation à long terme : maîtrise des données, couplage des modèles

Mots-clefs scénarisation, bases de données, couplage, modèles

Thème GICC Thème 4 : mesures d'accompagnement

Coordinateurs

Jean-Charles Hourcade	Jean-Yves Grandpeix
Directeur de recherche CNRS	Chargé de recherche CNRS
Directeur du CIRED	
CIRED	LMD
Campus du Jardin tropical	4, place Jussieu
45 b., avenue de la Belle Gabrielle	Boîte 99
94 736 Nogent-sur-Marne CEDEX	75 252 PARIS CEDEX 05
tél : 01 43 94 73 73	tél : 01 44 27 50 15
fax : 01 43 94 73 70	fax : 01 44 27 62 72
mél : hourcade@centre-cired.fr	mél : grandpeix@lmd.jussieu.fr

Organismes gestionnaire des crédits GIP-Médias France / CNRS

Partenaires

CIRED (UMR CNRS 8568)

Naceur Chaabane (IR-CNRS)
Frédéric Gherzi (CR-CNRS, chercheur CECO associé au CIRED)
Stéphane Hallegatte (Météo-France, chercheur associé au CIRED)
Mérim Hamdi-Chérif (doctorante)
Venance Journée (CR-CNRS)
Patrick Mabire (IE-CNRS)
Aïcha Ouahon (chercheur associé)

CEPII

Nina Kousnetzoff (Chercheur)

LEPII-EPE (FRE CNRS 2664)

Patrick Criqui (DR-CNRS)

LMD (UMR CNRS 8539)

Hervé le Treut (DR-CNRS)
Jean-Yves Grandpeix (CR-CNRS)
Alain Lahellec (IR-CNRS)

Résumé

Les travaux présentés dans ce rapport sont le fruit de deux années de collaboration entre quatre institutions partageant à des degrés divers un thème de recherche commun, celui du changement climatique.

Ils sont motivés, à l'origine, par le constat persistant—dressé à la lecture des résumés pour décideurs du troisième rapport d'évaluation du GIEC—d'un manque de cohérence, à la fois dans l'élaboration des scénarios socio-économiques d'émissions de gaz à effet de serre (GES), et dans leur utilisation pour évaluer les coûts du changement climatique.

Les clés d'un progrès conjoint sur ces deux plans résident en fait dans une élucidation des relations complexes unissant les champs de prospective sous-jacents à la problématique traitée : les conséquences de long-terme du changement climatique, tout comme celles des politiques de mitigation ou d'adaptation qu'il suscite, sont à étudier à la confluence de la climatologie, de l'économie, de la démographie, ainsi que de l'évolution des techniques de production et de consommation d'énergie, principales sources de GES anthropiques. Corollaire immédiat de cette prise de conscience : la collaboration entre ces champs prospectifs, variés tant par leur contenu que par la « culture » des chercheurs qui les portent, tout comme l'obtention d'un progrès réel en matière de maîtrise scientifique des résultats produits, supposent en préalable la construction de bases d'information fiables et harmonisées dans l'ensemble des domaines concernés.

Dans cette perspective, le programme de recherche dont les travaux sont présentés ici s'est engagé dans des directions particulières, ne se limitant pas à la production de résultats scientifiques directement exploitables, mais s'orientant aussi très fortement vers la production d'outils d'appui à la production de tels résultats. Deux angles d'approche ont été suivis.

Une première partie des efforts de recherche ont été menés sur le couplage de modélisations issues des différents champs identifiés. Ils ont porté d'une part sur la rétroaction économie-climat, permettant de déboucher sur l'identification du concept novateur de *coût climatique de la croissance* : la part d'une croissance acquise perdue à terme par le jeu de la rétroaction économie/climat (10% dans un scénario central). D'autre part ils ont débouché sur la construction de scénarios prospectifs intégrés d'émissions de CO₂, proposés comme alternative aux scénarios SRES du GIEC, dont à

la fois ils amplifient le degré d'incertitude, et rehaussent le plancher, pour une vision plus pessimiste des défis à relever par la mitigation et/ou l'adaptation.

Une seconde partie des travaux ont porté sur la constitution d'une base de données intégrée, tentative de couverture du vaste ensemble de paramètres nécessaires à l'étude des champs de l'économie, de l'énergie et de la démographie. Leurs réalisations comprennent :

- la mise au point d'un code de programmation destiné à la production de tableaux entrées-sorties (TES) intégrés sur base GTAP, avec, point capital, correction de l'agrégation des échanges bilatéraux
- le développement d'un outil de reconstruction de TES dans le passé, par combinaison des tableaux GTAP 1997 et d'un ensemble de données exogènes parmi lesquelles des données démographiques et économiques. Cet outil a été mis à contribution pour la reconstruction d'équilibres passés de l'économie mondiale en 6 secteurs et 13 régions.

Summary

The two-year research reported in this document has been jointly undertaken by four institutions, all involved to various degrees in the research of the ways and consequences of climate change.

The work presented here has been initially motivated by the "Summaries for policy makers" included in the third assessment report of the IPCC. Those summaries display a lack of coherency in both the making of the socio-economic scenarios of greenhouse gases (GHGs) emissions and the estimating of the costs implied by climate change.

Joint progress in both the making of scenarios and the estimation of costs requires a clarification of the complex linkages between the various research fields underlying the question of climate change. It implies that long term consequences of climate change and mitigation and/or adaptation policies have to be studied as the results of combined driving forces: climate dynamics, economy, demography, technical change in the production and consumption of energy—the latter being the main source of anthropogenic GHGs emissions.

A prerequisite for such progress is to create the appropriate settings for improved collaboration between the scientists of such widely varying research fields and for more controllable and transferable scientific results. Each field happens to have not only a specific object but also its own specific 'culture'. In this respect, an instrumental prerequisite is the construction of information databases that shall be reliable and harmonised and that shall cover those diverse fields.

Based on this diagnosis, the research program presented here has not only implied work devoted to the production of scientific results that are directly exploitable, but also has devoted a lot if not most of its activity towards the supply of tools supporting the production of such results. Two tracks have been followed.

A first approach has developed efforts to represent and understand the ultimate consequences of a linkage of some of the modelling exercises undertaken in the different research fields outlined. Attention devoted to the feedback-loop between climate and the economy has led to the framing of an innovative concept: the *climate cost of economic growth*, i.e. the share of economic growth that is ultimately lost as a consequence of the climate feedback (estimated around 10 percent in the central parameter calibration.) Another exercise has led to the design of integrated CO₂ emissions scenarios, thought as an alternative to the IPCC SRES ones. The spread of

those scenarios, built on an explicit linkage between economic, demographic and energy variables, exhibits increased uncertainty together with a higher 'floor trajectory'; they thus imply a more pessimistic vision of the challenge put on mitigation and/or adaptation policies.

A second track has focused on the construction of a database aimed at integrating the large array of parameters that are necessary for studies in economics, energy and demography. It has lead to:

- The building of a software programme that completes the building of balanced 1997 use and make matrices of national accounting, based on the GTAP 5.0 database. A key feature of this software is that it corrects for bilateral exchanges when aggregating regions.
- The development of a tool for the construction of retrospective national accounting tables. This tool operates through a combination of the reconstructed 1997 tables and of exogenous data including demographic and economic variables. It has allowed the construction of retrospective pictures of the world economy, described as equilibria between thirteen regions and six sectors, opening the way for a major improvement in CGEM calibration.

Introduction générale

Les travaux présentés dans ce rapport sont le fruit de deux années de collaboration entre quatre institutions impliquées à des degrés divers dans un thème de recherche commun, celui du changement climatique.

Ils sont motivés, à l'origine, par le constat persistant—dressé à la lecture des résumés pour décideurs du troisième rapport d'évaluation du GIEC—d'un manque de cohérence, à la fois dans l'élaboration des scénarios socio-économiques d'émissions de gaz à effet de serre (GES), et dans leur utilisation pour évaluer les coûts du changement climatique. Trois critiques sont ainsi toujours d'actualité. Tout d'abord, en raison de l'existence d'un processus de traduction du contenu des histoires narratives (approche discursive, qualitative) en données numériques (approche modélisée, quantitative), on peut s'interroger sur la robustesse macro-économique interne des scénarios. En second lieu, de très nombreux modèles ayant été convoqués dans le processus d'élaboration des scénarios d'émission du *Special Report on Emission Scenarios* (SRES) du GIEC, il en résulte une certaine absence de lisibilité des résultats et des hypothèses sous-jacentes. Enfin, les rétroactions du climat sur le scénario de croissance n'ont pas été intégrées dans la définition des scénarios de référence : la pratique actuelle de scénarisation consiste à projeter un scénario économique de référence puis à en dériver des émissions et des coûts des politiques d'abattement des émissions en supposant que ce scénario n'est pas affecté par les dommages.

Les clés d'une clarification de ces trois points d'achoppement résident en fait dans une élucidation des relations complexes unissant les champs de prospective sous-jacents à la problématique du changement climatique : les conséquences de long-terme du changement climatique, tout comme celles des politiques de mitigation ou d'adaptation qu'il suscite, sont à étudier à la confluence de la climatologie, de l'économie, de la démographie, ainsi que de l'évolution des techniques de production et de consommation d'énergie, principales sources de GES anthropiques. Corollaire immédiat de cette prise de conscience : la collaboration entre ces champs prospectifs, variés tant par leur contenu que par la « culture » des chercheurs qui les portent, ainsi que l'obtention d'un progrès réel en matière de maîtrise scientifique des résultats produits, suppose comme préalable la construction de bases d'information fiables et harmonisées dans l'ensemble des domaines concernés.

Dans cette perspective, le programme de recherche dont les travaux sont présentés ici s'est engagé dans des directions particulières, ne se limitant pas à la production de résultats scientifiques directement exploitables, mais s'orientant aussi très fortement vers la production d'outils d'appui à la production de tels résultats. Deux angles d'approche ont été suivis :

- d'une part, la conception d'outils de couplage permettant l'explicitation de certaines des interactions entre champs de prospectives mobilisés dans l'évaluation du changement climatique.
- d'autre part, la constitution d'une base de données intégrée qui tente de couvrir le vaste ensemble de paramètres nécessaires à l'étude des champs de l'économie, de l'énergie et de la démographie.

La présentation du rapport est divisée en deux parties abordant chacun de ces axes. Une bibliographie unique ainsi qu'une page de présentation des valorisations du projet ont été réunies avant une série d'annexes.

Couplage de modèles : révélation des interactions

Jean-Yves Grandpeix

Stéphane Hallegatte

Venance Journé

Aïcha Ouahon

Introduction

Les activités de couplage de modèle développées au cours du projet de recherche se sont concentrées sur deux séries de travaux visant à mettre en lumière les fortes interactions prévalant entre les principaux champs d'étude du changement climatique.

Une première série de travaux permet de déboucher sur une qualification précise de l'interaction climat/économie ; elle prolonge les travaux entrepris dans le cadre GICC-1 sur le formalisme TEF-ZOOM, jusqu'alors appliqués à la seule sphère économique.

Un second exercice développe quatre scénarios simples d'interactions entre la démographie, l'économie et l'énergie ; leurs résultats concernent la projection des émissions de CO₂ à 2050, et sont comparés aux scénarios d'émissions du Groupe d'experts Intergouvernemental sur l'Évolution du Climat (GIEC).

I. Interactions climat/économie Une analyse par l'outil TEF/ZOOM

L'étude des influences réciproques de l'environnement et des sociétés humaines se heurte à des difficultés méthodologiques portant sur le contrôle scientifique des résultats et la compréhension des mécanismes sous-jacents.

La mise en œuvre de modèles en vue d'analyser ces influences croisées suppose la représentation des forts degrés de complexité intrinsèque de chacun des domaines, ainsi que des natures profondément différentes des objets mis en jeu (en particulier en ce qui concerne le temps, la modélisation des comportements humains et la prise en compte de l'incertitude). Il n'est déjà pas facile d'établir un niveau de simplification pertinent dans un champ disciplinaire homogène ; la difficulté est ici accrue puisque

nous sommes confrontés à des champs disciplinaires basés sur des approches, des concepts et des méthodes radicalement différents.

La collaboration développée au cours de ce projet a choisi de mettre l'accent sur les interfaces entre les différents processus. Ceci a l'avantage de placer au centre de la problématique les éléments par lesquels passent les inter-influences. Toutefois, la définition des interfaces entre les systèmes climatiques et économiques est rendue difficile par la différence des échelles spatiales et temporelles impliquées, par la multiplicité des modes d'influence réciproque entre ces systèmes, et par les différences conceptuelles entre les modèles physiques et les modèles économiques.

En particulier, il est très important de pouvoir simuler de façon correcte l'évolution du système et, en outre, d'avoir la capacité d'évaluer sa sensibilité :

- à chacun des paramètres incertains (par exemple les gains futurs de productivité) ;
- à chacun des éléments sur lesquels les sociétés humaines exercent une influence directe (par exemple la surface cultivée ou la déforestation).

Enfin, il s'agit d'analyser les réponses du système à des chocs, pouvant être issus du système climatique (bifurcation ou arrêt de la circulation thermohaline), du système économique (limite de rentabilité de certaines activités), ou découler d'un choix de politique publique (modification brutale de la politique énergétique).

Les débats liés au problème du changement climatique ont montré que la cinétique des réponses à ces chocs est une des clés de l'efficacité de décisions politico-économiques visant à s'adapter ou à prévenir des dommages liés aux évolutions du système global. C'est pourquoi la connaissance des temps caractéristiques inhérents à des processus naturels élémentaires et aux actions politiques envisageables—la durée de leur retour à l'équilibre en cas de choc—est nécessaire à la prospective et à la décision publique. L'objet des travaux présentés ci-dessous est d'illustrer la contribution que l'outil TEF/ZOOM peut apporter à cette problématique.

1.1. TEF/ZOOM

Ces travaux utilisent le Formalisme d'Évolution par Transfert (TEF), une méthode de raccordement déjà utilisée dans les domaines des sciences de l'ingénieur et de la climatologie (couplage océan/atmosphère), ainsi que le logiciel ZOOM qui le met en œuvre. L'utilisation combinée du TEF et de ZOOM permet la conception et l'analyse de modèles de complexité intermédiaire (c'est-à-dire ne dépassant pas quelques

milliers d'équations). Elle offre la possibilité, en parallèle aux simulations au fil du temps, d'analyser la dynamique de la réponse à des chocs, de quantifier les dépendances réciproques des éléments du modèle, et de caractériser dynamiquement les boucles de rétroaction présentes dans le système. La méthode est basée sur l'analyse d'un système perturbé défini comme système linéaire tangent au système en référence.

1.2. Modèle climatique simplifié : approche en termes de boucle de rétroaction

La problématique du changement climatique fait intervenir des modèles dans lesquels l'établissement de relations de causalité entre les variables est difficile. Pour contourner cette difficulté, le III^e rapport du GIEC (2001) tente de décrire le fonctionnement de la machine climatique sous forme de boucles de rétroaction, qui permettent de décrire sobrement la réponse d'un système complexe pour en dégager et comprendre les mécanismes essentiels. Cependant les méthodes usuelles d'analyse de rétroactions ignorent les aspects dynamiques, lesquels restent jusqu'à présent difficiles à appréhender et donc mal compris.

Un modèle simplifié de la rétroaction vapeur d'eau a ainsi été construit et a servi à une étude des temps caractéristiques de cette rétroaction. Cela a conduit à aborder les boucles de rétroaction suivant une approche dynamique permettant de prendre en compte la partie transitoire de la trajectoire et les temps caractéristiques de ces processus.

1.2.1. Boucle de rétroaction

Une boucle de rétroaction est définie comme un ensemble de processus, reliés par des variables de transfert $\{\delta\varphi_i, i=1, \dots, n\}$, dans lequel l'évolution de chaque variable $\delta\varphi_j$ ne dépend que de $\delta\varphi_{j-1}$.

Suivant le formalisme proposé par Bode (1945) en électronique, une rétroaction est classiquement caractérisée par son gain (g) défini par :

$$(1 - g) \delta\varphi_1^\infty = \delta\varphi_1^0 \quad (1)$$

où :

- $\delta\varphi_1^\infty$ est la variation de la valeur d'équilibre de φ_1 quand une perturbation dans le forçage a été imposée ;

- $\delta\varphi_1^0$ est la variation de la valeur d'équilibre de φ_1 pour la même perturbation, mais en l'absence de rétroaction (*i.e.* le lien entre 2 variables de la boucle a été coupé).

Le gain de rétroaction est donc défini par la différence entre deux équilibres, et sera appelé dans la suite le *gain statique* de la rétroaction.

Cependant, les processus engagés dans une rétroaction peuvent être très lents, le temps nécessaire pour atteindre le nouvel équilibre pourra être long.

De plus, *la trajectoire transitoire entre deux équilibres peut être un point clé pour comprendre le rôle et l'influence d'une rétroaction sur le reste du système.*

Il nous a donc paru nécessaire de décrire les rétroactions et leur dynamique de façon plus précise.

I.2.2. Caractérisation dynamique d'une rétroaction

L'analyse de la dynamique d'une rétroaction est faite ici à l'aide du Système Linéaire Tangent (SLT) au modèle étudié. Comme le modèle est non-linéaire, le SLT évolue au cours du temps. Nous restreignons donc l'étude aux cas de variations faibles autour d'un état d'équilibre stable. Dans ce cas, le SLT reste valide sans limite de temps.

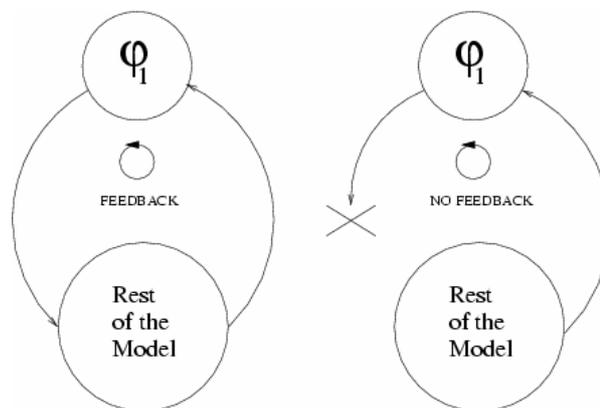


Figure 1 Schéma de la rétroaction (gauche) et illustration du modèle en boucle ouverte (droite)

L'étude est fondée sur le fait que les pôles de la transformée de Laplace (ou de Borel) des solutions d'un système linéaire donnent la dynamique complète du système étudié. Le principe est donc de calculer la transformée de Borel du SLT, et d'éliminer du

système obtenu toutes les variables à l'exception d'une seule, par exemple $\overset{\circ}{\delta}\varphi_1$. On obtient une équation de la forme :

$$(1 + C'_{11}(\tau)) \cdot B[\overset{\circ}{\delta}\varphi_1](\tau) = B[\overset{\circ}{\delta}\varphi'_{1_{ins}}](\tau) \quad (2)$$

où :

- τ est la variable de Borel (qui a la dimension d'un temps) ;
- $\overset{\circ}{\delta}\varphi_1$ est la variation de φ_1 prédite par le SLT ;
- $\overset{\circ}{\delta}\varphi'_{1_{ins}}$ est la variation de φ_1 prédite par le SLT quand la boucle de rétroaction est coupée juste après φ_1 dans la Figure 1.

Donc $C'_{11}(\tau)$, ou plutôt la fonction de gain $g_1(\tau) = -C'_{11}(\tau)$, représente l'effet de la fermeture de la boucle.

Contrairement au gain statique, le *gain dynamique* g_1 est une fonction de τ et il relie la dynamique du modèle à boucle fermée à la dynamique du modèle à boucle ouverte. Une transformée de Borel inverse donne la réponse temporelle de la variable choisie, en fonction de sa réponse dans un modèle sans rétroaction :

$$\overset{\circ}{\delta}\varphi_1(t) = B^{-1}\left[\frac{1}{1 - g_1(\tau)}\right] \frac{d}{dt} \overset{\circ}{\delta}\varphi'_{1_{ins}}(t) \quad (3)$$

On remarque que le gain dynamique généralise la notion de gain statique puisque :

$$\lim_{t \rightarrow +\infty} B^{-1}[g_1(\tau)](t) = \lim_{t \rightarrow +\infty} [g_1(\tau)] = g \quad (4)$$

1.3. Application à la rétroaction vapeur d'eau

Il est communément admis que la rétroaction par la vapeur d'eau atmosphérique est un processus clé de l'accroissement de la température induit par l'augmentation de la concentration de gaz carbonique atmosphérique.

1.3.1. Modèle

Un modèle global, unicolonne, ayant 30 variables thermiques et 40 variables radiatives a été construit de façon à reproduire une des structures possibles de la rétroaction vapeur d'eau. La boucle est la suivante :

- la température troposphérique augmente ;
- l'humidité relative est réduite (Clausius-Clapeyron) ;

- les précipitations étant modélisées comme un processus tendant à maintenir un niveau fixé d'humidité relative, les précipitations deviennent inférieures à l'évaporation ;
- l'humidité relative retourne à son niveau initial, correspondant à une plus grande humidité absolue ;
- le bilan radiatif est modifié et l'augmentation de température troposphérique est amplifiée (gain positif).

Le modèle a été validé par confrontation à des résultats de modèles de circulation globale (GCM) soumis à une augmentation de la concentration de CO₂.

