

**LES COÛTS DES ACCORDS INTERNATIONAUX SUR LA RÉDUCTION  
DES ÉMISSIONS DE CO<sub>2</sub> : RESULTATS DES SIMULATIONS  
AVEC LE MODELE GREEN**

**John P. Martin, Jean-Marc Burniaux, Giuseppe Nicoletti  
et Joaquim Oliveira-Martins**

TABLE DES MATIÈRES

Introduction.....	104
I. Scénario de référence des émissions de CO <sub>2</sub>	105
A. Composition de la demande d'énergie .....	106
B. Emissions de CO <sub>2</sub> .....	108
II. Un accord international pour stabiliser les émissions de CO <sub>2</sub> dans la zone de l'OCDE .....	111
III. Accords internationaux englobant les régions hors OCDE .....	115
A. Accord du type de celui de Toronto avec des taxes sur le carbone spécifiques à chaque région .....	115
B. Accords avec un rapport coût-efficacité satisfaisant .....	123
IV. Autres déterminants du choix entre taxes et permis .....	127
V. Conclusions .....	128
Bibliographie.....	132

---

Les auteurs remercient Paul Atkinson, Jonathan Coppel, Andrew Dean, Jørgen Elmeskov, Michael P. Feiner, Robert Ford, Peter Hoeller, Constantino Lluich et Jeffrey R. Shafer pour leurs commentaires sur une version précédente de cet article. Ils tiennent aussi à remercier Laurent Moussiégt, Isabelle Wanner et Christophe Complainville pour leur concours dans le domaine statistique, ainsi que Lyn Louichaoui et Brenda Livsey-Coates pour leur assistance technique.

---

## INTRODUCTION

Une préoccupation générale se manifeste du fait que des changements climatiques porteurs d'un réchauffement planétaire seraient en train de se produire et pourraient entraîner des coûts nécessitant une réaction concertée à l'échelon international de manière à être efficace. C'est en grande partie pour répondre à cette crainte qu'une convention-cadre sur les changements climatiques a été signée récemment à Rio de Janeiro. Si l'accord de Rio constitue une étape importante, des négociations internationales longues et détaillées doivent être menées sur les problèmes complexes de la mise en œuvre, de la surveillance et des moyens d'exécution. Les questions économiques, centrées sur les coûts et avantages probables des accords internationaux, seront au premier plan dans ce processus, et il importe que les négociateurs et les autres parties intéressées disposent des informations utiles.

Jusqu'à présent, on a beaucoup plus travaillé à estimer les coûts d'éventuelles mesures destinées à réduire les émissions de gaz à effet de serre, et notamment de dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>), que les avantages qu'il y aurait à éviter le changement climatique'. Cette étude, elle-même axée sur les coûts, présente les résultats de plusieurs simulations sur le modèle GREEN de l'OCDE destiné à quantifier les coûts macro-économiques globaux d'une série d'accords internationaux en vue de réduire les émissions de CO<sub>2</sub> – pour une description complète du modèle on se reportera à l'article de Burniaux *et al.* dans ce numéro. Deux aspects particuliers des accords internationaux sont mis en lumière, de manière à fournir des informations utiles au processus de négociation. Le premier a trait à la couverture géographique de l'accord international. A cet effet, on estime les coûts d'un accord entre les seuls pays de l'OCDE puis on fait une comparaison par rapport à un scénario dans lequel l'accord s'étend aux régions hors OCDE.

Ensuite, on s'efforce de chiffrer les gains potentiels qu'apporteraient, aux différents pays et à l'économie mondiale dans son ensemble, des accords internationaux qui prennent en compte le principe suivant lequel les réductions d'émissions devraient être réalisées au moindre coût, c'est-à-dire des *accords ayant un rapport coût-efficacité satisfaisant*. Une condition nécessaire à un tel accord est que les coûts marginaux de la réduction des émissions soient égalisés entre les pays. Cette condition peut être réalisée si tous les pays participant imposent une taxe commune sur les émissions ou organisent le commerce de permis d'émission sur un marché mondial.

Dans la première section de cette étude, on décrit le scénario de référence, c'est-à-dire le sentier que suivraient les émissions de CO<sub>2</sub> en l'absence de mesures destinées à freiner leur croissance. La section II envisage un accord international dans lequel les réductions d'émissions sont appliquées uniquement par les pays de l'OCDE,

tandis que les régions hors OCDE ne prennent pas de mesure. Dans la section III, on étend la portée de l'accord international de manière à couvrir les pays non membres et l'on chiffre les gains d'une version de l'accord efficace du point de vue des coûts. La section IV examine d'autres déterminants du choix d'un instrument d'action permettant de donner à l'accord un bon rapport coût-efficacité. La dernière section présente quelques conclusions sur le plan de l'action.

## I. SCÉNARIO DE RÉFÉRENCE DES ÉMISSIONS DE CO<sub>2</sub>

La première étape importante dans le calcul des coûts d'une intervention des pouvoirs publics pour réduire les émissions de CO<sub>2</sub> consiste à élaborer un scénario de référence plausible pour les émissions futures. Le sentier de référence détermine l'ampleur requise des réductions d'émissions correspondant à un objectif donné. Les hypothèses concernant les taux de croissance du PIB et de la population sur lesquelles s'appuie le scénario de référence sont tirées des lignes directrices fixées pour l'étude Energy Modelling Forum n° 12 (EMF12) réalisée à l'université de Stanford et pour le projet OCDE de comparaisons de modèles (tableau 1). L'article de Dean et Hoeller publié dans le présent numéro donne des détails sur ce dernier projet et propose une comparaison du sentier d'émissions du scénario de référence de GREEN avec les sentiers de référence d'autres modèles mondiaux<sup>2</sup>.

Le sentier de référence du modèle GREEN repose sur deux hypothèses importantes concernant les politiques. En premier lieu, les engagements de réduire les émissions de CO<sub>2</sub> annoncés par les pays de l'OCDE ne sont pas pris en compte. En second lieu, les niveaux existants des taxes et subventions sur l'énergie dans les différentes régions pour l'année de référence – 1985 dans le modèle GREEN – ne varient pas au fil du temps, bien que les pays d'Europe centrale et orientale (PECO) aient réduit considérablement leurs subventions ces dernières années et que certains des pays qui formaient l'Union Soviétique aient annoncé leur intention d'en faire autant.

La justification d'être de ces taxes et subventions a d'importantes incidences pour l'analyse, dans l'optique du bien-être, des mesures visant à réduire les émissions de CO<sub>2</sub>. Dans cette étude on présume que le système de taxes sur l'énergie, tel qu'il existait en 1985, est optimal dans toutes les régions – abstraction faite des problèmes de réchauffement planétaire, les objectifs de la fiscalité existante étant considérés comme indépendants de ce problème. Tous les autres modèles concernant les émissions de CO<sub>2</sub> font la même hypothèse ou négligent la question des taxes et subventions applicables à l'énergie. L'hypothèse d'une fiscalité énergétique optimale implique que les différences observées d'un pays à l'autre dans les prix de l'énergie reflètent les coûts sociaux marginaux de l'utilisation de l'énergie dans chaque pays – compte non tenu de l'externalité découlant du rejet de carbone dans l'atmosphère<sup>3</sup>. Cette hypothèse n'est sans doute pas trop irréaliste pour les pays de l'OCDE, si l'on considère que les taxes sur l'énergie contribuent à neutraliser les externalités négatives dues à l'utilisation et à l'encombrement du réseau routier; elle est probablement moins satisfai-

Tableau 1. **Projections du PIB et de la population pour le scénario de référence de GREEN**