I.3.2. Résultat central

Pour représenter explicitement l'effet de cette rétroaction, nous considérerons le comportement de la température moyenne de la tropopause. Nous allons visualiser l'augmentation de cette température lorsqu'une perturbation brutale est appliquée au système, telle que la température donnée par le modèle en boucle ouverte présente un saut de 1°K. Plus précisément, nous définissons un facteur de rétroaction $\overset{\circ}{\delta}F_T(t)$, écart entre l'augmentation donnée par le modèle en boucle fermée et celle donnée par le modèle en boucle ouverte.

$$\overset{\circ}{\delta}F_T(t) = \left(B^{-1} \left[\frac{1}{1 - g_I(\tau)} \right] - 1 \right) (1 K) \quad (5)$$

Dans ce modèle on trouve :

$$\overset{\circ}{\delta}F_T(t) = -0,56 (1 - e^{-\frac{t}{\tau_1}}) + 1,17 (1 - e^{-\frac{t}{\tau_2}}) \quad (6)$$

avec $\tau_1 = 7$ jours et $\tau_2 = 7,7$ années. On trouve donc un pôle rapide et un pôle lent.

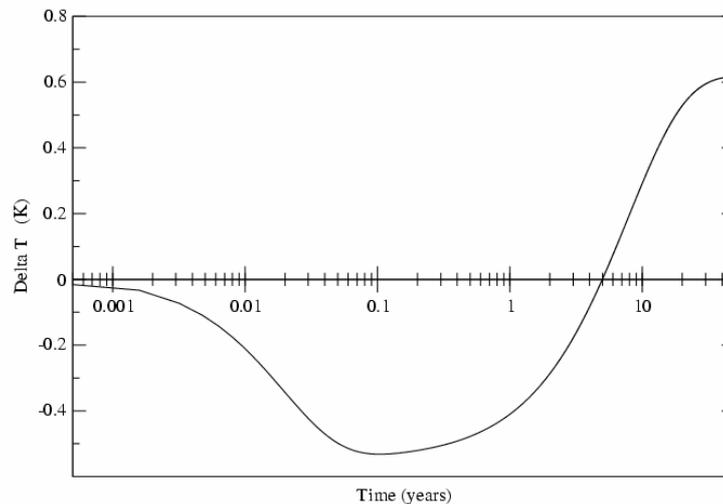


Figure 2 Gain dynamique de la rétroaction vapeur d'eau

Le pôle rapide est une rétroaction négative, qui provient de la réduction du flux de chaleur latente, car les précipitations sont inférieures à l'évaporation pendant la période transitoire. Son gain statique est de $-0,5$ (elle divise par 2 le réchauffement initial). Cette composante est stabilisatrice : quand une modification de forçage mène à un réchauffement de la SST et de l'atmosphère, la quantité d'eau que l'atmosphère peut contenir augmente (l'humidité relative diminue). Alors, une différence entre l'évaporation et les précipitations mène à une augmentation de l'humidité absolue (l'humidité relative retrouve son niveau initial). Cette différence entre évaporation et précipitations consomme de l'énergie latente et refroidit le système.

La deuxième composante est la rétroaction vapeur d'eau classique, positive et de long terme (temps caractéristique 7 ans, facteur de rétroaction $+2,17$) : la vapeur d'eau supplémentaire contenue dans l'atmosphère modifie le flux radiatif et réchauffe un peu plus le système.

L'effet de cette deuxième composante est largement supérieure à l'effet de la première composante. Si l'on ne considère que l'équilibre, on aboutit à un effet très positif de la rétroaction vapeur d'eau (avec un facteur de rétroaction de $+1,6$), ce qui correspond à un gain statique positif : $g_{wv}^{\infty} = 38\%$.

I.3.3. Influence sur la variabilité naturelle

On peut montrer que si un système est soumis à une perturbation périodique de période T , seules les rétroactions de temps caractéristique inférieur ou du même ordre que T peuvent intervenir. En conséquence, face à une perturbation de période courte, seul le pôle rapide (et négatif) de la rétroaction vapeur d'eau agit : la rétroaction vapeur d'eau est donc stabilisatrice pour les échelles de temps courtes. Par contre, face à une perturbation de période longue, les deux pôles de la rétroaction jouent et le plus important l'emporte : la rétroaction vapeur d'eau est donc déstabilisatrice pour des échelles de temps longues.

L'effet de la rétroaction vapeur d'eau sur la variabilité naturelle dépend donc de la période de perturbation considérée :

- pour des perturbations de courte période (inférieure à 1 semaine), seule la composante rapide de la rétroaction peut jouer, et la rétroaction vapeur d'eau est stabilisante : elle réduit l'amplitude de la variabilité.
- pour des perturbations de longue période (supérieure à 7 ans), les deux composantes peuvent jouer et la plus importante l'emporte : la rétroaction vapeur d'eau est alors déstabilisatrice et elle augmente l'amplitude de la variabilité.

Cette approche du gain dynamique développée dans le cadre d'un modèle climatique peut être étendue à l'économie.

I.4. Interface économie-climat : caractérisation de la rétroaction

Sur la base de la construction présentée ci-dessus, la rétroaction économie-climat est modélisée à l'aide de 4 modules :

- un module climatique, constitué par le modèle de rétroaction vapeur d'eau qui fait l'objet de la partie précédente ;
- un module macro-économique standard; extrêmement simple (1 secteur, 1 pays, fonction de production de Cobb-Douglas, taux d'épargne constant) ;
- un module d'émissions ;
- un module d'impacts, calibré sur des données internationales d'assurance. Deux types d'impacts sont pris en compte : un impact direct sur la productivité, et un impact indirect sur la durée de vie du capital.

Ce dernier point constitue une innovation : le dommage n'est pas simplement soustrait du PIB agrégé—comme c'est le cas dans la majorité des exercices de modélisation intégrée disponibles—mais a un impact direct sur le capital installé, où l'on peut voir simultanément une perte liée à l'inadaptation aux conditions climatiques et économiques nouvelles, ainsi qu'à l'occurrence « d'événements extrêmes » (climatiques) particulièrement dévastateurs.

Dans un tel cadre, le gain dynamique de la rétroaction économie-climat est défini comme la modification supplémentaire des émissions due à cette rétroaction, si les émissions augmentent soudainement d'1 unité¹. Le paramétrage central des quatre modules—retenant notamment une hypothèse de dépréciation du capital de 20 ans—débouche sur un gain dynamique d'équation :

$$\delta F_E(t) = -1,1 \cdot 10^{-1} (1 - e^{-\frac{t}{\tau_1}}) + 2,6 \cdot 10^{-2} (1 - e^{-\frac{t}{\tau_2}}) \quad (7)$$

avec $\tau_1 = 89,0$ années et $\tau_2 = 18,6$ années les temps caractéristiques des pôles lent—positif, mais toujours supplanté par son contrepoint négatif—et rapide de cette rétroaction.

Ceci correspond à un gain statique de $-9,2\%$, qui peut être exprimé en termes de production : si la production annuelle est augmentée d'un montant donné, environ 9% de cette augmentation sera perdue à terme à cause du changement climatique supplémentaire créé par cette production supplémentaire. Autrement dit, chaque point de croissance mondiale actuelle ne correspond en réalité qu'à une croissance de 0,9%, à cause du changement climatique additionnel lié à cette croissance. On définit ainsi un *coût climatique de la croissance*.

L'échelle de temps caractéristique de la rétroaction complète économie-climat, environ 90 ans, est très robuste aux tests de sensibilité. Elle souligne l'inertie des systèmes mis en jeu et donnent une idée des horizons temporels qu'il est nécessaire d'envisager : l'horizon d'un siècle, retenu dans la majorité des analyses coûts-bénéfices disponibles, ne permet pas de la prendre en compte de manière appropriée, et risque donc de conduire à des prises de décision inadaptées.

La figure 3 montre ainsi que pendant les cinquante premières années, le système ne peut différencier entre les dommages sur des équipements pour lesquels les temps de dépréciation du capital sont très différents. Un tel résultat peut s'expliquer par le fait que ce modèle simplifié ne prend en compte qu'un seul secteur, dont la variable

¹ Le gain dynamique étant linéaire l'unité choisie pour l'exprimer est sans conséquence.

pertinente est le rapport flux/stock, très faible (la mise en œuvre d'un modèle plus désagrégé permettra sans doute d'affiner ces conclusions quantitatives).

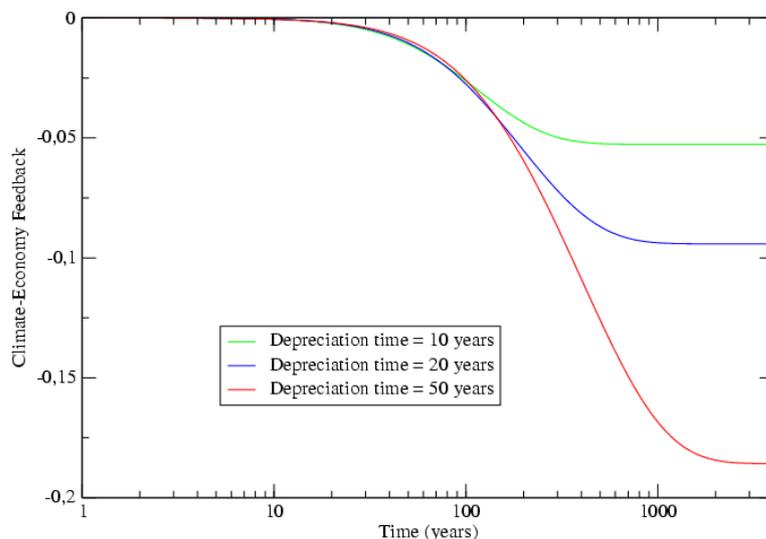


Figure 3 *Coût-climatique de la croissance pour différents temps caractéristiques de l'économie (dépréciation du capital)*

Un résultat significatif, en revanche, concerne l'évaluation du potentiel d'auto-régulation par les dommages—les perturbations climatiques constituent un frein à l'activité économique qui suffit à limiter leur rythme pour le rendre supportable : dans aucun des paramétrages réalisés une politique de laissez-faire ne permet un maintien de la croissance.

II. Cadrage et conséquences de l'interaction démographie/économie

Une mise en question des scénarios GIEC

Le second exercice de couplage réalisé dans le cadre de ce projet de recherche porte sur l'étude de l'interaction entre démographie et économie sur le long terme. Il s'est concrétisé dans la réalisation de scénarios de type SRES (cf. *infra*), dont les résultats débouchent sur un questionnement de la validité des exercices rapportés par le Groupe d'experts Intergouvernemental sur l'Évolution du Climat (GIEC), précisément critiqués pour leur opacité. La présentation de ces scénarios est précédée d'un cadrage des

éléments constitutifs du lien entre démographie et économie, illustré par l'analyse du modèle Ingénue du CEPII.

II.1. Démographie et économie : cadrage des influences de long terme

À la base des relations entre économie et démographie se trouvent le travail d'une part, facteur de production primaire, moteur direct de la croissance, et d'autre part l'ensemble de la population, dont la consommation est le pendant de la production. Ces deux éléments sont de toute évidence capturés par les MEGC². Ils cohabitent cependant avec un troisième, plus indirect, dont une prise en compte beaucoup plus aléatoire motive l'étude : la rémunération du travail ne passe pas tout entière dans la consommation, mais aussi dans l'épargne, constituant la principale source d'investissement donc de croissance ; or les motivations comme les paramètres de cette décision d'épargne se trouvent varier fortement d'une classe d'âge à l'autre, par « cycles de vie ». Les fruits de la prise en compte des « cycles de vie » sont présentés ci-dessous par le biais de la description du modèle INGENUE.

II.1.1. Un exemple de scénarisation intégrée : le modèle INGENUE du CEPII

INGENUE est un modèle d'équilibre général calculable à générations imbriquées décrivant un monde divisé en six grandes zones, selon des critères non géographiques mais démographiques et socio-économiques. Chacune de ces zones met en cohérence une structure par âge et une évolution de la capacité d'épargne, selon un paramétrage propre mais suivant une hypothèse homogène de comportement : celle du cycle de vie.

Dans la première version du modèle, les données démographiques retenues sont les projections à 2050 de l'Organisation des Nations Unies (ONU), extrapolées numériquement jusqu'en 2100. Dans la version la plus récente, les modélisateurs ont décidé de construire eux-mêmes les projections démographiques. En effet, les décalages démographiques étant au cœur du modèle, il était préjudiciable à l'analyse de ne pouvoir étudier différentes hypothèses démographiques et leur impact précis sur le financement des retraites et sur les flux de capitaux. Une méthode simple de construction de différentes hypothèses démographiques a donc été élaborée, avec pour

² Même si la distinction entre population active occupée, population active et population totale n'est que rarement prise en compte dans les approches *top-down*.

garantie de cohérence le calibrage d'un scénario central sur les données ONU (Equipe Ingénue, 1999, 2001).

Dans le cadre théorique d'INGENUE (un régime de croissance à la Solow), des démographies différenciées engendrent :

- un vecteur de ratios consommation/épargne, qui déterminent l'offre sur le marché mondial du capital ;
- un vecteur des besoins de financement du capital physique par personne active, qui fixe la demande sur le marché mondial du capital.

La globalisation financière peut donc favoriser l'émergence d'un processus d'égalisation des taux de rendement du capital au niveau mondial :

- le vieillissement des populations s'accroissant au Nord, la rémunération du capital y faiblit, ce qui incite l'épargne du Nord à se diriger vers les pays du Sud ;
- les nombreuses populations en âge de travailler du Sud bénéficient d'un stock de capital plus élevé, d'où un ratio capital-travail plus important, et, par conséquent, une productivité plus forte du travail et de meilleurs salaires ;
- l'équipement des jeunes générations nombreuses des régions pauvres permet à ces pays de s'engager dans un processus de rattrapage technologique et de croissance élevée ;
- la maturation de leur développement et leur avancement dans la transition démographique est alors susceptible d'augmenter progressivement, à son tour, leur propre capacité d'épargne, ce qui in fine concourt à la stabilisation d'un régime de croissance mondiale mieux répartie.

Certes la prise en compte de ces mécanismes, parce qu'elle explicite pour une grande part des variations de taux d'épargne jusque là non maîtrisées, constitue un progrès significatif en matière de modélisation de la croissance. Elle constitue un socle robuste sur lequel de nombreux prolongements peuvent être envisagés.

II.1.2. Prolongements souhaitables

Un premier prolongement s'impose considérant l'hypothèse de libre circulation du capital. La nécessité de contrôler des facteurs non-démographiques du développement nous confronte en effet à une lacune générale de la théorie économique : malgré de nombreux efforts, les différences de rythmes de croissance entre pays demeurent

difficiles à expliquer. Il est probable qu'elles tiennent à des variables institutionnelles difficilement mesurables. Le problème est donc d'isoler l'effet pur de la croissance démographique et de l'évolution de ses structures au sein d'un modèle général de croissance dont les autres pièces sont largement manquantes. La tâche est à l'évidence difficile. Pour le moins, la prise en compte de primes de risque à l'investissement, par exemple échelonnées sur les indicateurs de développement ONU, ainsi que celle, pour certaines zones, de barrières à la sortie des capitaux, serait susceptible d'améliorer le pouvoir prédictif du modèle.

Un deuxième développement pourrait concerner la représentation du mécanisme des retraites de chaque région, en l'état très simplifié : chaque zone est pourvue d'une caisse de retraite par répartition qui prélève, sur les actifs, des cotisations proportionnelles à leur salaire courant, verse aux retraités (inactifs au-delà de l'âge légal de départ à la retraite) des pensions, et équilibre ses comptes à chaque période. Chaque système régional est caractérisé par deux paramètres institutionnels : l'âge légal de cessation d'activité, d'une part ; le taux de remplacement (rapport entre la pension versée et le salaire), d'autre part. Le taux de cotisation, endogène, varie à chaque période pour équilibrer la caisse de retraites. Le fait que toutes les zones bénéficient d'un tel système, dont les règles demeurent indéfiniment inchangées, pose question. Au vu des transitions démographiques en cours, on souhaiterait pouvoir le confronter à l'hypothèse d'un système par capitalisation, plus en ligne avec les pratiques de certaines zones, et sans doute éclairant par ses conséquences.

Par ailleurs, il serait sans doute souhaitable de prendre en compte plusieurs comportements d'épargnes, afin de compléter celui de type « cycle de vie ». On peut penser notamment à :

- l'épargne de précaution face au futur incertain, qui a comme but de parer aux éventualités exigeant une dépense soudaine,
- l'épargne ayant pour objectif l'accumulation intergénérationnelle.

Quatrièmement, se pose la question de modéliser dans quelle mesure des transferts financiers de court terme entre zones à dynamique démographique différenciée peuvent se traduire par des investissements productifs durables dans les zones du Sud. L'hypothèse d'un capital *putty-clay* (liberté du lieu d'investissement *a priori*, mais fixité du capital installé) fait un amalgame entre capital financier et capital physique ou productif indéniablement préjudiciable à la compréhension des liens entre investissement et croissance.

Enfin, une limitation fondamentale d'INGENUE est qu'il suppose, outre un facteur capital parfaitement mobile *ex ante*, un facteur travail quant à lui complètement immobile. En d'autres termes, ce modèle fait l'hypothèse de flux migratoires nuls entre les zones qu'il représente, pendant toute la période étudiée. La levée de cette hypothèse simplificatrice constitue sans doute l'un des chantiers majeurs de la représentation des interactions économie/démographie dans les années à venir.

II.2. Analyse critique des SRES GIEC par réalisation de scénarios propres

L'ensemble des développements qui précèdent laissent entendre combien complexe peut ou devrait être la modélisation des interactions entre démographie et économie. En rupture avec ce constat, l'exercice qui suit vise à démontrer, cependant, combien la prise en compte la plus simple de l'élément démographique dans un cadre d'analyse intégré ou s'articulent les enjeux économiques du changement climatique, modifie les conclusions obtenues hors un tel cadre. Partant du constat de l'absence de lisibilité des hypothèses sous-jacentes aux scénarios SRES du GIEC, son objectif est plus précisément d'éclairer d'une manière nouvelle l'étendue de l'incertitude entachant les trajectoires d'émissions de dioxyde de carbone.

II.2.1. Présentation des quatre familles de scénarios SRES

Dès 1996, afin d'explorer une variété de trajectoires possibles d'émission, le GIEC a décidé de développer un nouveau jeu de scénarios de référence des émissions, couvrant un ensemble d'hypothèses sur la population, le PIB, et d'autres déterminants, comme l'offre d'énergies fossiles. Les quatre familles de scénarios, regroupées dans un *Special Report on Emission Scenarios* (SRES), ont été nommées A1, A2, B1 et B2.

La famille des scénarios A1 décrit un futur où la croissance économique est rapide, la croissance démographique est basse, et prévoit une introduction rapide des technologies les plus efficaces. La convergence économique des régions du monde est concrétisée par une réduction substantielle des écarts des niveaux de vie.

La famille des scénarios A2 décrit un monde plus hétérogène ; la croissance de la population y est élevée, le développement économique est hétérogène entre les régions, et le changement technique très lent.

La famille des scénarios B1 décrit un monde dont les économies convergent grâce à un changement rapide des structures économiques, une dématérialisation progressive et l'introduction des technologies propres. La viabilité de la transition vers ce monde à la

fois soutenable et plus équitable met l'accent sur l'effort coopératif au niveau global pour le développement rapide des technologies propres, et du processus de la dématérialisation de l'économie.

La famille des scénarios B2 décrit un monde hétérogène caractérisé par des communautés qui recherchent au niveau local des solutions à la soutenabilité. Le changement technique est plus lent que dans le cas précédent, mais l'initiative des communautés et l'innovation sociale sont très fortes.

II.2.2. Spécifications de quatre scénarios propres

Nous construisons trois récits concurrents en plus du scénario de référence (scénario A) qui capturent les principaux paradigmes théoriques en jeu sur les liens entre la croissance démographique, la croissance économique et le changement technique (exprimé en termes d'intensité énergétique et d'intensité en carbone).

Le scénario A, ou scénario de référence, vise à évaluer l'accroissement des émissions dans le cas du prolongement des tendances passées de la croissance de la population, du PIB/tête, de l'intensité énergétique et de l'intensité en carbone.

Le scénario B, inspiré du modèle de J. Simon (1992), suppose que la croissance de la population stimule la croissance économique et induit une amélioration de la technologie du point de vue environnemental conformément aux modèles de croissance avec progrès technique endogène.

Le scénario C, tiré de la version « optimiste » du modèle de Solow, considère qu'une accélération de la transition démographique conduit à une croissance économique plus forte. Par ailleurs, il suppose un progrès technique exogène qui permet l'adoption de technologies plus propres du point environnemental.

Au contraire le scénario D, fondé sur la version « pessimiste » du modèle de Solow, conjecture qu'une transition démographique plus lente provoque une baisse de la croissance économique. De plus, il suppose qu'un progrès technique plus faible freine l'adoption de technologies favorables à la protection de l'environnement.

II.2.3. Comparaison des scénarios : fourchettes d'incertitude des émissions de CO₂

Les trajectoires d'émissions de nos quatre scénarios sont reportées fig. 4 ci-dessous, et comparée à celles des quatre scénarios centraux du GIEC. La divergence de résultats est frappante :

- point principal, nos scénarios aboutissent à l'horizon 2050 à une fourchette d'incertitude environ trois fois plus élevée que celle des scénarios SRES (19,13 gigatonnes de CO₂ d'un côté contre seulement 7 de l'autre).
- en outre, notre scénario C, le plus optimiste avec des émissions d'environ 11 Gt CO₂ à l'horizon 2050, se situe nettement au-dessus du SRES le plus favorable, B1, qui plafonne autour de 8 Gt CO₂ au même horizon.

Nous concluons donc, d'une part à une démultiplication de l'incertitude, d'autre part à une forte élévation, d'environ 40%, du plancher de la fourchette envisagée pour 2050. La conjonction de ces deux conclusions ne peut manquer d'influencer fortement les termes du principe de précaution censé guider l'action climatique. Notamment, la prise en compte du scénario D, quelle que soit l'incertitude prévalant sur le cycle du carbone, son impact sur le climat et les dommages susceptibles d'en découler, ne peut manquer de suggérer une action précoce et d'ampleur.

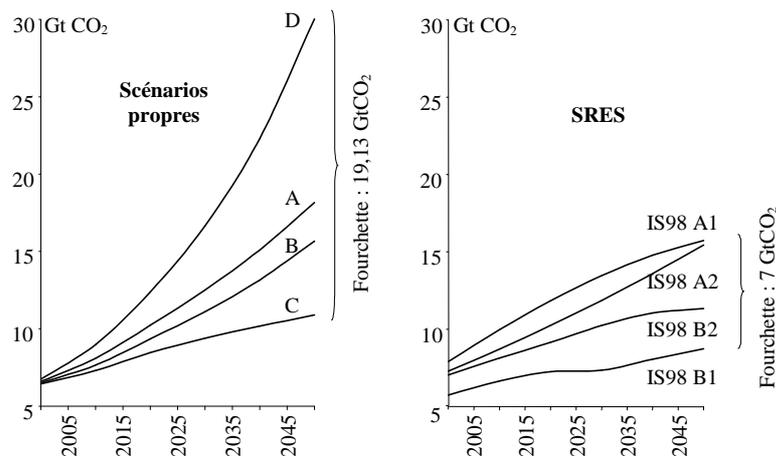


Figure 4 Émissions mondiales de CO₂ : comparaison scénarios propres/scénarios SRES

En outre, une scénarisation qui opère un lien explicite entre croissance démographique, croissance économique et changement technique en matière énergétique, et dont l'extrême simplicité—il ne s'agit pas à proprement parler d'un modèle—garantie la robustesse, débouche sur une mise en question des scénarios SRES. L'opacité des hypothèses sous-jacentes à ces scénarios ne permet pas de détecter l'origine des divergences observées ; ces conclusions s'ajoutent cependant à

une série de critiques³ pour suggérer, huit ans après leur publication, une révision des projections du GIEC.

Conclusion

Malgré leurs natures très différentes, les deux analyses présentées dans cette première partie constituent la mise au point d'outils de portée analogue : une mesure de quantification de l'information que les principaux systèmes interagissant dans le changement climatique sont susceptibles de recevoir les uns des autres.

D'un côté, les travaux communs LMD-CIRED ont permis, par le biais de l'outil TEF-ZOOM (dont d'autres contributions sont à attendre), une définition précise de la rétroaction économie/climat, cristallisée dans la définition d'un *coût climatique de la croissance* :

- cette rétroaction opère selon un temps caractéristique long, de l'ordre du siècle, robuste aux tests de sensibilité ;
- modélisée de manière novatrice (les dommages influent sur le capital installé et non simplement sur la richesse produite), elle n'offre pas la perspective d'une auto-régulation, au sens où l'accélération des dommages limiterait assez les émissions de l'activité économique pour limiter le changement.

De l'autre, la collaboration entre le CIRED et le CEPII a permis la mise au point de scénarios d'émissions de CO₂ à 2050, sur des hypothèses simples, mais intégrant les dimensions économique, démographique et énergétique. Ces scénarios, confrontés à ceux du GIEC, en font ressortir l'opacité scientifique, sinon l'obsolescence.

³ Initiées par Castles et Henderson, 2003a. L'IIASA, l'un des instituts producteurs des scénarios SRES, a apporté certaines réponses à ces critiques, notamment dans Nakicenovic *et al.*, 2003. Castles et Henderson ont à leur tour réagi dans Castles et Henderson, 2003b.

Bases de données : outils de construction, d'exploitation et d'harmonisation

Naceur Chaabane

Renaud Crassous

Patrick Criqui

Frédéric Ghersi

Mériem Hamdi-Chérif

Nina Kouznetsoff

Patrick Mabire

Introduction

En matière de données, l'objectif poursuivi par ce projet de recherche était la construction d'une base de données harmonisée, centrée autour de séries temporelles de matrices de comptabilité sociale (MCS), à production désagrégée, mises en cohérence avec des données énergétiques et démographiques. Les travaux permettant de réaliser cet objectif se sont articulés en deux temps.

Dans un premier temps, la maîtrise d'un corpus de tableaux entrées-sorties récents, harmonisés, a été assurée. Ce corpus dérive directement de la base de données la plus couramment utilisée par les modèles d'évaluation des politiques climatiques mondiales, le *Global Trade Analysis Project* (GTAP) de l'université de Purdue, États-Unis. La première partie de ce chapitre décrit les conclusions d'une analyse de GTAP, ainsi que la mise au point d'un outil permettant une exploitation fortement améliorée de la base.

Dans un second temps, une méthode de « rétro-projection » des tableaux récents a été développée, avec mise en cohérence de données économiques, énergétiques et démographiques de sources diverses. Cette méthode a permis la reconstitution de représentations intégrées de l'économie mondiale, en 13 régions et 6 activités, pour différentes dates dans le passé. Sa présentation, ainsi que celle du corpus de données sous-jacent, font l'objet de la seconde partie de ce chapitre.

I. Équilibres « présents » : éléments d'expertise et de développement de la base GTAP 5.0

Le *Global Trade Analysis Project* (GTAP) fournit sans doute la base de données la plus largement utilisée dans les exercices de modélisation en équilibre général calculable. GTAP présente en effet l'intérêt de proposer une base de données exhaustive et harmonisée à un niveau de détail remarquable : dans sa version 5.0, 57 biens et 66 régions couvrent l'ensemble des activités économiques mondiales⁴.

La souplesse d'utilisation de la base et la qualité du réseau en assurant la maintenance ont contribué à imposer très rapidement son utilisation dans les cercles de modélisation en équilibre général. Cependant un diagnostic poussé de la base permet de constater qu'elle n'est pas exempte de critiques, et par conséquent de cerner les précautions dont doit s'entourer son utilisation légitime. Le propos qui suit s'articule autour d'un tel diagnostic, organisé en deux parties : analyse critique du corps de données constituant la base ; présentation d'un programme d'agrégation complétant et corrigeant celui fourni avec elle.

I.1. Expertise du corps de données

Sur un plan pratique, l'utilisateur aborde la base par le biais de son moteur d'agrégation : *gtapagg.exe* permet de combiner librement les biens, régions et facteurs primaires détaillés pour produire un jeu de séries statistiques agrégées, dans un format propre (*.har*) mais transmissible vers tableur. Le produit de l'agrégation est automatiquement enregistré sous format *.zip*. Outre d'éventuelles séries temporelles⁵, les deux principaux fichiers de l'archive *.zip* sont *basedata.har* et *baseview.har*. Le détail de l'ensemble des séries que l'on y trouve est porté en annexe 1 ; dans la suite de ce texte il y sera fait référence en utilisant pour chaque série le préfixe « bd » ou « bv » suivi de son numéro d'ordre dans l'un ou l'autre fichier.

L'utilisation « *one-to-one* » (sans aucune agrégation de biens, de régions ou de facteurs) de *gtapagg.exe* permet d'accéder aux 52 séries constituant le corps de

⁴ Cf. www.gtap.org. Le succès de l'opération est dû en grande partie à la mise à contribution volontaire de plusieurs centaines d'organisations partenaires réparties sur toute la planète.

⁵ Qui se limitent à des séries de commerce bilatéral, compilées entre 1961 et aujourd'hui. *Gtapagg.exe*, au moment où on lance l'agrégation pour les désagrégations que l'on a choisies, offre le choix à l'utilisateur de compiler ou non des données de commerce bilatéral.

données de la base. L'étude de ce corps, appuyée sur la documentation disponible sur le site du projet GTAP, fait ressortir un certain nombre de limitations, détaillées ci-dessous en même temps que leurs conséquences en termes de modélisation.

I.1.1. Décomposition de la valeur ajoutée

L'analyse des séries bd17 et bd24, présentant la désagrégation de la valeur ajoutée, est sans doute celle qui livre le résultat le plus surprenant : le reliquat de la valeur ajoutée (VA), une fois les salaires ôtés, est partagé entre les rémunérations de trois facteurs primaires, *Land*, *Capital* et *Natural Resources* ; la documentation de la base fait apparaître que la rémunération du facteur terre repose sur un socle d'études détaillées—un héritage de la vocation première de GTAP, projet mettant l'accent sur les questions de commerce international de produits agricoles ; en revanche, le partage entre rémunération du capital et rente d'exploitation de ressources naturelles est fait sans lien explicite avec quelque série statistique que ce soit, mais tout simplement de manière à valider *a posteriori* le choix d'élasticité retenu dans le modèle GTAP⁶ pour la substitution entre facteurs, selon le secteur considéré.

On observe donc une inversion de perspective assez choquante : on n'est plus dans le cadre théorique habituel où le paramétrage d'un modèle découle d'une observation statistique, mais bien dans une situation en porte-à-faux où l'observation « est définie » par le paramétrage d'un modèle—paramétrage, qui plus est, dont les choix ne semblent pas documentés. Deux possibilités s'offrent dès lors au modélisateur utilisant GTAP :

- soit l'utilisation des données telles quelles, dans un cadre de modélisation compatible, à la fois par sa spécification et son paramétrage, avec celui du modèle GTAP ;
- soit le rejet de la désagrégation du reliquat de VA tel que proposé par la base (en faveur d'un traitement agrégé de la rémunération du capital, ou de l'utilisation d'autres sources statistiques, dans la mesure où elles seraient compatibles).

Ces choix sont en fait les deux seuls légitimes ; en particulier, l'utilisation des données de la base dans un cadre de modélisation différent de celui de GTAP constituerait un manque de cohérence préjudiciable à la maîtrise scientifique des résultats produits.

⁶ Le consortium GTAP propose, outre la base de données décrite ici, un modèle d'équilibre général calculable qui l'emploie.

I.1.2. Évaluation de l'accumulation et de l'érosion du capital productif

Le stock nominal de capital proposé par la 30^{ème} série de *basedata.har* (bd30) est tiré de statistiques de la Banque Mondiale, soit directement, soit en extrapolant régionalement, selon les niveaux de PIB, les statistiques disponibles ; aucune désagrégation sectorielle n'est cependant proposée. En outre, la dépréciation de ce capital, série bd31, ne repose sur aucune observation réelle ; elle est calculée en appliquant au stock de capital ainsi défini un taux unique de 4%, identique sur l'ensemble des 66 régions.

L'impact de ces deux simplifications renvoie à l'une sinon la principale des critiques qui ont pu être adressées au modèle de croissance « à la Solow », fondement des MEGC d'évaluation des politiques climatiques les plus en vue⁷ : dans ce modèle théorique la croissance repose en grande part sur la dynamique d'accumulation et d'érosion du stock de capital K ; or l'observation statistique de ce stock, en particulier dès lors que l'on souhaite une désagrégation par productions, est pour le moins problématique—ainsi qu'en témoigne la relative pauvreté de GTAP⁸. Cette critique est de fait au cœur de la « controverse des deux Cambridge » opposant tenants et détracteurs du modèle théorique de Solow⁹.

De toute évidence, le règlement d'une telle controverse—si tant est qu'il fût envisageable—dépasse de loin le cadre du projet de recherche dont les conclusions sont présentées ici. Tout au plus, la constitution d'une base de séries temporelles de matrices de comptabilité sociale (cf. *infra*) apporte des éléments de chiffrage par le biais de statistiques telles que l'épargne des ménages, l'investissement, les flux de capitaux, *etc.* ; ces éléments sont autant d'apports susceptibles d'améliorer la qualité du calibrage de la dynamique du capital des modèles, quelle que soit l'approche de modélisation retenue.

⁷ Ainsi des modèles DICE de Nordhaus (Nordhaus, 1999), MERGE de Manne et Richels (Manne *et al.*, 1995), *etc.*

⁸ On peut à cet égard s'interroger sur la manière dont les modèles de type DICE ou MERGE calibrent des stocks de capital désagrégés par secteurs et régions ; la documentation mise à disposition par les concepteurs semble muette à ce sujet.

⁹ Pour une synthèse de cette controverse on pourra se référer à Stiglitz, 1974 ou à Cohen et Harcourt, 2003.

I.1.3. Données fiscales

Les données fiscales fournies dans la base sont pour le moins lacunaires, et très peu référencées. Deux éléments ressortent en particulier :

- l'absence de données fiables concernant la taxation des facteurs ; la série *Factor-based Subsidies* (bd33), censée présenter les subventions aux consommations de facteurs, ne fait apparaître que des subventions négatives, que l'on pourrait être tenté de traduire en termes de prélèvements ; cependant, confrontée aux séries de consommations de facteurs (séries bd17, bd23 ou bd24) elle fait apparaître des taux de taxation sans commune mesure avec ceux prévalant réellement ; notamment, la totalité des taux recomposés de prélèvement sur le travail sont non-significatifs (inférieurs à 1 pour 1 million) ;
- l'absence totale de données concernant les prélèvements sur le revenu des ménages ou des entreprises. Ces données ne sont en fait pas nécessaires à la constitution d'une base mettant en balance les emplois et les ressources des économies ; elles sont en revanche requises dès lors que l'objectif est un peu plus ambitieux, tel que la mise au point de matrices de comptabilité sociale, rendant compte, en même temps que des équilibres comptables par biens, des équilibres budgétaires de chacun des agents distingués. Ainsi, pour 47 des 66 régions qu'il distingue GTAP rapporte un total de prélèvements inférieur aux dépenses des administrations publiques, ce qui dans le cadre d'une matrice de comptabilité sociale supposerait un montant négatif de revenus de transfert.

La conjonction de ces deux limitations nous a conduits à effectuer un travail de recherche de données extensif, travail dont les fruits sont résumés en annexe 2. La combinaison des données recueillies avec la base GTAP, dans le moteur d'agrégation alternatif construit (cf. *infra*), s'est faite selon une hypothèse fruste, mais qui nous a paru nécessaire : les valeurs TTC affichées par GTAP ont été conservées, mais les séries de taxations substituées. De la sorte, l'extraordinaire travail d'équilibrage des données réalisé par l'équipe de Purdue est conservé ; en revanche une masse d'information concernant les techniques de production « réelles » (matrice des intrants HT) est révélée, ce qui constitue un progrès substantiel par rapport à l'état initial de la base.

I.1.4. Désagrégations par biens

Il est important de conserver à l'esprit que les désagrégations sectorielles de 24 des 66 régions GTAP reposent en fait sur la généralisation d'une structure de production

moyenne, obtenue par pondération des structures connues. Ce fait met en perspective le niveau « réel » de désagrégation de la base : fonder sur elle des études dont la désagrégation géographique excède les 42 régions effectivement documentées revient *in fine* à désagréger le résultat d'une étude sur 42 régions, en appliquant aux zones détachées de tel ou tel agrégat une structure de production calquée sur la structure moyenne. Dans cette perspective le nombre de 66 régions n'est de toute évidence pas limitatif : on peut tout aussi bien, disposant de simples statistiques sur le PIB et la population (données parmi les plus accessibles) étendre le raisonnement à l'ensemble des pays du globe—à ceci près que le degré d'approximation inhérent à cette méthode augmente avec la finesse du maillage géographique retenu.

1.2. Moteur d'agrégation de la base : critique et développement

Au-delà de la simple expertise de son corps de données¹⁰, les travaux menés sur la base de GTAP ont été dévolus à la correction et au développement du moteur d'agrégation qu'elle propose, selon les considérations qui suivent.

1.2.1. Limites du moteur d'agrégation d'origine

Au prime abord, le programme d'agrégation fourni avec GTAP, *gtapagg.exe*, présente l'inconvénient de ne pas mener à son terme la construction de tableaux entrées-sorties équilibrés. L'utilisateur qui souhaite aboutir à un tel résultat—le modélisateur qui désire calibrer son modèle sur la base de TES équilibrés et harmonisés selon les agrégations qu'il a choisies—ne dispose par *gtapagg.exe* que d'une agrégation par biens, régions et facteurs des 52 séries de la base ; il lui revient de procéder à leur ordonnancement, selon une logique de comptabilité nationale dont le détail est rapporté en ouverture de l'annexe 3. De toute évidence, le nombre d'opérations requises et les manipulations correspondantes—notamment la transposition de certaines matrices, la question de l'identification des zones importatrices et exportatrices dans les matrices d'échanges ou de l'utilisation des différents formats proposés (prix)—multiplient le temps nécessaire à l'obtention des tableaux espérés, ainsi que le risque d'erreurs, plus ou moins décelables *a posteriori*.

¹⁰ On notera qu'il n'a pas été tenté de remédier aux limitations que cette expertise a révélé ; elles sont de fait difficilement surmontables dans l'état actuel des statistiques disponibles—en dehors du problème simple de la constitution d'une base de données fiscales.

En outre, l'étude des résultats de *gtapagg.exe* révèle que ce programme fait une impasse majeure : les valeurs d'importation et d'exportation de l'agrégat de deux zones sont calculées par simple sommation des valeurs de chacune des zones, sans correction de leur commerce bilatéral. Le problème existe dès le corps de données de la base, avant toute agrégation—celles des 57 zones géographiques détaillées par GTAP qui ne correspondent pas à un seul pays affichent des exportations d'elles-mêmes vers elles-mêmes significativement non nulles¹¹. Il s'amplifie d'autant plus que l'on agrège les différentes régions de la base selon des blocs économiques « cohérents » (soit composés d'économies proches, donc *a priori* commerçant substantiellement les unes avec les autres). Ainsi, 57% des exportations affichées pour l'Union Européenne correspondent en fait à des échanges intra-communautaires. Une telle imprécision est de nature à fausser les résultats de modélisations numériques réalisées sur base GTAP. En particulier, l'évaluation de politiques affectant potentiellement la compétitivité sur les marchés internationaux—telle la directive européenne préparant ses industries au protocole de Kyoto—se fait sur une base surestimant, parfois substantiellement, le degré d'ouverture des économies (cf. *infra* l'exemple de TES présenté).

Ce double constat nous a menés à entreprendre la construction d'un programme d'agrégation propre, fonctionnant sur données GTAP. La suite de ce texte en décrit les principes généraux—l'exposition de son détail a été rejetée en annexe 3.

1.2.2. Création d'un moteur d'agrégation rectifié

La première caractéristique du programme d'exploitation de GTAP développé dans le cadre de ce projet de recherche est qu'il prolonge la simple agrégation des séries de base par la construction de TES équilibrés, exportés vers un tableur. Certes un tel développement ne constitue pas un apport théorique à proprement parler, et ne mérite pas que l'on s'y attarde. Soulignons cependant qu'il représente un apport considérable en matière de « soutien à la modélisation », tel que défini dans l'introduction de ce rapport : une manipulation qui pouvait prendre plusieurs heures, et devait être réitérée

¹¹ C'est aussi le cas de certaines zones constituées d'un pays unique, bien que les montants soient beaucoup plus négligeables. Ces particularités semblent être dues au statut particulier de portions du territoire de ces pays-zones (ainsi des DOM-TOM pour la France), statut justifiant l'existence de données import-export intra-nationales.

à chaque changement d'agrégation, est automatisée ; la multiplication d'études numériques est donc grandement facilitée¹².

De son côté, la prise en compte des échanges bilatéraux dans le processus d'agrégation de deux régions constitue une réelle avancée en termes de traitement de données. Elle s'opère¹³ :

- en soustrayant la part « auto » du total des importations FAB/des exportations au prix mondial (donnée identique) obtenu pour une région agrégée par sommation poste à poste des régions qui la constitue. La correspondance pour chaque bien entre importations FAB et exportations au prix mondial garantit que cette opération ne modifie pas l'équilibre emplois-ressources par bien du TES sous-jacent ; en revanche elle détruit le « sous-équilibre » emplois-ressources par bien importé (les importations côté ressources deviennent inférieures aux consommations de produits importés côté emplois) ;
- en réaffectant, côté ressources, une part correspondante des taxations à l'importation et à l'exportation, vers une nouvelle catégorie de taxation (la traduction de ces prélèvements en prélèvements domestique pose en effet problème, cf. annexe 3) ;
- en réaffectant, toujours côté ressources, une part correspondante des taxations à la consommation de produits importés vers les taxations à la consommation de produits domestiques (ce qui amplifie le déséquilibre emplois/ressources de produits importés) ;
- en basculant, côté emplois, une part correspondante des consommations intermédiaires et finales de produits importés vers les consommations correspondantes de produits domestiques (de manière à rétablir l'équilibre emploi/ressources de produits importés) ;
- enfin, en réaffectant une partie des coûts de transport des échanges supposés internationaux dont on rétablit la nature domestique. Cette dernière opération nécessite une prise d'hypothèse : si GTAP indique d'une part dans quelle mesure chacune des zones participe au transport international de marchandise,

¹² D'autant plus que dans le prolongement de cet apport un programme d'automatisation du **calibrage** des modèles IMACLIM du CIRED a été écrit. De la sorte, la mise en œuvre des versions statique ou dynamique d'IMACLIM est considérablement simplifiée.

¹³ Cette description fait appel à des concepts de comptabilité nationale dont un rappel est effectué en ouverture de l'annexe 3.

et d'autre part quel coût de transport est supporté par chaque échange international, en revanche la nationalité du transporteur de tel échange précis est indéterminée. Autrement dit, GTAP ne répond pas à la question de savoir quelle part des frais de transport des « auto-importations » d'une région agrégée est effectivement assurée par des transporteurs de cette même région. On résout cette incertitude en calculant la part à réaffecter au *pro rata* de la participation de la région considérée aux activités de transport international. Le mouvement se fait depuis le compte d'importations vers ceux des consommations intermédiaires de transport (biens 48, 49 et 50 selon la nomenclature de GTAP), au *pro rata* de chacun des trois biens dans le total des activités de transport international de la zone considérée, avec correction en conséquence des exportations pour activités de transport. Cette mécanique complexe mérite une illustration : un pays i se trouve assurer lui-même un montant m des coûts de transport d'un bien j liés à de « fausses » importations de ce bien. On retranche donc ce montant m de son total d'importations (CAF) ; on le reporte dans les trois consommations intermédiaires de transport de la production de bien j , au *pro rata* de leur part dans le total du transport international assuré par i ; on corrige les emplois par exportation de ces trois transports des mêmes montants.