Taux de croissance annuelle moyenne

	1990-2000		2000-2020		2020-2050	
	PIB réel	Population	PIB réel	Population	PIB réel	Population
États-Unis	2.6	0.7	2.2	0.4	1.6	0.0
Japon	3.7	0.3	2.7	-0.1	2.2	-0.3
CE	2.2	0.1	1.7	4.1	1.3	-0.3
Autres pays de l'OCDE	2.2	1.2	1.7	0.7	1.3	0.3
Europe centrale et orientale	2.7	0.4	2.2	0.3	1.7	0.1
Ex-Union soviétique	2.6	0.6	2.1	0.4	1.6	0.2
Pays en développement						
exportateurs d'énergie	3.6	2.3	3.5	1.8	2.7	1.1
Chine	4.6	1.3	4.4	0.8	3.4	0.3
Inde	4.6	1.8	4.5	1.2	3.4	0.7
Économies dynamiques						
d'Asie (EDA)	4.4	1.4	4.2	0.9	3.2	0.5
Brésil	4.4	1.7	4.2	1.1	3.2	0.6
Reste du Monde (RdM)	3.5	2.6	3.2	2.2	2.4	1.4
Total OCDE	2.6	0.5	2.1	0.2	1.6	-0.1
Total hors OCDE	3.6	1.8	3.4	1.4	2.7	0.9
Monde	2.9	1.6	2.6	1.3	2.1	0.8

Source : Projet d'étude pour EMF12. Étant donné que le nombre des régions dans GREEN est largement supérieur à la ventilation sur cinq régions retenue pour l'étude EMF12, les prévisions de croissance du PIB et de la population ont dû être adaptées aux besoins du modèle GREEN. On a supposé que les écarts de croissance relatifs prévus par la Banque mondiale pour la période 1986-95 subsisteront jusqu'en 2050, tout en restant compatibles avec les projections globales à long terme de EMF12.

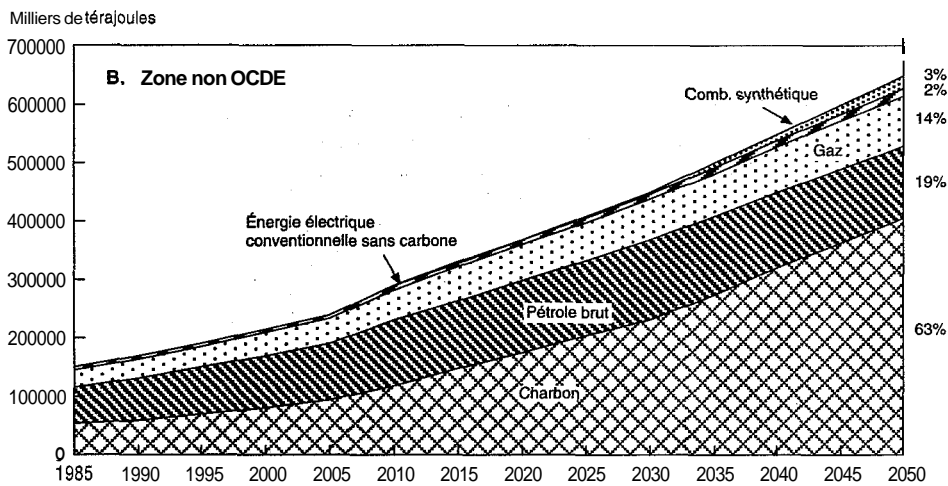
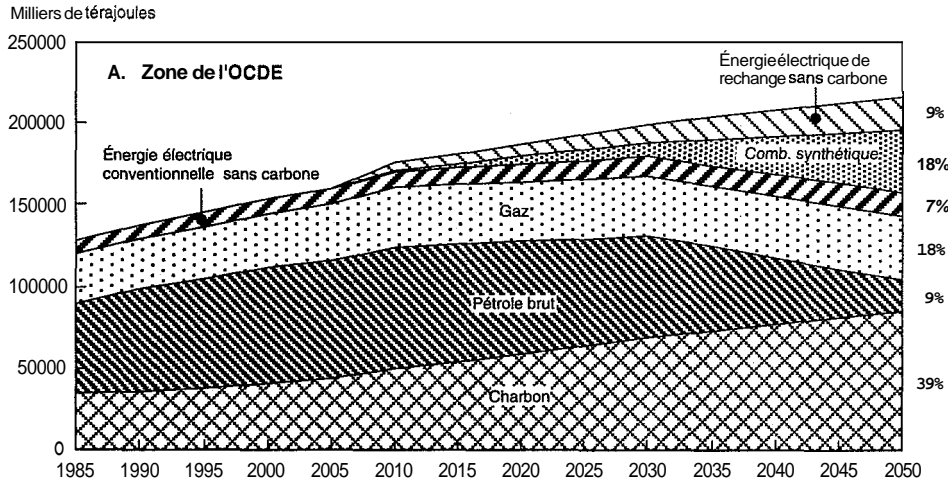
sante pour certaines régions hors **OCDE** qui subventionnent massivement l'énergie afin de promouvoir le développement industriel et/ou de réaliser des objectifs de redistribution<sup>4</sup>.

L'autre hypothèse extrême consiste à supposer que *toutes* les taxes et subventions existantes dans le secteur de l'énergie ont des effets de distorsion et induisent un écart entre les coûts marginaux privés et sociaux de l'utilisation de l'énergie. Telle est l'approche adoptée par Burniaux *et al.* dans ce même numéro. Il ressort de cette étude sur la fiscalité de l'énergie que les coûts d'efficacité de l'instauration d'une taxe sur le carbone sont plus élevés dans les pays qui taxent **déjà** la consommation de l'énergie et qu'ils sont réduits dans ceux qui **la** subventionnent.

## A. Composition de la demande d'énergie

Dans le modèle GREEN le prix mondial du pétrole est une variable endogène à partir de **1990**; son profil temporel est lié à l'épuisement des réserves pétrolières des pays en développement exportateurs d'énergie, région qui inclut les pays de l'OPEP<sup>5</sup>. La contrainte potentielle liée à l'offre de pétrole dans cette région devient effective aux

**Graphique 1. Composition de la demande totale d'énergie primaire dans le scénario de référence**



alentours de 2030, la production diminuant par la suite de plus de 2 pour cent par an jusqu'en 2050. Entre 1990 et 2030, le prix mondial du pétrole augmente régulièrement en termes réels, à un rythme annuel moyen de 1.7 pour cent. De 2030 à 2050, la hausse se ralentit (et revient à 1.1 pour cent par an), car le pétrole se trouve en concurrence avec le combustible de synthèse à base de carbone (pétrole synthétique) dont le prix joue le rôle de plafond pour le cours du pétrole.

Le graphique 1 indique les parts des demandes d'énergie primaire dans les régions OCDE et les régions hors OCDE représentées par les trois combustibles fossiles et les trois options de rechange (combustible de synthèse à base de carbone, combustible liquide exempt de carbone et source d'électricité sans carbone) qui sont présumées pouvoir les remplacer à partir de 2010. Le trait le plus frappant est la forte progression de la part du charbon : entre 1985 et 2050 elle passe de 27 à 39 pour cent dans la zone de l'OCDE et de 36 à 63 pour cent dans les régions hors OCDE. L'expansion du charbon se fait au détriment du pétrole, surtout dans la zone de l'OCDE.

Les trois sources d'énergie de rechange sont supposées être disponibles en quantités pratiquement illimitées dans toutes les régions à partir de 2010. A partir de 2030, la consommation de pétrole dans la zone de l'OCDE cède rapidement du terrain au profit du pétrole synthétique qui représente 18 pour cent de la demande d'énergie totale à l'horizon 2050. L'énergie électrique de rechange sans carbone, source de remplacement la plus coûteuse, ne progresse sensiblement qu'au Japon, où elle supplante totalement l'électricité de source classique à l'horizon 2030.