Ces opérations s'achèvent bien évidemment sur le contrôle que l'équilibre comptable de chacune des productions, mais aussi celui des emplois et ressources en matière d'importations (la somme des consommations de produits importés doit correspondre à la masse des importations, aux taxations près), est rétabli.

I.2.3. Illustration de l'apport : matrice des consommations intermédiaires UE

Afin d'illustrer combien les corrections décrites influent sur les TES construits, nous avons procédé à la mise en forme de la matrice des consommations intermédiaires d'une Union européenne (à 15)—agrégée en deux productions : produits agricoles (A) et autres produits (Q)—selon le moteur GTAP d'origine d'une part, et d'autre part en utilisant le moteur rectifié présenté ci-dessus.

Sur un tel agrégat géographique, volontairement choisi pour son fort degré d'intégration, l'apport de la correction des échanges est manifeste : la part des importations dans les consommations intermédiaires estimée par simple sommation (moteur d'origine) est deux à trois fois supérieure à sa valeur corrigée des mouvements internes à l'Union. Des divergences comparables sont obtenues quant à la provenance

des consommations finales (ménages, administrations publiques, FBCF), et l'on comprend bien que les deux TES correspondants offrent une image très différente du degré d'exposition de l'économie européenne, avec les conséquences mentionnées plus haut en termes de modélisation.

		Moteur GTAP d'origine			Moteur rectifié		
		A	Q	Total	A	Q	Total
Imp	A	75	28	102	29	11	40
	Q	46	1 372	1 417	20	616	636
	Total	120	1 399	1 519	50	627	677
Dom	A	345	130	475	390	147	537
	Q	281	4 881	5 161	308	5 644	5 952
	Total	625	5 011	5 636	698	5 791	6 489
Total CI		746	6 410	7 156	748	6 418	7 165

Tableau 1 Impact des corrections apportées au moteur d'agrégation GTAP¹⁴

II. Équilibres passés

Création de séries temporelles de MCS

S'étant assuré de la maîtrise d'un corps de MCS harmonisées sur une année récente (1997), le projet de recherche s'est orienté vers le développement d'une méthode de projection « informée » de ce corps dans le passé. Il n'est pas inutile, avant de présenter cette méthode, de revenir plus en profondeur sur les motivations d'un tel travail, afin d'éclairer certains des choix retenus.

II.1. Motivation : faiblesses du calibrage des MEGC

La problématique fondamentale est celle de la robustesse des résultats tirés de modèles d'équilibre général calculable (MEGC). À l'origine, l'hypothèse sous-jacente à l'utilisation de tels outils est celle d'une forte mesure d'indépendance entre conséquences de politiques publiques (en termes relatifs) et trajectoires économiques suivies ; ce postulat minimise les conséquences du faible degré de calibrage des modèles, *i.e.* sur les données de comptabilité sociale d'une année unique, et par recours

¹⁴ Les différences de totaux observées entre l'un et l'autre moteur sont dues à la ré-affectation en consommations intermédiaires d'une part des coûts de transport des montants d'échanges internationaux sur lesquels porte la correction.

à un jeu de paramètres exogènes pour les spécifications comportementales (élasticités de substitution entre facteurs de production, biens de consommation, production domestique et importée, *etc.*).

Cependant, au-delà de la simple mise en cause d'un tel postulat, la pratique courante a inévitablement dévié du cadre théorique d'origine pour voir accorder aux résultats des MEGC une validité non plus seulement relative (mesure de l'écart par rapport à une trajectoire de référence induit par telle politique sur tel horizon) mais aussi prédictive (validité des trajectoires calculées en termes absolus).

La faiblesse empirique d'une telle approche a été vivement dénoncée (Shoven et Whalley, 1992 ; McKitrick, 1998) et a conduit à de nombreux travaux destinés à renforcer la robustesse des modèles. Elle a aussi provoqué le développement de modèles macro-économétriques (Jorgenson, 1984 ; McKitrick, 1998) tout entiers justifiés par leur capacité à reproduire des trajectoires passées. Cependant ces modèles butent à leur tour contre deux obstacles majeurs :

- la nécessité d'un arbitrage entre un besoin démultiplié de données statistiques fiables et/ou une tentative de restreindre au minimum les paramètres à estimer, qui aboutit à limiter leur capacité descriptive,
- l'incompatibilité potentielle entre les fonctions estimées et les fondements microéconomiques de la décision (contraintes de rationalité des comportements économiques).

De fait, la modélisation prospective sur les risques environnementaux de long terme tels que le changement climatique est dominée par l'utilisation de MEGC. La critique de validité des trajectoires absolues s'impose donc. Nous la renforçons en outre par la conviction que le postulat fondamental d'indépendance entre trajectoires et impacts relatifs ne tient pas—à charge de nos exercices de prospective de le démontrer à terme.

Notre démarche insiste donc sur l'importance fondamentale de permettre aux modélisateurs de tester la validité de leurs exercices de référence sur des états (pour un modèle statique) ou des trajectoires (pour un modèle dynamique) passés, dans l'optique de modifier les valeurs de paramètres voire des formes fonctionnelles inadéquates. Cette entreprise de mise en cohérence, courante dans d'autres champs scientifiques de modélisation (climatologie, biologie, *etc.*), n'est de toute évidence possible qu'à condition de disposer des données passées correspondant aux variables et aux paramètres des modèles à tester. Nos travaux ont permis d'avancer dans cette direction

en recalculant des matrices de comptabilité sociale passées équilibrées et cohérentes avec des ensembles composites de données.¹⁵

II.2. Méthode de reconstruction de TES

La méthode suivie pour la reconstitution de ces matrices est dérivée du module PROJTES, développé pour partie avec le soutien du GICC au cours du programme de recherche Analyse des Politiques de Réduction des émissions de gaz à Effet de Serre (ARES). Elle est appelée à évoluer vers la méthode du maximum d'entropie, dont elle constitue en l'état un stade préliminaire—mais d'ores et déjà productif.

II.2.1. Reconstruction par statique comparative : développement du module PROJTES

Au sein du dispositif de modélisation IMACLIM-POLES mis en place par ARES, PROJTES est utilisé pour opérer une projection de TES vers le futur mettant en cohérence les trajectoires de référence du modèle énergétique POLES et le cadre d'analyse du modèle macroéconomique IMACLIM¹⁶. Il repose principalement sur :

- deux hypothèses exogènes centrales : croissance de l'activité (PIB) et de la population (principaux déterminants de la projection de POLES) ;
- un jeu de contraintes tirées de POLES : évolution des prix, des productions et des consommations d'énergies ;
- un ensemble d'équations comptables garantissant l'équilibre emplois/ressources de l'ensemble des productions, ainsi que l'équilibre budgétaire de chacun des agents (ménages, états) ;
- un ensemble d'hypothèses secondaires, telles l'évolution de la part de la valeur ajoutée dans la production distribuée (hypothèse de matérialisation des économies), l'évolution des taux de marge, ou des consommations de capital fixe, des propensions à consommer, *etc.*

¹⁵ Ces tableaux sont publiés sur la page du site du CIRED consacrée au présent projet de recherche, http://www.centre-cired.fr/forum/article.php?id_article=95

¹⁶ Les exercices de couplage IMACLIM-POLES, inaugurés par le programme ARES, ont été prolongés grâce aux outils de traitement de données présentés ici, pour permettre une participation à deux programmes internationaux et une publication (cf. rubrique « valorisation »).

Ces dernières hypothèses sont envisagées en termes d'intervalles de vraisemblance plutôt que précisément fixées. La réservation d'un tel degré de liberté peut étonner, mais il permet de garantir que l'exercice débouche sur la construction d'un équilibre plausible¹⁷.

L'utilisation de PROJTES pour la reconstruction d'équilibres passés fonctionne essentiellement sur les mêmes bases, la principale différence étant que la masse de données disponibles est très étendue (cf. *infra*). Disposant donc d'un nombre fixe de contraintes d'équilibre et d'un nombre variable de contraintes supplémentaires liées aux données passées disponibles, le TES passé est recomposé en relâchant autant de ses éléments constitutifs (prix, quantités unitaires, quantités totales), soigneusement sélectionnés, que l'on dispose de contraintes—afin de rester dans le cadre d'un problème bien déterminé.

Il est clair qu'une telle méthode demande une sélection pertinente des éléments de la matrice qui s'ajustent pour recomposer l'équilibre passé, sélection qui *a contrario* impose la constance de tous les autres. La difficulté du choix des éléments d'ajustement réside donc :

- d'une part dans le choix de ceux qui permettent, dans une fourchette d'ajustement raisonnable, de retrouver effectivement un équilibre respectant les données passées,
- d'autre part dans l'identification des éléments très inertes, ou négligeables, que l'on peut sans perte de généralité maintenir constants.

Ce fin travail de sélection présente le mérite d'exiger de l'opérateur une compréhension intime des relations d'équilibre et une certaine connaissance des données utilisées, gages de la qualité des équilibres reconstruits. Cependant il se révèle rapidement impraticable dès que le nombre de secteurs et/ou de régions s'accroît et augmente fortement la taille des matrices à recalculer. À terme, la méthode du maximum d'entropie—que des difficultés d'ordre calculatoire n'ont pas permis d'utiliser pour l'instant—s'imposera sans doute comme solution de ces difficultés.

¹⁷ Incidemment, les travaux de reconstruction des équilibres passés ont permis un développement de l'application de PROJTES au futur, qui opère désormais la projection mondiale intégrée d'équilibres de référence sur plusieurs régions.

II.2.2. Méthode du maximum d'entropie

La méthode du maximum d'entropie est issue des théories de l'information. L'idée sous-jacente consiste à utiliser l'ensemble des données disponibles, mais uniquement celles-ci, pour recalculer les tableaux recherchés (Golan *et al.*, 1994, Arndt *et al.*, 2002). Ces données disponibles sont toujours autant de contraintes pour la reconstitution des matrices passées, mais sans limitation, désormais, des éléments d'ajustement pour retrouver l'équilibre, il existe des données manquantes pour déterminer complètement la situation passée. La démarche est justement fondée sur la maximisation de cette information manquante, ou dit autrement de l'information potentiellement obtenue par toute donnée supplémentaire.

Lorsque l'on dispose déjà d'une matrice de comptabilité sociale pour une certaine date, il est possible de recourir au principe du minimum d'entropie croisée (*cross-entropy*), dérivé du précédent, pour intégrer dans les données l'information importante que constitue l'équilibre actuel par rapport à l'équilibre passé. En utilisant ce principe, déjà utilisé pour reconstituer des matrices de comptabilité sociale (Robinson *et al.*, 2000) ou améliorer la robustesse d'un modèle d'équilibre général en l'absence de données complètes (Arndt *et al.*, 2002), il est possible d'intégrer des informations disparates ainsi que des intervalles de confiance sur les valeurs prises, autrement dit de traduire les dire d'experts en contraintes sur l'équilibre recherché. Enfin cette méthode est souple et évolutive puisqu'elle permet d'incorporer facilement de nouvelles données disponibles.

L'exploration de son application, dans le cadre de ce projet de recherche, s'est heurtée à des difficultés calculatoires qu'il n'a pas été possible de surmonter. De futurs développements du programme de calcul Scilab, de l'ENPC, devraient sans doute permettre d'aboutir dans le cadre d'un futur projet de recherche.

II.3. Données sources (1)

Les données mobilisées dans la reconstruction de TES sur le passé sont non seulement macroéconomiques, mais aussi décrivent les modes de développement par grands secteurs d'activité (transport, bâtiments et travaux publics, industries grosses consommatrices d'énergie, transformation de l'énergie, production d'énergies fossiles et secteur composite).

Trois grandes catégories ont donc été considérées, que nous présenterons sans plus de commentaires les unes à la suite des autres, en insistant sur les sources ainsi que les périodes et les régions ou pays couverts.

II.3.1. Données économiques, démographiques et financières

Il s'agit des principales données économiques classiques (PIB, structure des valeurs ajoutées, structure des échanges bilatéraux...), démographiques (dynamique de la population et sa répartition en fonction des revenus et de l'espace...), et financières (niveau d'endettement, service de la dette...).

Source(s) : CEPPII (base CHELEM), base créée pour la scénarisation présentée en première partie du rapport (cf. *infra*), Banque Mondiale, Organisation des Nations Unies, Fonds Monétaire International, OCDE.

Période couverte : 1970-2002.

Pays ou zones géographiques couverts : tous les pays du monde.

II.3.2. Indicateurs de développement sectoriel

Cette seconde série d'indicateurs doit permettre, parallèlement à la structure des valeurs ajoutées et aux déflateurs de prix, de cerner l'évolution de chaque grand secteur, à la fois du point de vue des services fournis (niveau de production) et des technologies.

Les sources sont détaillées par branche :

- transports : Fédération Routière Internationale, Union Internationale des Chemins de Fer, OCDE, ONU, Odyssée ;
- industries grosses consommatrices d'énergie (chimie, acier, métaux non ferreux, ciments) : Organisation des Nations Unies pour le Développement Industriel (ONUDI), International Iron & Steel Institute (IISI), Odyssée ;
- bâtiments et travaux publics : Organisation des Nations Unies pour le Développement Humain, OCDE, Odyssée ;
- production d'énergies fossiles et transformation de l'énergie : ENERDATA (base de données du modèle POLES), Agence Internationale de l'Energie.

Période couverte : 1970-2002.

Pays ou zones géographiques couverts : tous les pays du monde.

Les variations de production du solde des activités économiques (le bien composite) sont déterminées par le cumul des contraintes exercées par ailleurs (en particulier, évolution du PIB et du ratio CI/VA, évolution des productions des secteurs détaillés, évolution générale des prix).

II.3.3. Prix et structures de coût

Source(s) : Fonds Monétaire International, CPDP, Odyssee.

Période couverte : 1970 - 2002

Pays ou zones géographiques couverts : tous les pays du monde

II.4. Données sources (2) : bases de la scénarisation économie/démographie/énergie

Ce second corps de données n'est présenté séparément du premier que pour le traitement particulier que son utilisation dans la réalisation des scénarisations simples présentées en première partie a entraîné. Comme l'ensemble des autres données sources présentées ci-dessus, il est utilisé dans la reconstruction d'équilibres passés. De part la nature de l'exercice de scénarisation il comporte des données démographiques, économiques et énergétiques :

- les données démographiques concernent la taille de la population, l'unité de mesure est l'habitant. La source provient des Nations Unies et de la Banque Mondiale ;
- les données économiques concernent le produit intérieur brut mesuré aux prix du marché (PIB). Elles ont été calculées, pour chaque pays, à partir des prix du marché en monnaie nationale et des taux annuels, puis recalées par rapport au niveau des prix de 1990, et enfin converties en dollars US en utilisant les taux de change moyens annuels pour 1990 (PPA). Les sources utilisées sont la Banque Mondiale, l'ONUDI, le CEPIL, le FMI.
- la consommation primaire d'énergie est le solde de la production primaire, du commerce extérieur, des soutes maritimes et des variations de stock. Elle mesure la consommation totale d'énergie du pays, incluant toutes les pertes et les autoconsommations lors des transformations. Sa structure est représentée par le pourcentage de chaque énergie primaire délivrée au marché intérieur, déduction faite de toutes les exportations, variations de stocks et soutes, hors énergies non conventionnelles. Les énergies primaires comprennent le charbon, les produits pétroliers, le gaz naturel, l'électricité nucléaire et un agrégat d'autres énergies primaires. L'unité utilisée est le millier de tonnes équivalent pétrole (ktep). La source utilisée pour les données énergétiques est la Banque de données mondiale Enerdata. Les données de base proviennent de l'Agence Internationale de l'Énergie (AIE) et des Nations Unies. Les données sont

complétées par des données d'organismes régionaux (EUROSTAT, OLADE, ADB, OPEC) ou spécialisés (Cedigaz), ainsi que, pour une centaine de pays, par des données de source nationale.

- Les émissions brutes globales de CO₂ sont exprimées en kt CO₂ (milliers de tonnes métriques de CO₂), obtenues d'Enerdata.

II.4.1. Traitement des données manquantes

Un travail économétrique a été fourni dans la construction de la base des données, notamment pour estimer les données manquantes. On a utilisé l'ajustement linéaire par la méthode des moindres carrés et non linéaire (ajustement d'une loi normale à une distribution observée, ajustement en théorie de la régression), ou plus simplement :

sur la base de l'hypothèse de l'homogénéité d'une région, on a imputé à la donnée manquante d'un pays la moyenne de la région lui appartenant. On évite ainsi de sous-estimer les totaux. Et, sur la base de l'hypothèse de stabilité des tendances, au sein du même pays, on applique un taux de croissance constant pour les années manquantes.

II.4.2. Méthodes d'agrégation

Le niveau d'agrégation se base sur une homogénéité approximative des situations démo-économiques et énergétiques (population, PIB/tête et consommation d'énergie) des groupes de pays. Les 13 régions du monde retenues ont été définies par la méthode statistique de classification hiérarchique, qui consiste à fournir un ensemble de partitions en classes de moins en moins fines obtenues par regroupements successifs de parties. L'arbre de classification est obtenu de manière ascendante, en regroupant d'abord les deux individus (pays) les plus proches, qui forment ainsi un sommet, et en itérant le processus jusqu'à regroupement complet.

II.4.3. Manque de fiabilité des données

Un effort considérable a été entrepris par les organisations internationales pour standardiser les données. Cependant, les méthodes statistiques, la couverture, les pratiques, et les définitions diffèrent largement entre pays. Plus important, les systèmes statistiques des pays en développement restent encore assez faibles, et ceci bien évidemment affecte la disponibilité et la fiabilité des données. Nous faisons ici brièvement le point sur la qualité des données relatives aux indicateurs utilisés pour l'exercice prospectif économie/démographie.

II.4.3.1. Émissions de CO₂

Pour évaluer la qualité des inventaires des émissions de CO₂, les pays doivent effectuer des comparaisons entre inventaires, méthodologies et données d'entrée. Les lignes directrices du GIEC pour les inventaires nationaux de gaz à effet de serre recommandent aux pays qui ont utilisé une méthode sectorielle détaillée pour comptabiliser les émissions de CO₂ dues à la combustion d'énergie de recourir également à la méthode de référence (AIE, 1998). Cette démarche permet d'identifier les domaines dans lesquels les émissions risquent de ne pas avoir été comptabilisées intégralement. Dans la plupart des cas, la différence entre les deux méthodes est faible, mais il arrive que des différences inexplicables entre les deux méthodes ou des différences statistiques dans les données de base entraînent des écarts importants.

L'AIE n'a pas toujours accès à la série complète de données relatives aux émissions de CO₂, et, bien sûr, certaines données des émissions de CO₂ sont entachées d'erreurs. Cependant, il importe de rappeler que quand on se penche sur les tendances des émissions de CO₂ liées à l'énergie, les erreurs sur les données énergétiques et les coefficients d'émission sont probablement plus systématiques qu'aléatoires. De ce fait, les tendances des émissions seront généralement plus fiables que les niveaux absolus de ces émissions.

II.4.3.2. PIB par tête

Par définition, le PIB par tête réel est le ratio entre le produit national nominal corrigé de l'inflation et la taille moyenne estimée de la population durant une période. Pour arriver à la valeur ajoutée nominale, il faut : (a) que toutes les activités soient incluses de manière à ce que la couverture soit complète et (b) que les outputs et les inputs non productifs (banques, assurances, logement, etc.) soient quantifiés et évalués dans chacune des activités. En réalité, la couverture est rarement complète et il existe de sérieux problèmes concernant les méthodes employées pour la quantification et l'évaluation. De plus, les biais et les erreurs liés à la couverture incomplète et aux méthodes de quantification et d'évaluation varient vraisemblablement dans le temps au sein d'un pays et se prêtent difficilement à la comparaison entre les pays.

II.4.3.3. Population

La taille de la population et son taux de croissance, déterminés à partir des tendances de la mortalité et de la fécondité, sont parmi les principaux indicateurs de l'exercice de scénarisation. Cependant, les données concernant ces indicateurs ont certaines déficiences. Comme Chamie (1992) le met en évidence, sept pays en développement

n'ont pas encore de recensement, et pour 22 d'entre eux, le dernier recensement est antérieur à l'an 1975. Toujours selon le même auteur, pour 87 pays en développement, on manque de données vraiment fiables et récentes pour estimer l'espérance de vie à la naissance.

II.4.3.4. Intensité énergétique

L'élasticité, comme l'intensité énergétique, repose, lorsqu'elle est calculée au niveau national, sur des agrégats monétaires (PIB) et physiques (consommation primaire évaluée à partir des bilans énergétiques) très globaux. Comme la consommation énergétique d'un pays dépend des coefficients d'équivalence utilisés pour construire son bilan, l'élasticité peut varier selon les données fournies par les différents organismes statistiques.

Conclusion

Les travaux réalisés en matière de donnée se sont concrétisés par un ensemble d'acquis postés sur la page du site Internet du CIRED dédiée à ce rapport. Ils regroupent :

- le code Scilab (logiciel libre développé par l'ENPC) du programme permettant la construction automatisée de TES sur base GTAP, avec une correction du traitement des échanges internationaux, de portée très significative ;
- la base de données spécifique développée pour la production des scénarios d'émission intégrés présentés en première partie de ce rapport ;
- une base de données de TES reconstruits sur le passé, sur 13 régions mondiales (celles définies au cours du dernier round de l'Energy Modeling Forum) et six secteurs d'activité pour l'instant.