Tout à l'opposé des régions de l'OCDE, les régions hors OCDE ne font pratiquement pas appel aux sources nouvelles : en 2050, le combustible de synthèse à base de carbone ne représente que 3 pour cent de leur demande totale d'énergie. En outre, la demande totale d'énergie croît beaucoup plus rapidement dans les régions hors OCDE que dans la zone de l'OCDE : au cours de la période 1985-2050, le taux de croissance annuelle y est de 2.6 pour cent, contre 0.8 pour cent dans la zone de l'OCDE. Aussi, en 2050, la demande d'énergie totale de la zone hors OCDE est trois fois plus élevée que celle de la zone de l'OCDE.

Le fait que les technologies de rechange ne sont pas utilisées par les régions hors OCDE s'explique principalement par l'existence en 1985 de fortes subventions à l'utilisation de combustibles fossiles primaires dans de grands pays ou de grandes régions comme la Chine, l'Inde, l'ex-Union soviétique et les PECO. Il ressort du tableau 2 que les prix des combustibles fossiles, et notamment du charbon, étaient très bas (par rapport aux Etats-Unis) dans ces régions. Comme le scénario de référence suppose que ces subventions ne sont pas supprimées, les prix des combustibles fossiles dans la plupart des régions hors OCDE n'augmentent pas assez pour atteindre les seuils auxquels les énergies de rechange deviennent rentables et pénètrent sur le marché.

## B. Émissions de CO<sub>2</sub>

La croissance des émissions jusqu'en 2050 dépend de plusieurs facteurs. Tout d'abord il existe un lien direct avec la croissance prévue du PIB; compte tenu de ce seul facteur, les émissions devraient se ralentir au cours du prochain siècle, cette décélération intervenant après 2010 dans les régions hors OCDE (voir tableau 3). En second lieu, la hausse des prix réels du pétrole et du gaz favorise la substitution au profit du charbon; comme le charbon est un combustible plus « sale » que le pétrole ou le gaz – si l'on considère les rejets de CO<sub>2</sub> dans l'atmosphère par unité d'énergie produite – cette substitution tend à accélérer la croissance des émissions. Enfin, la mise en place progressive des énergies de rechange affecte aussi la croissance des émissions, suivant que la ressource est « propre » ou « sale ». Ainsi, au Japon, l'adoption de la *source d'électricité sans carbone* contribue à un fort ralentissement des

Tableau 2. **Parts des émissions de combustibles fossiles et prix de ces combustibles pour les séries de données de référence par pays/région, 1985**

(a) Part des combustibles fossiles dans les émissions totales de CO <sub>2</sub> (%)													
	États-Unis	Japon	CE	Autres pays de l'OCDE	PVD exportateurs d'énergie	Chine	Ex-Union soviétique	Inde	PECO	EDA	Brésil	RdM	Monde
Charbon	34.7	30.5	32.9	32.8	20.0	86.2	38.1	74.1	66.9	37.5	21.0	45.3	42.0
Pétrole brut	46.7	61.4	51.8	51.1	61.6	12.5	33.4	24.4	20.1	60.2	76.1	46.7	42.2
Gaz	18.6	8.1	15.3	16.1	18.4	1.4	28.6	1.6	13.0	2.3	2.9	8.0	15.8

(b) Prix relatifs des combustibles fossiles <sup>1</sup> Prix et taux de change de 1985 : prix moyen aux États-Unis = 100													
	États-Unis	Japon	CEE	Autres pays de l'OCDE	PVD exportateurs d'énergie	Chine	Ex-Union soviétique	Inde	PECO	EDA	Brésil	RdM	Monde
Charbon	35.4	126.4	63.9	27.0	30.8	20.5	24.8	25.6	26.2	68.5	110.6	25.7	35.8
Pétrole brut	152.2	178.3	166.7	136.8	99.4	155.0	24.1	95.4	100.1	135.2	123.8	142.5	119.9
<b>Gaz</b>	92.5	167.1	140.6	81.9	84.4	106.7	17.0	61.3	44.9	166.1	71.9	198.6	76.4
Moyenne	100.0	162.6	131.2	92.4	87.8	46.9	21.8	47.8	48.4	118.5	120.1	106.7	81.6