Les premiers bénéficiaires de ces travaux sont de toute évidence les différentes équipes ayant collaboré à leur mise en œuvre. D'ores et déjà, ils ont soutenu la participation du couplage IMACLIM-POLES, réalisé dans le cadre de GICC-1, à deux programmes de recherche internationaux (cf. infra la section « Valorisation »). Cependant les bases constituées sont appelées à être diffusées auprès de l'ensemble de la communauté internationale des modélisateurs du changement climatique. Un effort de communication spécifique sera entrepris en ce sens.

Conclusion générale

Une première partie des efforts de recherche présentés dans ce rapport ont été menés sur le couplage de modélisations issues des différents champs de prospective pertinents en matière de changement climatique. Ils ont porté d'une part sur la rétroaction économie-climat, permettant de clarifier les horizons significatif de son étude (plusieurs siècles) et de déboucher sur l'identification du concept novateur de *coût climatique de la croissance* : la part d'une croissance acquise perdue à terme par le jeu de la rétroaction économie/climat (10% dans un scénario central). D'autre part ils ont débouché sur la construction de scénarios prospectifs intégrés d'émissions de CO₂, proposés comme alternative aux scénarios SRES du GIEC, dont à la fois ils amplifient le degré d'incertitude, et rehaussent le plancher, pour une vision plus pessimiste des défis à relever par la mitigation et/ou l'adaptation.

Une seconde partie des travaux ont porté sur la constitution d'une base de données intégrée, tentative de couverture du vaste ensemble de paramètres nécessaires à l'étude des champs de l'économie, de l'énergie et de la démographie. Leurs réalisations comprennent :

- la mise au point d'un code de programmation destiné à la production de tableaux entrées-sorties (TES) intégrés sur base GTAP, avec, point capital, correction de l'agrégation des échanges bilatéraux ;
- le développement d'un outil de reconstruction de TES dans le passé, par combinaison des tableaux GTAP 1997 et d'un ensemble de données exogènes parmi lesquelles des données démographiques et économiques. Cet outil a été mis à contribution pour la reconstruction d'équilibres passés de l'économie mondiale en 6 secteurs et 13 régions.

Ces réalisations ouvrent manifestement la voie à une série de progrès en matière de maîtrise scientifique des études prospectives sur le changement climatique, mais aussi à une multiplication des études réalisables par la réduction significative des coûts de traitement de données nécessaires. Ce second aspect, en apparence plus trivial, n'est pas à négliger : il facilite considérablement la participation aux programmes de recherche et aux forums scientifiques internationaux, cercles qui constituent l'un des pôles primordiaux de développement des activités de modélisation par la confrontation des travaux d'équipes de toutes provenances.

Au-delà de ces considérations, il est important de mesurer qu'une des réalisations majeures de ce projet de recherche réside dans la consolidation d'une communauté de chercheurs français porteurs de l'ensemble des problématiques à l'œuvre dans le dossier climatique. Les collaborations entamées dans le cadre de GICC-1 ont été poursuivies et développées, les liens tissés renforcés ; la dynamique créée devrait permettre aux équipes de recherche concernées, c'est leur ambition, de mettre sur pied une proposition de contribution française cohérente, robuste et lisible aux prochains travaux du GIEC.

Valorisation

Publications

Gherzi, F., J.-C. Hourcade et P. Criqui. (2003) « Viable Responses to the Equity-Responsibility Dilemma: a Consequentialist View ». *Climate Policy* **3** (1) : 115-133.

Hallegatte S. 2003. « Assessing the Climate-Economy Feedback through Characteristic Time Interplays ». Article en cours d'évaluation au *Journal of Economic Dynamics and Control*.

Thèses

Gherzi, F. 2003. *Changement technique et double dividende d'écotaxes : un essai sur la confluence des prospectives énergétique et macro-économique*. EHESS, Paris. 289 p.

Contributions à des programmes de recherche internationaux

Les travaux de collecte, d'harmonisation et de projection de données, par leur soutien aux travaux de couplage IMACLIM-POLES, ont permis la multiplication des exercices numériques sur base commune, débouchant sur la participation à deux programmes de recherche internationaux :

- le programme européen TranSust, qui rassemble une dizaine d'équipes de modélisation autour de la problématique du développement durable (www.transust.org) ;
- l'Energy Modeling Forum (EMF), de l'université de Stanford, dont le round en cours (EMF21) concerne le développement de la prise en compte des gaz autres que le CO2 dans les modèles participants (www.stanford.edu/group/emf).

Organisation d'un colloque

Un colloque intitulé *Contribution of TEF-ZOOM to Integrated Modelling* a été organisé en mars 2003 pour faire connaître le formalisme TEF et le logiciel ZOOM aux principaux chercheurs européens engagés sur la problématique de la modélisation intégrée. Ont été réunis : Arthus Beusen, Bas Eickout et Tom Kram (RIVM, Pays-Bas) ; Stéphane Blanco, Richard Fournier, Jean-Louis Joly et Vincent Platel (LESETH, Toulouse) ; Claudia Kempfert (Univ. Oldenburg, Allemagne) ; Francesco Bosello (FEEM, Italie) ; Sander van der Leeuw (INSU/CNRS) ; Brian O'Neill (IIASA,

Autriche) ; Jean-Yves Grandpeix, Alain Lahellec et Robert Franchisseur (LMD) ; Stéphane Hallegatte, Jean-Charles Hourcade et Venance Journé (CIRED) ; Rachel Warren (Tyndall Center, Royaume-Uni).

Publication électronique

Une page du site Internet du CIRED est consacrée aux résultats des travaux présentés dans ce rapport : http://www.centre-cired.fr/forum/article.php?id_article=95

Elle propose, outre le résumé et l'intégralité du présent rapport :

- le code Scilab (logiciel libre développé par l'ENPC) du programme permettant la construction automatisée de TES sur base GTAP, avec une correction du traitement des échanges internationaux, de portée très significative ;
- la base de données spécifique développée pour la production des scénarios d'émission intégrés présentés en première partie de ce rapport ;
- une base de données de TES reconstruits sur le passé, sur 13 régions mondiales (celles définies au cours du dernier round de l'Energy Modeling Forum) et six secteurs d'activité pour l'instant.

Bibliographie

AIE (Agence internationale de l'énergie). 1998. *Emissions de CO₂ dues à la combustion d'énergie, 1971-1996*. OCDE, Paris.

Arndt, C., S. Robinson et F. Tarp. 2002. « Parameter Estimation for a Computable General Equilibrium Model: a Maximum Entropy Approach ». *Economic Modelling* **19** : 375-398.

Bode, H.W. 1945. *Network Analysis and Feedback Design*. D. Van Nostrand, New-York, États-Unis.

Castles, I. et D. Henderson. 2003a. « The IPCC Emission Scenarios: An Economic-Statistical Critique ». *Energy & Environment* **14** (2&3) : 159-185.

Castles, I. et D. Henderson. 2003b. « Economics, Emissions Scenarios and the Work of the IPCC ». *Energy & Environment* **14**(4) : 415-435.

Chamie J. 1992. « Population databases in development analysis ». Conférence *Data base of development analysis*, Yale University, New Haven CT, États-Unis.

Cohen A.J. et G.C. Harcourt. 2003. « Retrospectives: Whatever Happened to the Cambridge Capital Theory Controversies? ». *Journal of Economic Perspectives* **17**(1).

Criqui P. *et al.* (1996). POLES 2.2. Programme JOULE II, Commission européenne DG XVII – développement de la recherche scientifique. Bruxelles. 99 p.

Equipe Ingénue. 1999. *Ingénue : une modélisation intergénérationnelle et universelle*. Documents CEPII et OFCE.

Equipe Ingénue. 2001. « Vieillesse démographique et transferts internationaux d'épargne, premiers enseignements du modèle INGENUE ». *Revue d'économie politique*, numéro spécial, février : 195-214.

Golan, A., G. Judge et S. Robinson. 1994. « Recovering Information from Incomplete or Partial Multisectoral Economic Data ». *The Review of Economics and Statistics* **76**(3) : 541-549.

Hourcade J.-C. et F. Gherzi (2000). « Le Rôle du Changement Technique dans le Double Dividende d'Écotaxes ». *Économie et Prévision* (143-144) : 47-68.

Jorgenson, D. 1984. « Econometric Methods for Applied General Equilibrium Analysis ». In : Scarf, H.E. et J.B. Shoven eds. *Applied General Equilibrium Analysis*. Cambridge University Press, New York.

Manne, A.S., R. Mendelsohn et R. Richels. 1995. « A Model for Evaluating Regional and Global Effects of GHG Reduction Policies ». *Energy Policy* **23**(1) : 17-34.

McKittrick, R. R. 1998. « The Econometric Critique of Computable General Equilibrium Modeling: the Role of Parameter Estimation ». *Economic Modelling* **15** : 543-573.

Nakicenovic, N., A. Grübler, S. Gaffin, T. T. Jung, T. Kram, T. Morita, H. Pitcher, K. Riahi, M. Schlesinger, P.R. Shukla, D. van Vuuren, G. Davis, L. Michaelis, R. Swart et N. Victor. 2003. « IPCC SRES Revisited: A Response ». *Energy & Environment* **14** (2&3) : 187-214.

Nordhaus, W.D. 1999. *Roll the DICE Again: Economic Models of Global Warming*. <http://www.econ.yale.edu/~nordhaus/homepage/dicemodels.htm>

Robinson, S., A. Cattaneo et M. El-Said. 2000. *Updating and Estimating a Social Accounting Matrix Using Cross Entropy Method*. Trade and Macroeconomics Discussion Paper No. 58. IFPRI, août 2000.

<http://www.cgiar.org/ifpri/divs/tmd/dp.htm>

Shoven, J.B. et J. Whalley. 1992. *Applying General Equilibrium*. Cambridge University Press, Cambridge.

Simon, J. 1992. « Population, natural resources, and the long-run standard of living ». In : *Population and Development in poor countries*. Princeton University Press, Oxford : 89-121.

Stiglitz, J.E. 1974. « The Cambridge-Cambridge Controversy in the Theory of Capital ; A View from New Haven : A Review Article ». *Journal of Economic Literature* **4** : 893-903.

ANNEXES

Annexe 1

GTAP : descriptif technique

Gtapagg.exe, l'exécutable de la base GTAP, permet d'agréger comme on le souhaite 57 secteurs, 66 régions et 5 facteurs primaires pour produire un jeu de séries statistiques, dans un format propre (*.har*) mais transmissible vers tableur.

Le produit de l'agrégation est automatiquement enregistré sous format *.zip*. Outre d'éventuelles séries temporelles¹⁸, les deux fichiers intéressants de l'archive *.zip* sont *basedata.har* et *baseview.har*. Les deux parties qui suivent détaillent l'ensemble des séries que l'on y trouve.

I. Séries de *basedata.har*

Basedata.har propose 35 séries statistiques. Pour accéder à chacune d'entre elles il suffit de sélectionner sa description dans le tableur *viewhar*, puis de cliquer dessus. Une fois qu'une série est ouverte, on peut revenir à la liste des séries de *basedata.har* en double-cliquant sur une valeur quelconque de la série (ou par utilisation de la barre espace).

bd1. Format of GTAP data

Définit le format dans lequel les séries sont affichées par défaut. Son principal intérêt est de permettre le choix du nombre de chiffres après la virgule affichés (ascenseur permettant un choix de 0 à 6 dans la barre d'outils). L'exportation des données se fait au format de l'affichage, il vaut donc mieux afficher les 6 chiffres après la virgule (même si c'est inconfortable pour la lecture) quand on veut exporter.

Quoiqu'il en soit, GTAP présente de légères erreurs, en général inférieures à l'unité (le million de dollars), d'autant plus étonnantes qu'elles peuvent apparaître hors calcul, par simple comparaison de deux informations théoriquement identiques apparaissant dans deux séries distinctes.

¹⁸ *Gtapagg.exe*, au moment où on lance l'agrégation pour les désagrégations que l'on a choisies, offre le choix à l'utilisateur de compiler ou non des données de commerce bilatéral.

On remarque en outre—découverte assez irritante—que l'utilisation sur une cellule de la fonction de copie prévue dans l'interface révèle deux chiffres supplémentaires après la virgule, qu'il n'est pas possible d'exporter en bloc ; l'approximation correspondante peut conduire à un léger déséquilibre des données tirées de la base, indépendamment du point soulevé précédemment.

Bien évidemment, ces imprécisions sont sans aucune conséquence sur une hypothétique exactitude des données rassemblées dans la base : l'incertitude minime qu'elles soulèvent est sans commune mesure avec celle caractérisant la collecte de données multiples et hétérogènes, au fondement de l'entreprise. Leur suppression est cependant requise dès lors que l'on se propose de les utiliser dans un cadre d'équilibre calculable, qu'il soit partiel ou général, et notamment lors d'exercices de calibrage.

bd2. Trade - Bilateral Imports at Market Prices

Les importations bilatérales valorisées au prix de marché importateur, en trois dimensions : produit, zone de provenance, zone importatrice¹⁹.

Le prix de marché importateur correspond à la somme du prix mondial, ou coût assurance fret, CAF (CIF en anglais, *cost insurance freight*), et des taxes à l'importation. La décomposition de la valorisation au prix de marché importateur n'est pas donnée dans cette série, mais elle apparaît dans la série *Decomposition of imports at market price* de *baseview.har*.

Le détail des emplois des importations est donné dans la série *Disposition of imported goods* de *baseview.har*, ou encore dans *Intermediates - Firm's Imports at Market Prices*, *Intermediates - Household Imports at Market Prices* et *Intermediates - Government Imports at Market Prices* de *basedata.har*.

Trade - Bilateral Imports at Market Prices ne peut pas être utilisée pour déterminer les exportations d'une zone, comme on serait tenté de le faire en regardant les importations de la somme des régions (Sum REG) en provenance de cette zone : les deux montants diffèrent dans la mesure où le transport des biens exportés (composante du prix mondial, cf. *infra*) n'est pas nécessairement assuré par l'exportateur, donc peut ne pas constituer une exportation pour lui.

¹⁹ Attention ! Comme dans l'ensemble des fichiers d'importations ou d'exportations, dans la barre d'outil **la première sélection de zone concerne la zone d'où le flux part**, et la seconde celle où il arrive : en supposant que l'on ait défini une agrégation Union Européenne (UE) vs Reste du Monde (RDM), si l'on veut la somme des importations européennes aux prix de marché il faut mettre dans la zone de gauche RDM, (l'exportateur) et dans celle de droite UE (l'importateur).

bd3. Trade - Bilateral Imports at World Prices

Les importations bilatérales valorisées à leur prix mondial, en trois dimensions : produit, zone de provenance, zone importatrice²⁰.

Le prix mondial des importations correspond au prix CAF (coût, assurance, fret, en anglais CIF), soit à la somme du prix FAB (franco à bord, FOB en anglais) et des coûts de transport et d'assurance. La décomposition de la valorisation au prix CAF n'est pas donnée dans cette série, elle apparaît dans la série *Decomposition of cif values* de *baseview.har*.

Trade - Bilateral Imports at World Prices donne de fait la composante M du PIB (dans une équation standard $PIB = C + I + G + X - M$, telle que détaillée dans la série *GDP from the expenditure side* de *baseview.har*).

De même que la série précédente, *Trade - Bilateral Imports at World Prices* ne peut pas être utilisée pour déterminer les exportations d'une zone par les importations de la somme des régions (Sum REG) en provenance de cette zone : les deux montants diffèrent dans la mesure où le transport des biens exportés (composante du prix mondial, cf. *supra*) n'est pas nécessairement assuré par l'exportateur, mais peut l'être par l'importateur.

bd4. Trade - Bilateral Exports at World Prices

Les exportations bilatérales valorisées à leur prix mondial, en trois dimensions : produit, zone exportatrice, zone de destination.

Le prix mondial des exportations correspond au prix FAB (franco à bord, FOB en anglais), somme du coût de production et des taxes (subventions) à l'exportation. La décomposition de la valorisation au prix FAB n'est pas donnée dans cette série, elle apparaît dans la série *Decomposition of exports at world prices* de *baseview.har*.

Trade - Bilateral Exports at World Prices permet de déterminer la composante X du PIB (telle que détaillée dans la série *GDP from the expenditure side* de *baseview.har*) par simple ajout des exportations constituées par les activités de transport international, données par la série *Exports for International Transportation, Market Prices* de *basedata.har*.

²⁰ Cf. note précédente.

bd5. Trade - Bilateral Exports at Market Prices

Les exportations bilatérales valorisées au prix de marché de l'exportateur, en trois dimensions : produit, zone exportatrice, zone de destination.

Pour une zone donnée, le prix de marché des exportations diffère du prix mondial des exportations en ce qu'il ne comprend pas les taxes à l'exportation. Pour résumer la cascade des valorisations des différentes séries d'échanges internationaux :

Imports at Market Price = Imports at World Price (CIF) + Import Taxes

Imports at World Price (CIF) = Imports FOB + Transport (= *M du PIB*)

Imports FOB = Exports at World Price (de la zone complémentaire)

Exports at World Price = Exports at Market Prices + Export Taxes

bd6. Protection - Anti-Dumping Duty

Droits de douane correspondant explicitement à des mesures de rétorsion pour concurrence déloyale. Il semblerait que ces données doivent faire l'objet de futurs développements, puisqu'elles sont nulles pour l'ensemble des régions et des biens en l'état actuel.

bd7. Protection - Ordinary Import Duty

Droits de douane imposés sur les échanges, en trois dimensions : produits, zone exportatrice, zone importatrice imposant les droits.

Le montant des droits est le même que celui des taxes à l'importation détaillées dans la série *Decomposition of imports at market price de baseview.har*.

bd8. Protection - Price Undertaking Export Subsidy Equivalent

Fait sans doute référence aux subventions nationales permettant d'assurer une mesure de compétitivité sur les marchés internationaux. Série nulle pour l'ensemble des zones et des produits.

bd9. Protection - MFA Export Subsidy Equivalent

Non nul (7,5 milliards de dollars). Ne semble pas importer pour la construction d'un TES équilibré.

bd10. Protection - VER Export Subsidy Equivalent

Série nulle pour l'ensemble des zones et des produits.

bd11. Protection - Ordinary Export Subsidy

Subventions spécifiques aux exportations, en trois dimensions : produit, zone exportatrice, zone de destination.

Le montant des subventions est curieusement le même que celui des taxations apparaissant dans la série *Decomposition of exports at world prices* de *baseview.har* (il devrait logiquement être son opposé, simple question de perspective. C'est le cas pour toutes les autres occurrences de doublon subventions/taxation).

Bon nombre des subventions sont en fait positives, et correspondent donc bien à des taxations et non à des subventions, en particulier pour les zones en développement (point qui mérite de plus amples investigations).

bd12. Intermediates - Firms' Imports at Market Prices

Consommations intermédiaires de produits importés, valorisées au prix de marché, en trois dimensions : produit consommé, production qui le consomme, zone géographique.

Le prix de marché importateur correspond à la somme du prix mondial, ou CAF (CIF en anglais), et des taxes à l'importation. La décomposition de la valorisation au prix de marché importateur n'est pas donnée dans cette série, mais elle apparaît dans la série *Decomposition of imports at market price* de *baseview.har*.

Au rang des productions, on trouve curieusement la FBCF (en anglais CGDS) : sa production est traitée comme une activité à part, quelle que soit l'agrégation sectorielle choisie.

bd13. Intermediates - Firms' Domestic Purchases at Market Prices

Consommations intermédiaires de produits domestiques, valorisées au prix de marché, en trois dimensions : produit consommé, production qui le consomme, zone géographique.

Comme pour la série précédente la FBCF apparaît parmi les productions consommatrices.

La série *Value of Output at Market Prices* de *baseview.har* indique que, pour les biens domestiques, la valorisation au prix de marché correspond à la somme de *prodrev* (?) la valorisation au prix de production hors taxes à la production (valorisation dont la décomposition est donné par *Cost Structure of Firms* de *baseview.har*), et de *outtax*, la

taxation de la production (que l'on retrouve dans la série *Ordinary Output Subsidies* de *basedata.har*).

bd14. Intermediates - Firms' Imports at Agents' Prices

Consommations intermédiaires de produits importés, valorisées au « prix des agents », en trois dimensions : produit consommé, production qui le consomme, zone géographique.

Comme pour les séries précédentes, la FBCF apparaît parmi les productions consommatrices.

Le « prix des agents » correspond à la différence entre le prix de marché et les subventions aux consommations intermédiaires *Intermediate Input Subsidies* de *basedata.har*.

bd15. Intermediates - Firms' Domestic Purchases at Agents' Prices

Consommations intermédiaires de produits domestiques, valorisées au « prix des agents », en trois dimensions : produit consommé, production qui le consomme, zone géographique.

Comme pour les séries précédentes, la FBCF apparaît parmi les productions consommatrices.

Le « prix des agents » correspond à la différence entre le prix de marché et les subventions aux consommations intermédiaires *Intermediate Input Subsidies* de *basedata.har*, ou encore à la somme du prix de marché *mktexp* et de sa taxation *comtax* de la série *Cost Structure of Firms* de *baseview.har*.

bd16. Intermediate Input Subsidies

Subventions aux consommations intermédiaires, en quatre dimensions : produit dont la consommation est subventionnée, production dans laquelle cette consommation est utilisée, zone géographique, et origine de la consommation subventionnée (domestique ou importée).

Lorsqu'elles sont négatives, ces subventions correspondent de fait à des taxations.

bd17. Endowments - Firms' Purchases at Market Prices

Consommations de facteurs, valorisées au prix de marché, en trois dimensions : facteur, production où il est utilisé, zone géographique.

On retrouve la FBCF parmi les productions, sans incidence puisque l'ensemble de ses consommations de facteurs sont nulles.

bd18. Intermediates - Household Imports at Market Prices

Consommations de produits importés des ménages, valorisées au prix de marché, en deux dimensions : produit consommé, zone géographique.

Le prix de marché importateur correspond à la somme du prix mondial, ou CAF (CIF en anglais), et des taxes à l'importation ; le détail des taxes n'est pas donné dans cette série, mais il apparaît dans la série *Decomposition of imports at market price* de *baseview.har*.

bd19. Intermediates - Household Domestic Purchases at Market Prices

Consommations de produits domestiques des ménages, valorisées au prix de marché, en deux dimensions : produit consommé, zone géographique.

La série *Value of Output at Market Prices* de *baseview.har* indique que, pour les biens domestiques, le prix de marché correspond à la somme de *prodrev* (?) le prix de production hors taxes à la production (prix dont la décomposition est donné par *Cost Structure of Firms* de *baseview.har*), et de *outtax* la taxation de la production (que l'on retrouve dans la série *Ordinary Output Subsidies* de *basedata.har*).

bd20. Intermediates - Government Imports at Market Prices

Consommations de produits importés des administrations publiques, valorisées au prix de marché, en deux dimensions : produit consommé, zone géographique.

Le prix de marché importateur correspond à la somme du prix mondial, ou CAF (CIF en anglais), et des taxes à l'importation ; le détail des taxes n'est pas donné dans cette série, mais il apparaît dans la série *Decomposition of imports at market price* de *baseview.har*.

bd21. Intermediates - Government Domestic Purchases at Market Prices

Consommations de produits domestiques des administrations publiques, valorisées au prix de marché, en deux dimensions : produit consommé, zone géographique.

La série *Value of Output at Market Prices* de *baseview.har* indique que, pour les biens domestiques, le prix de marché correspond à la somme de *prodrev* (?) le prix de production hors taxes à la production (prix dont la décomposition est donné par *Cost*

Structure of Firms de *baseview.har*), et de *outtax* la taxation de la production (que l'on retrouve dans la série *Ordinary Output Subsidies* de *basedata.har*).

bd22. Trade - Exports for International Transportation, Market Prices

Exportations de services de transport internationaux, valorisées au prix de marché, en deux dimensions : produit consommé (seuls les agrégats contenant les biens de transports sont proposés, soit nomenclature GTAP 48, 49 et 50— autres transports, transports par voie d'eau et transports aériens respectivement), zone exportatrice du service.

Ces exportations, additionnées aux exportations FAB de la série *Trade - Bilateral Exports at World Prices* de *basedata.har* permettent de déterminer la composante X du PIB (telle que détaillée dans la série *GDP from the expenditure side* de *baseview.har*).

On retrouve ces exportations dans l'emploi *trans* de la série *Disposition of Output*, fichier *baseview.har*.

bd23. Endowments - Output at Agents' Prices

« Production » (dotation) de facteurs, valorisée au prix des agents, en deux dimensions : facteur, zone géographique.

Curieusement, les données correspondent aux totaux de la série *Endowments - Firms' Purchases at Market Prices* (cf. *supra*), alors qu'elles divergent de ceux de la série ci-dessous.

bd24. Endowments - Firms' Purchases at Agents' Prices

Consommations de facteurs, valorisées au prix des agents, en trois dimensions : facteur, production où il est utilisé, zone géographique.

Comme pour la série en prix de marché (cf. *supra*) on retrouve la FBCF parmi les productions, sans incidence puisque l'ensemble de ses consommations de facteurs sont nulles.

Pour les facteurs la valorisation au prix des agents correspond à la somme de celle au prix de marché (série *Endowments - Firms' Purchases at Market Prices*) et des subventions aux consommations de facteurs (série *Factor-Based Subsidy*).

bd25. Intermediates - Household Imports at Agents' Prices

Consommations de produits importés des ménages, valorisées au prix des agents, en deux dimensions : produit consommé, zone géographique.

Le « prix des agents » correspond à la différence entre le prix de marché et les subventions aux consommations finales *Intermediate Input Subsidies* de *basedata.har*.

bd26. Intermediates - Household Domestic Purchases at Agents' Prices

Consommations de produits domestiques des ménages, valorisées au prix des agents, en deux dimensions : produit consommé, zone géographique.

Le « prix des agents » correspond à la différence entre le prix de marché et les subventions aux consommations intermédiaires *Intermediate Input Subsidies* de *basedata.har*.

bd27. Intermediates - Government Imports at Agents' Prices

Consommations de produits importés des administrations publiques, valorisées au prix des agents, en deux dimensions : produit consommé, zone géographique.

Le « prix des agents » correspond à la différence entre le prix de marché et les subventions aux consommations intermédiaires *Intermediate Input Subsidies* de *basedata.har*.

bd28. Intermediates - Government Domestic Purchases at Agents' Prices

Consommations de produits domestiques des administrations publiques, valorisées au prix des agents, en deux dimensions : produit consommé, zone géographique.

Le « prix des agents » correspond à la différence entre le prix de marché et les subventions aux consommations intermédiaires *Intermediate Input Subsidies* de *basedata.har*.

bd29. Savings - Net Expenditure at Agents' Prices

Emploi net que constitue l'épargne des ménages, valorisé au prix des agents, en une seule dimension (par zone).

bd30. Capital Stock - Value at Beginning-of-Period

Valorisation du stock de capital en début de période. Sans doute s'agit-il du capital productif fixe.

bd31. Capital Stock - Value of Depreciation

Dépréciation du stock de capital en cours de période. Cette série est obtenue par l'application d'un taux unique de 4% à la série précédente (cf. *infra*).

bd32. Ordinary Output Subsidies

Subventions à la consommation, en deux dimensions : produit consommé, zone géographique.

Ces « subventions » correspondent à la composante *outtax* de la série *Value of Output at Market Prices* de *baseview.har* ; de fait lorsqu'elles sont négatives elles correspondent à une taxation.

bd33. Factor-Based Subsidies

Subventions aux consommations de facteurs, en trois dimensions : facteur, production où il est utilisé, zone géographique.

Le montant de ces subventions correspond à la différence entre les consommations de facteurs au prix des agents et au prix de marché (séries *Endowments - Firms' Purchases at Agents' Prices* et *Endowments - Firms' Purchases at Market Prices*).

bd34. Margins on International Trade

Marges sur le commerce international entre deux zones, en quatre dimensions : produit consommé pour effectuer le transport (seuls les agrégats contenant les biens de transports sont proposés, soit nomenclature GTAP 48, 49 et 50—autres transports, transports par voie d'eau et transports aériens respectivement), produit transporté, zone exportatrice et zone de destination.

Les « marges » présentées par cette série correspondent exactement aux coûts de transports détaillés dans la série *Decomposition of cif values*, fichier *baseview.har*, et la dénomination pourrait donc paraître inappropriée.

Soulignons que ces marges ou coûts de transports ne peuvent en fait être affectées à aucune zone en particulier (le commerce international peut être produit par une tierce zone). Pour savoir quelle part telle ou telle zone a dans les activités de transport permettant le commerce international, on se reportera à la série *Trade - Exports for International Transportation, Market Prices* (cf. *supra*).

bd35. Sum of Distribution Parameters in Household Demand System

Concerne la paramétrisation du modèle GTAP qui utilise la base de données, sans intérêt si l'on ne s'intéresse qu'à celle-ci.

II. Séries de *baseview.har*

Baseview.har propose quant à lui 17 séries statistiques, dans un format identique à celui de *basedata.har*.

bv1. GDP from the expenditure side

La décomposition du PIB en emplois, en deux dimensions : emploi et zone géographique.

Les exportations correspondent à la somme des exportations au prix mondial (série *Trade - Bilateral Exports at World Prices* de *basedata.har*) et de la participation aux activités de transport international (série *Trade - Exports for International Transportation, Market Prices* de *basedata.har*).

Les importations sont en valeur CAF, identiques à celles rapportées dans la série *Trade - Bilateral Imports at World Prices* de *basedata.har*.

Attention, *cons* la consommation des ménages et *gov* les dépenses du gouvernement sont valorisés **au prix des agents**.

La composante *inv* renvoie aux consommations de produits motivées par la production de FBCF, valorisées au prix des agents, qui apparaissent dans les séries *Intermediate - Firm's Domestic Purchases at Agents' Prices* et *Intermediate - Firm's Imports at Agents' Prices*.

bv2. GDP from the sources side

La décomposition du PIB en ressources, en deux dimensions : ressource (*fact*, *tax* ou *depr*), zone géographique.

La somme des totaux affichés pour *fact*, les facteurs, et *depr* la dépréciation (correspondant à celle de la série *Capital Stock - Value of Depreciation*) correspond à celui de la série *Endowments - Firms' Purchases at Market Prices* (ou *Endowments - Output at Agents' Prices*) de *basedata.har*. Inconvénient : l'affectation de cette dépréciation aux facteurs semble ne pas être fournie. Remarque : la valeur de *depr* est

obtenue par simple calcul sur le stock de capital affiché dans la série *Capital Stock - Value at Beginning-of-Period*, sensé se déprécier au taux universel de 4%.

Le total affiché pour *tax*, la somme des prélèvements obligatoires, correspond à la somme :

- des prélèvements sur les consommations intermédiaires et des facteurs primaires, donnés par la composante *comtax* de la série *Cost Structure of Firms* (cf. *infra*), ou par l'opposé des subventions *Intermediate Input Subsidies* et *Factor-Based Subsidies* de *basedata.har*,
- des prélèvements sur les productions, donnés par la composante *outtax* de la série *Value of output at market prices* (l'opposé des subventions *Ordinary Output Subsidies* de *basedata.har*),
- des prélèvements sur les consommations finales, donnés par la composante *comtax* des séries *Cost structure of consumption* et *Cost structure of Government*, (cf. *infra*),
- des prélèvements sur les exportations, donnés par la composante *xtax* de la série *Decomposition of exports at World Prices*, ou par la série *Protection - Ordinary Export Subsidy* de *basedata.har*²¹,
- des prélèvements sur les importations, donnés par la série *Protection - Ordinary Import Duty*, ou par la composante *mtax* de la série *Decomposition of Imports at Market Prices* de *basedata.har*.

bv3. Sources of factor income (NETFACTINC + VDEP) by sector

Les sources des revenus des facteurs, en trois dimensions : facteur, production dans laquelle il est utilisé, zone géographique.

Les revenus sont exprimés au prix des agents, puisque cette série correspond très exactement à la série *Endowments - Firms' Purchases at Agents' Prices* de *basedata.har*.

Incidentement, la mention « NETFACTINC + VDEP » permet de recomposer la valorisation **au prix des agents** des consommations de facteurs—*Endowments - Firms' Purchases at Agents' Prices*—comme la somme de ces « NETFACTINC »,

²¹ Curieusement, pour cet élément uniquement la série donnant les subventions n'est pas l'opposé de celle donnant les taxes ?

correspondant à la valorisation des facteurs dans le PIB en ressources—*GDP from the expenditure side*—, et des dépréciations de la série *Capital Stock - Value of Depreciation*.

bv4. S - I = X - M: CAPITALACCT

Détail du compte de capital (épargne et investissement), en deux dimensions : zone géographique, et série que l'on souhaite (épargne, investissement, les deux ou leur agrégation, qui forme le compte de capital).

L'épargne est valorisée au prix des agents, puisque le montant d'épargne correspond très exactement à celui de la série *Savings - Net Expenditure at Agents' Prices de basedata.har*.

L'investissement semble être limité à l'investissement des ménages nationaux, très différent de celui rapporté dans le PIB, série *GDP from the expenditure side* (manquent les investissements des entreprises et celui de provenance internationale).

bv5. X - M = S - I: CURRENTACCT

Détail du compte courant, en deux dimensions : zone géographique, série que l'on souhaite (exportations, importations, les deux ou leur somme) et produit concerné.

Les exportations correspondent à celles rapportées dans le détail du PIB, série *GDP from the expenditure side*, donc bien à la somme des exportations au prix mondial (série *Trade - Bilateral Exports at World Prices de basedata.har*) et de la participation aux activités de transport international (série *Trade - Exports for International Transportation, Market Prices de basedata.har*).

Les importations sont en valeur CAF, identiques à celles rapportées dans le détail du PIB, série *GDP from the expenditure side*, ou dans la série *Trade - Bilateral Imports at World Prices de basedata.har*.

bv6. Capital stock by region

Valorisation du stock de capital, par zone géographique.

La valeur est exactement la même que celle rapportée dans la série *Capital Stock - Value at Beginning-of-Period de basedata.har*.

bv7. Decomposition of exports at world prices

Décomposition des exportations valorisées au prix mondial, en quatre dimensions : produit exporté, zone exportatrice, zone de destination, détail du montant (valorisation hors taxe, taxation, les deux ou la somme des deux).

La somme de la valorisation hors taxe et de la taxation correspond à une valorisation FAB, cf. série *Trade - Bilateral Exports at World Prices* de *basedata.har*.

bv8. Decomposition of imports at market prices

Décomposition des importations valorisées au prix de marché, en quatre dimensions : produit importé, zone de provenance, zone importatrice, détail du montant (valorisation hors taxe, taxation, les deux ou la somme des deux).

La valorisation hors taxe correspond à une valorisation CAF, cf. série *Trade - Bilateral Imports at World Prices* de *basedata.har*. Elle correspond donc aussi à la composante M du PIB (dans une équation standard $PIB = C+I+G+X-M$, comme celle de la série *GDP from the expenditure side*).

bv9. Decomposition of CIF values

Valorisation CAF des échanges internationaux, en quatre dimensions : produit échangé, zone exportatrice, zone importatrice, détail de la valorisation (FOB, coûts de transports—et d'assurance, sans doute...—, les deux ou la somme des deux).

Cette valorisation CAF correspond pour les importations à celle de la série *Trade - Bilateral Imports at World Prices* de *basedata.har*.

bv10. Disposition of output

Emplois de la production distribuée, en trois dimensions : production concernée, détail des emplois (*dom*, *trans*, *export* ou la somme des trois), zone géographique.

L'emploi *dom* correspond aux consommations domestiques valorisées au prix de marché, soit à la somme des séries *Intermediates - Firms Domestic Purchases at Market Prices*, *Intermediates - Household Domestic Purchases at Market Prices* et *Intermediates - Government Domestic Purchases at Market Prices*.

L'emploi *trans* correspond à la participation de la zone concernée aux activités de transport international (il n'est donc non nul que pour les productions agrégeant les activités de transport), soit à la série *Trade - Exports for International Transportation, Market Prices*.

L'emploi *export* correspond aux exportations FOB hors taxe de la zone concernée, identiques à celles de la série *Decomposition of exports at world prices*. Il lui manque les taxes (subventions) à l'exportation, et la participation aux activités de transport international, série *Trade - Exports for International Transportation, Market Prices* (exportations de bien transport), pour former la composante X du PIB de *GDP from the expenditure side*.

bv11. Disposition of domestic goods

Détail de l'emploi *dom* de la série précédente, soit des emplois domestiques de produits domestiques (*Domestic disposition of goods* ou quelque chose d'approchant serait donc un dénomination plus appropriée), en trois dimensions : production concernée, détail des emplois (*prod, cons, gov* ou la somme des trois), zone géographique.

L'emploi *prod* correspond au total de la série *Intermediates - Firms' Domestic Purchases at Market Prices*, les emplois *cons* et *gov* aux séries *Intermediates - Household Domestic Purchases at Market Prices* et *Intermediates - Government Domestic Purchases at Market Prices*.

bv12. Disposition of imported goods

Détail des emplois des importations, valorisées au prix de marché, en trois dimensions : importation concernée, détail des emplois (*prod, cons, gov* ou la somme des trois), zone géographique.

L'emploi *prod* correspond au total de la série *Intermediates - Firms' Imports Purchases at Market Prices*, les emplois *cons* et *gov* aux séries *Intermediates - Household Imports Purchases at Market Prices* et *Intermediates - Government Imports Purchases at Market Prices*.

bv13. Value of output at market prices

Production distribuée au prix de marché, en trois dimensions : produit, zone géographique, composition (*prodrev* et/ou *outtax* ou somme des deux).

Le total de la production distribuée correspond à celui de la série *Disposition of output*.

La composante *prodrev* correspond aux sommes des coûts de production rapportés dans la série *Cost structure of firms* (cf. *infra*), et peut donc être divisée en *mktxp*, (dépense au prix de marché ?) et *comtax* (taxe à la commercialisation ?).

La composante *outtax* correspond à l'opposé de la série *Ordinary Output Subsidy*, et donc à une taxe lorsqu'elle est négative, à une subvention sinon.

bv14. Self-sufficiency or domestic share in total use

Indice d'autosuffisance (inutile pour la construction de TES).

bv15. Cost structure of firms

Structure de coût de la production, en cinq dimensions : facteur ou produit consommé, production pour laquelle il est consommé (qui distingue à nouveau le bien CGDS, formation de capital fixe), zone géographique, provenance de la consommation (domestique ou importée), détail du coût (composantes *mktexp* et *comtax*).

La composante *mktexp* correspond :

- pour les consommations de facteurs, à la série *Endowments - Firms' Purchases at Market Prices* de *basedata.har* ;
- pour les consommations de produits, aux séries *Intermediate - Firms' Domestic Purchases at Market Prices* ou *Intermediate - Firms' Imports at Market Prices* de *basedata.har*.

La composante *comtax* correspond :

- pour les consommations intermédiaires de facteurs, à la série *Factor-Based Subsidies* de *basedata.har* ;
- pour celles de produits, à la série *Intermediate Input Subsidies* de *basedata.har*.

En conséquence, le total des coûts de production correspond aux valorisations **au prix des agents** des consommations intermédiaires (*Intermediate - Firms' Domestic Purchases at Agents' Prices* ou *Intermediate - Firms' Imports at Agents' Prices* de *basedata.har*) et des consommations de facteurs (*Endowments - Firms' Purchases at Agents' Prices* de *basedata.har*).

bv16. Cost structure of consumption

Structure de coût de la consommation des ménages, en quatre dimensions : facteur ou produit consommé, zone géographique, provenance de la consommation (domestique ou importée), détail du coût (composantes *mktexp* et *comtax*).

La composante *mktexp* correspond à la série *Endowments - Household Purchases at Market Prices* de *basedata.har*, tandis que la composante *comtax* correspond à la

différence entre cette valorisation au prix de marché et la valorisation au prix des agents de *Endowments - Household Purchases at Agents' Prices*.

bv17. Cost structure of government

Structure de coût de la consommation des administrations publiques, en quatre dimensions : facteur ou produit consommé, zone géographique, provenance de la consommation (domestique ou importée), détail du coût (composantes *mktxp* et *comtax*).

La composante *mktxp* correspond à la série *Endowments - Government Purchases at Market Prices* de *basedata.har*, tandis que la composante *comtax* correspond à la différence entre cette valorisation au prix de marché et la valorisation au prix des agents de *Endowments - Government Purchases at Agents' Prices*.

Annexe 2

Constitution d'une base de données fiscales

Les données fiscales sont souvent délicates à obtenir du fait de leur faible visibilité au sein de l'ensemble des données socio-économiques accessibles. En outre, leur harmonisation est rendue incommode par l'hétérogénéité frappante des logiques retenues par les multiples institutions statistiques nationales et internationales qui les proposent. Leur collecte est cependant indispensable en matière de modélisation des politiques climatiques : on sait que le *tax interaction effect* théorisé par Goulder²² est l'un des éléments centraux d'évaluation des réformes « écofiscales », les politiques climatiques les plus sensées du point de vue de l'économiste.

Partant de ce constat, on se fixe comme objectif de caractériser la fiscalité d'un État en parcourant les catégories suivantes sur des séries temporelles longues :

- impôt sur le revenu des ménages ;
- impôt sur le profit des sociétés ;
- impôt à la production, hors taxes énergie ;
- impôt prélevé au titre d'une taxe sur l'énergie (telle que la TIPP en France) ;
- contributions de sécurité sociale, en distinguant éventuellement les parts versées par l'employeur et l'employé ;
- taxes indirectes, réparties en TVA, accises, taxes sur le commerce international
- autres taxes éventuelles.

A posteriori, le Fonds Monétaire International (FMI) et les institutions statistiques nationales paraissent être les sources les plus satisfaisantes pour l'obtention de ces données. Lorsqu'elles sont disponibles elles sont fournies en monnaie locale ou en pourcentage du PIB national ; il convient de les uniformiser, par exemple en les convertissant en dollars 1997 (pour compatibilité avec GTAP 5.0). La suite de ce texte

²² Goulder L.H. (1995). « Environmental Taxation and the Double-Dividend: A Reader's Guide ». *International Tax and Public Finance* 2 (2) : 157-183.

expose le détail des éléments récoltés pour la constitution d'une base de données mondiale, par grandes régions.

Union européenne (à 15)

L'ensemble des données fiscales souhaitées sont disponibles sur la période 1990/2002 pour les pays de l'actuelle Union européenne. Le recours à l'organisme européen Eurostat, onéreux, ne paraît pas nécessaire : la consultation des appendices statistiques de rapports du FMI, des sites Internet d'institutions statistiques et de ministères des finances nationaux, suffit.

Europe de l'est (dont nouveaux entrants européens)

Pour les pays de l'est de l'Europe, anciennement pays satellites de l'URSS, des données assez complètes sont disponibles avec quelques nuances. D'une manière générale—une constatation que l'on peut étendre à l'ensemble des régions—le volume des contributions de sécurité sociale est accessible, mais il est malaisé voire impossible à ce stade de distinguer entre celles à la charge des salariés et celles à la charge des employeurs. Pour la Pologne, il a été possible de réunir les données sur la période 1990/2002, en monnaie nationale et en pourcentage du PIB ; pour les Républiques tchèque et slovaque les mêmes données ont été collectées sur les périodes 1996/2002 et 1995/2002 (pour ce dernier pays les taxes directes sur le revenu sont différenciées en taxes sur les salaires, le revenu des entrepreneurs et le capital). Concernant la Hongrie, les données ont pu être obtenues pour les années 1990/2002, avec un grand degré de détail puisque les taxes payées par les entreprises sont nettement scindées en taxes sur les profits, taxes à la production, ou encore celles qui pèsent sur les institutions financières, mais seulement en monnaie nationale. Pour la Bulgarie, sont disponibles les données 1992/2002, avec une différenciation des contributions d'assurance sociale en prélèvements pour les retraites, pour le chômage et les dépenses de santé. Pour les pays de l'ex-Yougoslavie, les données sont nettement moins fines : pour la Croatie par exemple les taxes sur le revenu des personnes et sur les profits sont fondues dans une même rubrique (disponibles entre 1991 et 2002) ; de même, pour la Bosnie-Herzégovine, n'apparaissent que taxes sur les biens et services, taxes sur le commerce et taxe sur le revenu (de 1996 à 2002).

États-Unis

L'accès aux données économiques et fiscales des États-Unis est aisé ; pour la seconde catégorie on a pu obtenir des séries extrêmement longues (depuis l'année 1929) recoupant bien l'objectif de désagrégation, ceci grâce à l'immense richesse en données

du *Bureau of Economic Analysis* (BEA) qui présente de très nombreux tableaux de données de comptabilité nationale, les *National Income and Product Account Tables*. Le *US Bureau of the Census* pour les données démographiques et le *US Bureau of Labor Statistics* pour les données sur l'emploi, les effectifs salariés selon les branches ou encore les niveaux de salaires offrent également des informations statistiques nombreuses, précises et variées. Il est à noter que ces différents organismes américains sont tout à fait exemplaires par la quantité des données en libre accès, et la qualité de l'organisation des sites Internet où elles sont regroupées.

Canada, Australie, Nouvelle-Zélande

Pour ces pays des organismes internationaux comme le FMI publient des données fiscales assez précises, essentiellement dans des rapports annuels et leurs appendices statistiques. Cela a permis de rassembler les données fiscales depuis l'année 1990 recoupant, de manière assez satisfaisante, les catégories désirées. En revanche, les instituts statistiques nationaux ne permettent guère l'accès libre électronique et proposent essentiellement des services payants.

Fédération de Russie

Pour la Fédération de Russie, les données ont été rassemblées à partir de 1994 en milliards de roubles et en pourcentage du PIB. Les taxes sur les revenus sont réparties entre taxes sur le revenu personnel et taxes sur les profits, et les taxes sur les biens et services laissent apparaître une rubrique taxes sur l'énergie. Les taxes sur le commerce international distinguent taxes à l'exportation et droits de douane à l'importation. Des changements non négligeables sont apparus après la crise d'août 1998 (ajustement fiscal après crise), entre autres par le retrait et la réintroduction des taxes à l'exportation, la baisse du taux de taxation sur les profits et une ré-allocation des produits de la TVA et de la taxation sur le revenu en faveur du gouvernement fédéral.

Pays de l'ex-URSS

Concernant les pays de l'ex-URSS, la situation est très disparate : la précision est très bonne par exemple pour l'Ukraine, mais assez mauvaise pour le Kazakhstan, et il a été jusqu'à présent impossible d'obtenir des données fiscales pour des Etats tels que l'Ouzbékistan ou le Tadjikistan. Pour l'Ukraine et le Kazakhstan les données disponibles le sont à partir de l'année 1995. Pour l'Ukraine, les taxes sur le profit des entreprises et celles sur le revenu des personnes sont bien séparées et les contributions sociales sont nettement différenciées entre prélèvements pour la santé, les retraites, le chômage et un Fonds Tchernobyl. De manière nettement moins satisfaisante, on a pour

le Kazakhstan une même rubrique pour les taxes sur le revenu individuel, les profits et les gains du capital, à laquelle s'ajoutent taxes sur les biens et services, taxes sur le commerce international et taxes de contributions sociales sans plus de précision quant à leur ventilation.

Chine

Pour la Chine, la situation est particulièrement délicate : aucun appendice statistique n'apparaît dans les rapports du FMI disponibles sur ce pays, et le *State Bureau of Statistics* chinois offre assez peu de renseignements dans le domaine fiscal, si ce n'est les volumes de revenus du gouvernement central et des gouvernements locaux en centaines de millions de yuan. Pour certaines années seulement de la décennie 90, sont disponibles le volume des taxes sur le revenu, les profits et les gains en capital, celui des prélèvements de sécurité sociale, celui sur les biens et services et enfin sur le commerce international en pourcentages du PIB. Des recherches plus ciblées sur des rapports et des expertises n'affichant pas ouvertement un but de production de données mais pouvant en receler, seront sans doute nécessaires pour enrichir les informations sur la fiscalité du pays.

Japon

Pour le Japon, les données ont été recueillies pour les années 1975/2002, par intervalle de 5 ans de 1975 à 1995, puis à partir de cette date pour chaque année. Le Ministère des Finances japonais, avec son département *Budget Bureau and Tax Bureau*, est une source précieuse en données de ce type, taxes directes et indirectes sont bien différenciées, sur le revenu des personnes et sur les entreprises. Les taxes à la consommation sont en outre suffisamment détaillées pour faire apparaître les taxes sur l'essence et d'autres énergies, ou encore sur le tabac ou les spiritueux. Les contributions sociales sont de même ventilées entre contributions des employeurs et des employés. L'outil statistique national livre donc assez facilement le type de données recherché.

Inde

Pour l'Inde, il a été possible de rassembler des données fiscales assez bonnes, avec distinction entre taxes sur les entreprises et taxes sur le revenu des individus depuis l'année 1980. On a pu obtenir également des données sur les taxes sur la propriété et les transactions en capital, ainsi que sur les biens et services. Des données sur les recettes affectées à la protection sociale (santé publique, protection de la famille, sécurité sociale) sont aussi accessibles, dans une catégorie « *non-tax revenue* ». A la

consommation, on trouve une « *excise tax* » qui est graduellement transformée en système de type TVA. Le *Central Statistical Organization* indien est assez bien documenté et permet de répondre relativement bien aux recherches entreprises.

Autres pays d'Asie

Pour les autres pays d'Asie, les meilleurs résultats ont été obtenus pour la Corée du Sud, la Thaïlande, les Philippines et le Vietnam où une assez grande précision est rencontrée : les taxes directes sur les revenus des personnes privées et sur les bénéfices des entreprises sont distinguées ; les taxes à la consommation font apparaître le détail des taxes sur les produits pétroliers, des accises sur le tabac ou l'alcool ; les contributions de sécurité sociale sont réparties entre celles des employeurs et celles des employés. Des données sont également disponibles pour Singapour, Hong Kong, la Malaisie ou encore le Pakistan, mais avec des lacunes et des rubriques plus grossières (volume de taxes directes regroupant celui sur le revenu des personnes et le bénéfice des entreprises) ; les taxes à la consommation demeurent assez bien différenciées, laissant apparaître les taxes sur les produits pétroliers ; les taxes sur le commerce international sont également présentes ; cependant les données sur le volume des contributions sociales sont fortement lacunaires, puisqu'elles ne sont envisagées que sous l'angle des dépenses publiques et non des prélèvements.

Brésil

Pour le Brésil, les données fiscales que l'on a pu réunir s'étendent sur la période 1990/2002, en pourcentage du PIB. Les taxes directes sont différenciées individus/entreprises, et les taxes indirectes se répartissent entre taxes nationales et fédérales, sans qu'il ait été possible jusqu'à présent d'identifier une part s'apparentant à une taxe sur l'énergie ou les carburants. L'institut brésilien de géographie et de statistiques nationales (IBGE) n'offre que peu d'éléments en ce domaine et les rapports du FMI sont plus appropriés.

Autres pays d'Amérique latine

Des données sur la fiscalité de la plupart des pays d'Amérique latine (Venezuela, Colombie, Pérou, Chili, Argentine, Paraguay, Costa Rica et Mexique) ont été obtenues. Une difficulté propre à une présentation des données, relativement commune, a été rencontrée : le volume des taxes sur le revenu et sur les profits est agrégé sans distinction. C'est un obstacle de taille, sur lequel on butte autant dans les sources issues du FMI que dans celles des instituts statistiques nationaux. *A contrario*, les taxes à la consommation sont curieusement plus différenciées qu'ailleurs, et permettent

de distinguer les taxes sur l'énergie ou les produits pétroliers qui nous intéressent plus particulièrement. Les volumes de contributions sociales et les taxes sur le commerce international sont accessibles. Sont disponibles les données de la décennie 90 jusqu'à 2002, en monnaie nationale et en pourcentage du PIB.

Moyen-Orient (dont pays pétroliers)

On dispose pour certains pays du Moyen-Orient de données fiscales assez complètes. C'est le cas : de l'Iran avec une bonne précision sur les taxes à la consommation, dont celle sur les produits pétroliers (1995/2002) ; de la République du Yémen (1994/2002) ; et du sultanat d'Oman (1996/2002). Les prélèvements de contributions sociales sont en revanche moins référencés, que cela soit à partir de sources internationales ou nationales. D'autres États de la région posent problème pour l'acquisition des données fiscales même les plus grossières : c'est le cas de l'Arabie Séoudite, de la Syrie, de la Jordanie ou des Émirats Arabes Unis. On observe un réel déficit d'informations concernant ces pays.

Pour Israël, nous avons pu rassembler les données avec une bonne précision pour les années 1990/2002, en monnaie nationale et en pourcentage du PIB.

Afrique

Dans le cas des pays du Maghreb, le recueil des données fiscales est réalisé pour les principales catégories souhaitées pour les années 1990, avec TVA sur les produits pétroliers et volume des contributions sociales (*national solidarity participation* au Maroc, selon la nomenclature FMI), mais sans précision sur les parts respectives employeurs/employés.

Pour le reste de l'Afrique, certaines informations ont été obtenues pour les pays suivants : Côte d'Ivoire, Gabon, Cameroun, Nigeria, République Centrafricaine, Kenya, Zambie, Tanzanie et Afrique du Sud. Il s'agit de données concernant les années 1990/2000, le plus souvent très agrégées puisque différenciées uniquement selon trois postes, taxes sur les revenus et les profits, taxes sur les biens et services et taxes sur le commerce international. Les volumes monétaires de contributions de sécurité sociale ne sont en général pas identifiés (de rares exceptions existent, telle la Côte d'Ivoire).

Annexe 3

Programme de construction de TES corrigés sur base GTAP

Cette annexe décrit le programme d'agrégation et de construction de TES mis au point dans le cadre du programme de recherche.

Pour rappel, la comptabilité nationale—et les TES qui la synthétisent—repose sur un équilibre entre emplois et ressources. Cet équilibre doit être observé pour l'ensemble des biens²³ distingués, par mise en balance :

- côté emplois, des consommations intermédiaires (57 productions, y compris celle du bien en question), des consommations finales (1 ménage, 1 administration publique et 1 secteur de l'investissement) et des exportations (2 postes : exportations nominales et participation aux activités de transport international) ;
- côté ressources, des consommations de facteurs (5 facteurs), des prélèvements (10 taxations différentes, cf. *infra*) et des importations (2 postes : importations nominales et coûts de transport international afférent).

Les séries de GTAP qui permettent de reconstituer cet équilibre sont les suivantes.

Consommations intermédiaires : valorisations aux prix du marché (qui n'intègrent pas l'ensemble des taxes), soit :

- *Intermediates - Firms' Imports at Market Prices* (bd12—ne pas tenir compte de la CGDS²⁴) ;
- *Intermediates - Firms' Domestic Purchases at Market Prices* (bd13—ne pas tenir compte de la CGDS) ;

²³ En matière de modélisation une logique de désagrégation par bien, cohérente avec la représentation d'arbitrages des consommateurs comme des producteurs, fait beaucoup plus sens qu'une logique de désagrégation par secteurs. Incidemment, ceci suppose une mesure de prudence dans l'interprétation des résultats des modèles par branche industrielle, d'autant plus nécessaire que le niveau de désagrégation est grand.

²⁴ Qui renvoie aux consommations des différents biens immobilisées en FBCF.

Consommations finales (des ménages, des administrations publiques, pour la FBCF) : valorisations au prix des agents (toutes taxes incluses), soit :

- *Intermediates - Household Imports at Agents' Prices* (bd25) ;
- *Intermediates - Household Domestic Purchases at Agents' Prices* (bd26) ;
- *Intermediates - Government Imports at Agents' Prices* (bd27) ;
- *Intermediates - Government Domestic Purchases at Agents' Prices* (bd28) ;
- *Intermediates - Firms' Imports at Agents' Prices* (bd14—pour la FBCF, *CGDS* en anglais) ;
- *Intermediates - Firms' Domestic Purchases at Agents' Prices* (bd15—pour la FBCF, *CGDS* en anglais)

Exportations : somme des exportations au prix mondial et des exportations pour participation aux activités de transport international, soit des séries *Decomposition of exports at world prices*²⁵ (bv7) et *Trade - Exports for International Transportation, Market Prices* (bd22).

Consommations de facteurs : valorisation au prix de marché, *Endowments - Firms' Purchases at Market Prices* (bd17) ; cette valorisation intègre la dépréciation du capital (consommation de capital fixe) mais GTAP n'indique pas comment désagréger cette donnée entre productions (cf. *supra*).

Importations : importations au prix mondial ou CIF, valorisation hors taxe de *Decomposition of imports at market prices* (bv8).

Prélèvements : on dispose des

- taxation de la production : *outtax* de la série *Value of output at market prices* (bv13) ;
- taxation des consommations de facteurs : *comtax* de *Cost structure of firms* (bv15—en détaillant une consommations de facteur) ;

²⁵ Dans le bandeau de sélection des zones, la zone dont on veut les exportations est celle de gauche, dans la zone de droite il faut donc rentrer Sum REG pour avoir le total des exportations de la zone sélectionnée dans la zone de gauche. Soulignons que les exportations d'une zone vers elle-même ne sont pas nécessairement nulles, simplement parce que GTAP ne corrige pas ses agrégations poste-à-poste des échanges bilatéraux entre zones agrégées (cf. *infra*).

- taxation des consommations intermédiaires : *comtax* de *Cost structure of firms* (bv15—en détaillant une consommation intermédiaire). Le détail des taxations par origine (consommation de bien domestique ou importé) est disponible. Attention ! Les prélèvements sur la CGDS sont à porter en taxation de chacun des biens concernés (la colonne de *comtax* sur la CGDS est à transformer en une ligne de taxation de chacun des biens dans leur consommation pour la FBCF) ;
- taxation des consommations des ménages : *comtax* de *Cost structure of consumption* (bv16). Comme pour les consommations intermédiaires, le détail des taxations par origine (consommation de bien domestique ou importé) est disponible ;
- taxation des consommations des administrations publiques : *comtax* de *Cost structure of government* (bv17). À nouveau, le détail des taxations par origine (consommation de bien domestique ou importé) est disponible ;
- taxation des importations : *mtax* de *Disposition of imported goods* (bv12) ;
- taxation des exportations : *xtax* de *Decomposition of exports at world prices* (bv7) ;

Les séries *GDP from the expenditure side* (bv1) et/ou *GDP from the sources side* (bv2) permettent de contrôler que les tableaux ainsi reconstitués présentent les bons PIB.

Le programme de construction de TES corrigés consiste précisément à automatiser la mise en perspective de ces nombreuses séries. Il est exposé ci-dessous en deux parties : la première livre le détail du corps de données extrait de la base et utilisé dans le programme ; la seconde développe le fonctionnement du programme lui-même.

I. Corps de données

Les agrégations « *one to one* » de GTAP (pour les régions, les biens et les facteurs primaires) permettent d'obtenir le corps de données servant à la construction de TES.

Ces données sont stockées sous forme matricielle dans 16 fichiers *.sce* dont la description suit.

Conso_Interm_Imp contient les matrices 57*58 des consommations intermédiaires de produits importés extraites de la série bd12, *Intermediates - Firms' Imports at Market Prices*. GTAP donne 66 matrices de taille 57*58 (57 étant le nombre de secteurs et la 58^{ième} colonne correspond à la FBCF au prix de marché), qui sont stockées dans la liste

Scilab C. Les 66 matrices des consommations intermédiaires à proprement parler (hors FBCF, donc de taille $57*57$) sont stockées dans une seconde liste, CI_imp. Dans cette liste de 66 éléments, chaque élément k (une matrice $57*57$) représente les consommations intermédiaires de produits importés pour la région k .

Conso_Interm_Dom contient les matrices des consommations intermédiaires de produits domestiques extraites de la série bd13 *Intermediates -Firms' Domestic Purchases at Market Prices*. De manière similaire au cas précédent, les données sont stockées dans la liste Scilab CC, puis hors FBCF dans la liste CI_dom, obtenant ainsi les 66 matrices des consommations intermédiaires de produits domestiques.

Conso_Menages contient les deux matrices $57*66$ des consommations des ménages de produits domestiques, C_25, et importés, C_26. Ces matrices sont respectivement extraites des séries bd25 *Intermediates - Household Imports at Agents' Prices* et bd26 *Intermediates - Household Domestic Purchases at Agent' Prices* ;

Conso_AP contient les deux matrices $57*66$ des consommations des administrations publiques de produits domestiques, C_28, et importés, C_27. Ces matrices sont respectivement extraites des séries bd27 *Intermediates - Government Imports at Agents' Prices* et bd28 *Intermediates - Government Domestic Purchases at Agent' Prices*.

Conso_FBCF contient les deux matrices $57*66$ des Formations Brutes de Capital Fixe (FBCF) de produits importés, C_14, et de produits domestiques, C_15, respectivement extraites des séries bd14 *Intermediates - Firms' Imports at Agents' Prices* et bd15 *Intermediates - Firms' Domestic Purchases at Agents' Prices*.

Export_Import contient les matrices des exportations et des importations :

- XX, de taille $57*66$, rassemble les exportations au prix mondial, extraite de la série bv7 *Decomposition of exports at world prices* ;
- x_Trans, de taille $3\text{biens}*66\text{régions}$, rassemble les exportations pour participation aux activités de transport international de la série bd22 *Trade - Exports for International Transportation, Market Prices*. Les trois biens concernés sont les trois types de transport distingués par GTAP. Afin d'obtenir une matrice XX_Trans de taille $57*66$ x_Trans est concaténée avec deux matrices de zéros, x1_Trans et x2_Trans.
- MM_fob, de taille $57*66$, rassemble les importations au prix mondial nettes des coûts de transport (« *free on board* »). Elle est extraite de la série bv9 *Decomposition of CIF values*, donnée fob.

- MM_Trans, de taille 57*66, rassemble les coûts de transport afférents à ces importations. Elle est aussi extraite de bv9, mais de la donnée *trans*.

En sommant ces deux dernières matrices, on retrouve la série *impcost* de la matrice bv8 *Decomposition of imports at market prices* ; cette série aurait pu servir directement à la construction de TES par simple agrégation, mais le détail des coûts de transport, $impcost = trans + fob$, est nécessaire à la correction des auto-importations et auto-exportations.

Exports contient une liste Scilab Export de 57 éléments, dont chacun est une matrice 66*66 extraite de la série bv7 *Decomposition of exports at world prices*. Chaque matrice détaille les exportations taxes comprises de l'un des 57 biens, depuis n'importe laquelle des 66 régions (en colonne, la région exportatrice) vers toute autre (en ligne, la destination de l'exportation). Ces matrices sont stockées dans le but de corriger l'agrégation des balances commerciales telle que réalisée par GTAP (en l'occurrence dans la matrice XX et son agrégation), soit de soustraire de la balance d'une zone C, constituée de deux pays A et B, les mouvements internes à chacun des pays A et B, ainsi que ceux entre les deux pays.

Imports_Fob contient une liste Scilab Import_fob de 57 éléments, dont chacun est une matrice 66*66 extraite de la série bv9 *Decomposition of CIF values*. Chaque matrice détaille les importations franco à bord de l'un des 57 biens, par n'importe laquelle des 66 régions (en colonne, la région importatrice) et de toute provenance (en ligne, la provenance de l'importation). Comme les précédentes, ces matrices sont stockées dans le but de corriger l'agrégation des balances commerciales.

Imports_Transp contient les 57 matrices destinées à la correction des coûts de transport des importations. De façon analogue au fichier précédent, ces matrices sont stockées dans la liste Scilab Import_Tran et extraites de la série bv9, en prenant cette fois comme détail du montant la donnée *trans* au lieu de la donnée *fob*.

Conso_Fact contient 66 matrices 5*58 (facteurs*production, la 58ième production correspondant à la FBCF) de consommations de facteurs par région et production, extraites de la série bd17 *Endowments - Firm's Purchases at Market Prices*. Les données sont stockées dans la liste Scilab F, puis hors FBCF dans la liste Cfact dont chaque élément *k* (chaque matrice) représente les consommations de facteurs de la région *k* dans chacune de ses 57 productions.

Taxes1 contient les matrices des taxes sur la production, sur la consommation des ménages et sur la consommation des administrations publiques. T_13, la matrice

57*66 des taxes sur la production, est extraite de la série bv13 *Value of output at Market Prices*, donnée *outtax*. Les taxes à la consommation sont extraites des séries bv16 *Cost structure of consumption* et bv17 *Cost structure of government*, donnée *comtax* ; la distinction est faite entre les taxes frappant les consommations de produits domestiques (matrices 57*66 T_16_Dom et T_17_Dom) et celles levées sur les consommations de produits importés (matrices 57*66 T_16_Imp et T_17_Imp).

Taxes2_Dom contient les matrices des taxes sur les consommations intermédiaires et sur la FBCF de produits domestiques, ainsi que les taxes sur les consommations de facteurs. Ces données sont extraites de la série bv15 *Cost structure of firms*. GTAP fournit 66 matrices de taille 62*58 qui sont stockées dans la liste Scilab TT. De cette liste sont extraites :

- les 66 matrices 5*57 des taxes sur les consommations de facteurs, liste T_ConsFact ;
- les 66 matrices 57*57 des taxes sur les consommations intermédiaires de produits domestiques, liste T_CI_dom ;
- les 66 matrices 1*57 des taxes sur la FBCF de produits domestiques, liste T_FBCF_dom.

Taxes2_Imp contient les matrices des taxes sur les consommations intermédiaires et sur la FBCF de produits importés, extraites de la même série bv15 *Cost structure of firms*. Les 66 matrices 62*58 données par GTAP sont stockées dans la liste Scilab T, dont on extrait, de façon analogue au fichier précédent, les listes Scilab T_CI_imp et T_FBCF_imp.

Taxes3 contient les deux matrices, de taille 57*66, des taxes sur les exportations et les importations. La première, T_xtax, est extraite de la série bv7 *Decomposition of exports at world prices*, donnée *xtax*. La seconde, T_mtax, est extraite de la série bv8 *Decomposition of imports at market prices*, donnée *mtax*.

xtax Contient 57 matrices de taille 66*66, stockées dans la liste Scilab xtax, et reprend les données de T_xtax ci-dessus, mais en détaillant les échanges bilatéraux (une matrice par bien permet de déterminer quelle taxation est appliquée à l'exportation de ce bien de toute zone exportatrice, en ligne, vers toute autre destinatrice, en colonne).

mtax, à l'instar de xtax, complète les données de T_mtax en explicitant les échanges bilatéraux. Chacune des 57 matrices de mtax donne ainsi la taxation appliquée à l'importation d'un bien par toute zone importatrice, en colonne, depuis toute zone de provenance, en ligne.

Comme les fichiers Exports, Imports_Fob et Imports_Transp, les fichiers xtax et mtax sont utilisés pour le traitement des auto-exportations et auto-importations lors de l'agrégation.

II. Déroulement du programme

Le produit de l'agrégation (quelle qu'elle soit) généré par l'exécutable de GTAP, *gtapagg.exe*, est automatiquement enregistré sous format *.zip*, et produit entre autres un fichier texte de format *.agg*. Scilab extrait de ce fichier :

- p, n, k les nombres de productions, de régions et de facteurs retenus ;
- b et B les vecteurs texte des noms des productions désagrégées et des productions agrégées ;
- r et R les vecteurs texte des noms des régions désagrégées et des régions agrégées ;
- f et $Fact$ les vecteurs texte respectivement des facteurs désagrégés et des facteurs agrégés.

II.1. Calcul des matrices agrégées

À partir de ces variables, deux matrices Masc1 et Masc2 sont définies, qui traduisent l'appartenance d'une région (resp. d'une production) désagrégée à une nouvelle région (resp. une nouvelle production) agrégée. Ces matrices constituées de 0 et de 1 permettent, par simple produit avec les différentes matrices des fichiers de données, d'obtenir un nouvel ensemble de données agrégées selon les souhaits de l'utilisateur. Ainsi, toutes les données de tailles 66 (respectivement 57) deviennent de taille n (respectivement p) et l'on obtient deux groupes de matrices agrégées.

Un premier groupe est constitué de matrices rangées dans une liste de n éléments (un élément par région agrégée) :

- CI_imp_Agg, CI_dom_Agg, T_CI_imp_Agg et T_CI_dom_Agg, de taille $p*p$, contiennent les consommations intermédiaires de produits importés et domestiques ainsi que les taxes sur ces consommations.
- CFact_Agg et T_ConsFact_Agg, de taille $k*p$, contiennent les consommations de facteurs et les taxes sur ces consommations.

- T_FBCF_dom_Agg et T_FBCF_imp_Agg, de taille $1 \times P$, contiennent les taxes sur la FBCF de produits domestiques et importés.

Un second groupe est constitué de matrices de taille $p \times n$ (une matrice unique pour l'ensemble des régions agrégées) :

- M_fob_Agg, M_Trans_Agg, X_Agg et X_Trans_Agg contiennent les importations FAB, le coût de leur transport, les exportations FAB et les exportations de service transport (pour participation aux activités de transport international) ;
- C_25_Agg et C_26_Agg contiennent respectivement les consommations des ménages de produits importés et les consommations des ménages de produits domestiques ;
- C_27_Agg et C_28_Agg contiennent respectivement les consommations des administrations publiques de produits importés et les consommations des administrations publiques de produits domestiques ;
- C_14_Agg et C_15_Agg contiennent respectivement la FBCF de produits importés et de produits domestiques ;
- T_13 contient les taxes à la production ;
- T_16_DomAgg et T_16_ImpAgg contiennent les taxes sur la consommation des ménages de produits domestiques et importés ;
- T_17DomAgg et T_17ImpAgg contiennent les taxes sur la consommation des administrations publiques de produits domestiques et importés ;
- T_mtaxAgg et T_xtaxAgg contiennent les taxes sur les importations et sur les exportations.

II.2. Séparation des régions

Une fois l'agrégation des régions et des biens réalisée sur les matrices des fichiers de données, on sépare les colonnes des matrices du second groupe ci-dessus, de manière, pour chaque donnée (consommations, taxes, *etc.*), à obtenir un vecteur par région agrégée.

Dans toute la suite, on adoptera comme convention de notation des matrices :

- C : consommation,

- CI : consommations intermédiaires,
- T : taxes,
- Hsld : ménages,
- G ou AP : administrations publiques,
- X ou x : exportations,
- M ou m : importations,
- Imp, Dom : produits importés, produits domestiques,
- Trans ou Tran : transports,
- corr : corrigé,
- i : indice de région agrégée, $1 < i < n$.

Sur la base de cette convention, les vecteurs de données agrégées sont stockés dans les listes Scilab suivantes :

- C_Hsld_imp(i), C_Hsld_dom(i)
- C_G_imp(i), C_G_dom(i)
- C_FBCF_imp(i), C_FBCF_dom(i)
- x(i), X_Trans(i)
- m_fob(i), M_Trans(i)
- Tmtax(i), Txtax(i)
- Tprod(i)
- THsld_Dom(i), THsld_Imp(i)
- TG_Dom(i), TG_Imp(i)

On voit bien que la simple concaténation de ces listes permet la construction d'un TES. Cependant, la question de la correction des échanges bilatéraux « internes » reste à régler.

II.3. Correction des échanges bilatéraux internes lors de l'agrégation

La correction des échanges bilatéraux internes après agrégation s'opère en soustrayant les parts « auto » des importations, des exportations, des taxes et des coûts de transport afférents du total obtenu par sommation poste à poste, puis en basculant cette part vers d'autres postes du TES sous-jacent. Cette opération doit bien évidemment respecter à la fois l'équilibre comptable de chacune des productions, mais aussi celui des emplois et ressources en matière d'importations (la somme des consommations de produits importés doit correspondre à la masse des importations, aux taxations près).

II.3.1. Calcul de la part « auto »

Dans un premier temps, on opère l'agrégation souhaitée sur les productions uniquement (de 57 à p productions), pour les listes Export, Import_fob, Import_Trans, mtax et xtax. On obtient ainsi p matrices 66×66 détaillant les flux bilatéraux et les taxes et coûts de transport afférents.

Puis, pour chaque région agrégée i on construit les p -vecteurs « auto » :

- Auto_X(i),
- Auto_M_fob(i),
- Auto_M_Trans(i),
- Auto_xtax(i),
- Auto_mtax(i),

qui contiennent respectivement les exportations, importations FAB, coûts de transport de ces importations, taxes sur les exportations et taxes sur les importations de toutes les zones constituant cette région i vers elles-mêmes. Pour prendre un exemple, soit A et B deux zones agrégées en une région C : Auto_X(C) correspond à la somme des exportations de A vers A, des exportations de A vers B, des exportations de B vers B et des exportations de B vers A.

On dispose ainsi à première vue, pour chaque région agrégée, du détail des montants à basculer du commerce extérieur vers l'échange domestique.

Se pose cependant la question de l'affectation des coûts de transport des échanges que l'on rend domestiques : si GTAP indique d'une part dans quelle mesure chacune des zones participe au transport international de marchandise, et d'autre part quel coût de

transport est supporté par chaque échange international, en revanche la nationalité du transporteur de tel échange précis est inconnu. Autrement dit, quelle part des frais de transport des « auto-importations » $Auto_M_Trans(i)$ d'une région agrégée i est réellement assurée par cette même région ? On résout cette incertitude en calculant cette part au *prorata* de la participation de la région i aux activités de transport international. Le résultat de cette règle de trois est stocké dans le vecteur $Part_AutoM_Trans(i)$.

II.3.2. Re-calculation des exportations et importations FAB

Pour chaque région agrégée i , on retire la part « auto » des exportations et des importations pour obtenir deux nouveaux p -vecteurs :

- $x_corr(i) = x(i) - Auto_X(i)$.
- $m_fob_corr(i) = m_fob(i) - Auto_M_fob(i)$.

La valeur de la part « auto » retirée du côté des emplois est bien la même que celle retirée du côté des ressources ($Auto_X(i) = Auto_M_fob(i)$ par définition des séries sources), ce qui garantit le maintien de l'équilibre comptable de l'ensemble des secteurs. Cependant, les emplois de produits importés ne sont pas cohérents avec le nouveau montant d'importations, et doivent être corrigés en basculant, pour chacun des emplois où c'est applicable, une part des consommations de produits importés vers les consommations de produits domestiques. Pour procéder à ce basculement, hors données supplémentaires, on définit le p -vecteur de ratios suivant :

$$p_bascul(i) = \frac{Auto_M_fob(i) + Part_AutoM_Trans(i) + Auto_mtax(i)}{m_fob(i) + M_Trans(i) + Tmtax(i)}$$

Le basculement de ce pourcentage des consommations de produits importés vers les consommations de produits domestiques, rétablissant l'équilibre emplois ressources en termes de produits importés et domestiques, permet de définir des matrices rectifiées :

- $C_Hsld_imp_corr(i), C_Hsld_dom_corr(i)$
- $C_G_imp_corr(i), C_G_dom_corr(i)$
- $C_FBCF_imp_corr(i), C_FBCF_dom_corr(i)$
- $CI_imp_Agg_corr(i), CI_dom_Agg_corr(i)$

II.3.3. Re-calculation des taxes sur les échanges

De la même façon que dans le cas des exportations et importations FAB, on construit :

- $T_{\text{mtax_corr}}(i) = T_{\text{mtax}}(i) - \text{Auto_mtax}(i)$,
- $T_{\text{xtax_corr}}(i) = T_{\text{xtax}}(i) - \text{Auto_xtax}(i)$.

De toute évidence, ce calcul conduit à déséquilibrer le TES sous-jacent aux matrices corrigées : les montants soustraits aux taxations d'échanges internationaux doivent être réaffectés à d'autres ressources pour garantir l'équilibre. En théorie ces ré-affectations devraient s'opérer vers les postes de taxation des différentes consommations ayant bénéficié des basculements de provenance (basculement des consommations importées vers les consommations domestiques). Cependant on se heurte à une difficulté insurmontable concernant les consommations intermédiaires : la part de la taxation des importations du bien j supprimée pour correction devrait, pour suivre les basculements entre consommations intermédiaires importées et domestiques pour le bien j , être répercutée sur les consommations intermédiaires de bien j ; or la taxation des consommations intermédiaires de bien j est une ressource (au sens comptable) non seulement de la production de bien j mais aussi de toutes celles où j entre ; on substituerait donc à une ressource spécifique à la production de bien j un ensemble de ressources étalées sur les p productions, d'où un déséquilibre.

Pour circonvenir cette difficulté, on crée un nouveau compte, $\text{Auto_TMX}(i)$, qui correspond au montant prélevé sur les biens ayant franchi entre leur production et leur consommation une frontière interne à la région i :

$$\text{Auto_TMX}(i) = \text{Auto_mtax}(i) + \text{Auto_xtax}(i).$$

Le choix est alors laissé à l'utilisateur des TES corrigés du traitement ultime de ce prélèvement.

II.3.4. Traitement du coût de transport des importations

La correction des coûts de transport liés aux importations de la zone agrégée i s'obtient simplement en construisant le p -vecteur :

$$M_{\text{Trans_corr}}(i) = M_{\text{trans}}(i) - \text{Part_AutoM_Trans}(i)$$

Cette opération, à l'instar de la précédente, déséquilibre les TES sous-jacents aux données corrigées. Pour les ré-équilibrer, on reporte les coûts de transport (soustraits au *pro rata* des participations au transport international) dans les consommations intermédiaires de transport (biens 48, 49 et 50 selon la numérotation de GTAP). Dans l'hypothèse où les trois biens sont désagrégés, pour déterminer laquelle de leurs trois consommations doit bénéficier du report on utilise le *pro rata* de chacun des trois biens dans le total des activités de transport international de la zone considérée, et on corrige

$X_Trans(i)$ en conséquence. Cette mécanique complexe mérite une illustration : un pays i se trouve assurer lui-même un montant m des coûts de transport d'un bien j liés à de « fausses » importations de ce bien. On retranche donc ce montant m de $M_trans(i)$; on le reporte dans les trois consommations intermédiaires de transport de la production de bien j , au *prorata* de leur part dans $X_Trans_Agg(i)$ (le total du transport international assuré par i) ; on corrige les emplois des trois transports dans $X_Trans(i)$ de ces mêmes montants, pour définir une matrice $X_Trans_corr(i)$.

II.3.5. Construction d'un TES à partir des matrices sorties

Le TES de chaque région agrégée i est construit à partir des matrices et des vecteurs obtenus par l'ensemble des manipulations décrites ci-dessus, après une dernière série de concaténation qui vise à regrouper certaines données, ainsi qu'à ajouter des sommes intermédiaires permettant une meilleure visualisation du TES.

Côté emploi, on obtient *in fine* :

- les consommations intermédiaires de chacun des biens, par provenance (domestiques ou importées) : $CI_Tot_emplois(i)$, concaténation horizontale des matrices $CI_imp_Tot(i)$ et $CI_dom_Tot(i)$;
- les consommations finales, comprenant celles des ménages, celles des administrations publiques et celles pour la FBCF : $C_Hsld_Tot(i)$, $C_G_Tot(i)$, $C_FBCF_Tot(i)$;
- les exportations corrigées : $X_Tot(i)$ (concaténation de $x_corr(i)$ et de $X_Trans_corr(i)$, ainsi que totaux correspondants).

Côté ressources :

- à nouveau, les consommations intermédiaires de chacun des biens, par provenance (domestiques ou importées) mais en concaténation verticale : $CI_Tot_ress(i)$, concaténation verticale des matrices $CI_imp_Tot(i)$ et $CI_dom_Tot(i)$;
- les consommations de facteurs : $C_Fact_Tot(i)$;
- le détail des prélèvements : $T_Prod(i)$, les taxes à la production ; $T_C_Fact(i)$ les taxations des facteurs ; $TCI_dom(i)$ et $TCI_imp(i)$ les taxations des consommations intermédiaires selon leur provenance (concaténées en $TCI(i)$, avec calcul du total sur les deux provenances) ; $T_Hsld(i)$, $T_AP(i)$ et $T_FBCF(i)$ les taxes sur les consommations des ménages, des administrations publiques et pour la FBCF ; $T_M(i)$ et $T_X(i)$ les taxes sur les importations et

les exportations ; $T_Auto_MX(i)$ les prélèvements sur les échanges franchissant une frontière au sein de l'agrégat i ; l'ensemble de ces prélèvements sont concaténés verticalement dans la matrice $Taxes(i)$, en y ajoutant un vecteur $Tot_Taxes(i)$ de sommation des taxes par bien ;

- les importations : $M(i)$, concaténation de $m_fob_corr(i)$, de $M_Trans_corr(i)$ et de leur somme.

Les tableaux de synthèse $Emplois(i)$ et $Ressources(i)$ concatènent l'ensemble des matrices précédentes selon qu'elles contiennent des données relatives à l'un ou l'autre axe, et y ajoutent les vecteurs $Total_Emplois(i)$ et $Total_Ressources(i)$ de la somme des emplois et des ressources pour chaque secteur agrégé. Ces deux derniers vecteurs permettent de calculer le vecteur $Erreur(i)$:

$$Erreur(i) = Total_Ressources(i) + Total_Emplois(i).$$

Si la valeur absolue de cette erreur est inférieure à 1 pour l'ensemble des secteurs de l'ensemble des régions, le programme déclare tous les TES « équilibrés ». Si ce n'est pas le cas, il indique les régions i où un déséquilibre est observé. Une telle éventualité est effectivement à considérer, dans la mesure où GTAP ne fournit ses données (celles qui sont reproduites dans le corps de données de notre programme) qu'avec 6 chiffres après la virgule, alors qu'il effectue ses calculs en en considérant 8. Dans la version actuelle du modèle il revient à l'utilisateur de compenser « au jugé » d'éventuels légers déséquilibres.

Table des matières

RESUME	5
SUMMARY	7
INTRODUCTION GENERALE	9
COUPLAGE DE MODELES : REVELATION DES INTERACTIONS	11
Introduction	11
I. Interactions climat/économie Une analyse par l'outil TEF/ZOOM	11
I.1. TEF/ZOOM	12
I.2. Modèle climatique simplifié : approche en termes de boucle de rétroaction	13
I.2.1. Boucle de rétroaction	13
I.2.2. Caractérisation dynamique d'une rétroaction	14
I.3. Application à la rétroaction vapeur d'eau	15
I.3.1. Modèle	15
I.3.2. Résultat central	16
I.3.3. Influence sur la variabilité naturelle	18
I.4. Interface économie-climat : caractérisation de la rétroaction	18
II. Cadrage et conséquences de l'interaction démographie/économie	
Une mise en question des scénarios GIEC	20
II.1. Démographie et économie : cadrage des influences de long terme	21
II.1.1. Un exemple de scénarisation intégrée : le modèle INGENUE du CEPII	21
II.1.2. Prolongements souhaitables	22
II.2. Analyse critique des SRES GIEC par réalisation de scénarios propres	24
II.2.1. Présentation des quatre familles de scénarios SRES	24
II.2.2. Spécifications de quatre scénarios propres	25
II.2.3. Comparaison des scénarios : fourchettes d'incertitude des émissions de CO ₂	25
Conclusion	27
BASES DE DONNEES : OUTILS DE CONSTRUCTION, D'EXPLOITATION ET D'HARMONISATION	29
Introduction	29

I. Équilibres « présents » : éléments d'expertise et de développement de la base GTAP 5.0	30
I.1. Expertise du corps de données	30
I.1.1. Décomposition de la valeur ajoutée	31
I.1.2. Évaluation de l'accumulation et de l'érosion du capital productif	32
I.1.3. Données fiscales	33
I.1.4. Désagréations par biens	33
I.2. Moteur d'agrégation de la base : critique et développement	34
I.2.1. Limites du moteur d'agrégation d'origine	34
I.2.2. Création d'un moteur d'agrégation rectifié	35
I.2.3. Illustration de l'apport : matrice des consommations intermédiaires UE	37
II. Équilibres passés Création de séries temporelles de MCS	38
II.1. Motivation : faiblesses du calibrage des MEGC	38
II.2. Méthode de reconstruction de TES	40
II.2.1. Reconstruction par statique comparative : développement du module PROJTES	40
II.2.2. Méthode du maximum d'entropie	42
II.3. Données sources (1)	42
II.3.1. Données économiques, démographiques et financières	43
II.3.2. Indicateurs de développement sectoriel	43
II.3.3. Prix et structures de coût	44
II.4. Données sources (2) : bases de la scénarisation économie/démographie/énergie	44
II.4.1. Traitement des données manquantes	45
II.4.2. Méthodes d'agrégation	45
II.4.3. Manque de fiabilité des données	45
Conclusion	47
CONCLUSION GENERALE	49
VALORISATION	51
Publications	51
Thèses	51
Contributions à des programmes de recherche internationaux	51
Organisation d'un colloque	51
Publication électronique	52
Bibliographie	53
ANNEXE 1	
GTAP : DESCRIPTIF TECHNIQUE	57
I. Séries de <i>basedata.har</i>	57

II. Séries de <i>baseview.har</i>	67
ANNEXE 2	
CONSTITUTION D'UNE BASE DE DONNEES FISCALES	75
Union européenne (à 15)	76
Europe de l'est (dont nouveaux entrants européens)	76
États-Unis	76
Canada, Australie, Nouvelle-Zélande	77
Fédération de Russie	77
Pays de l'ex-URSS	77
Chine	78
Japon	78
Inde	78
Autres pays d'Asie	79
Brésil	79
Autres pays d'Amérique latine	79
Moyen-Orient (dont pays pétroliers)	80
Afrique	80
ANNEXE 3	
PROGRAMME DE CONSTRUCTION	
DE TES CORRIGES SUR BASE GTAP	81
I. Corps de données	83
II. Déroulement du programme	87
II.1. Calcul des matrices agrégées	87
II.2. Séparation des régions	88
II.3. Correction des échanges bilatéraux internes lors de l'agrégation	90
II.3.1. Calcul de la part « auto »	90
II.3.2. Re-calcul des exportations et importations FAB	91
II.3.3. Re-calcul des taxes sur les échanges	91
II.3.4. Traitement du coût de transport des importations	92
II.3.5. Construction d'un TES à partir des matrices sorties	93
TABLE DES MATIERES	95