1. Définis comme la valeur unitaire d'un térajoule rapportée à la valeur unitaire moyenne des combustibles fossiles aux États-Unis. Les demandes de combustibles fossiles sont converties en une unité d'énergie commune (1 térajoule = 10<sup>12</sup> joules). Cela facilite la conversion en tonnes de carbone émis, à l'aide de coefficients de conversion largement utilisés : 1 térajoule de charbon = 23.3 tonnes de carbone, 1 térajoule de pétrole = 19.2 tonnes de carbone, 1 térajoule de gaz = 13.7 tonnes de carbone.

**Tableau 3. Émissions de carbone par région dans le scénario de référence**

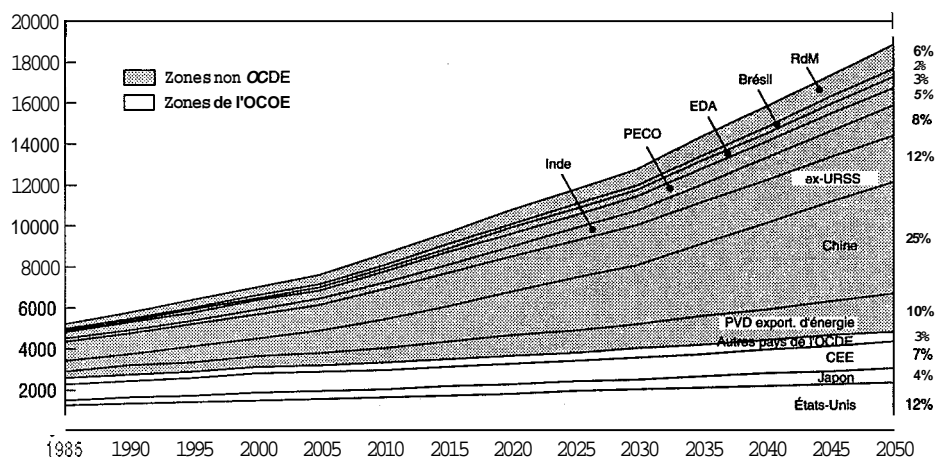
Taux de croissance annuelle moyenne

	1990-2000	2000-2010	2010-2030	2030-2050	1990-2050
États-Unis	1.1	1.2	0.9	0.7	0.9
Japon	2.8	-0.4	1.2	1.9	1.4
CE	0.8	0.7	0.7	0.9	0.8
Autres pays de l'OCDE	1.1	1.1	1.0	0.9	1.0
PVD exportateurs d'énergie	2.7	2.6	2.6	2.1	2.5
Chine	3.0	4.5	3.9	3.2	3.7
Ex-Union soviétique	1.8	2.2	1.2	0.9	1.4
Inde	3.7	4.3	4.0	3.7	3.9
PECO	1.6	2.2	1.6	1.3	1.6
EDA	3.3	2.8	2.5	2.4	2.7
Brésil	3.0	2.1	2.3	2.2	2.3
RdM	2.5	2.5	2.2	1.8	2.2
Total OCDE	1.2	0.8	0.9	0.9	1.0
Total hors OCDE	2.5	3.0	2.6	2.4	2.6
Monde	1.9	2.1	2.0	1.9	2.0

émissions dans la zone de l'OCDE au cours de la première décennie du prochain siècle. Mais après 2010, cette pression à la baisse est plus que compensée par la pénétration croissante du combustible de synthèse « sale » dans les pays Membres – ce combustible dégage encore plus de CO<sub>2</sub> que le charbon.

**Graphique 2. Émissions de carbone dans le scénario de référence**

Millions de tonnes de carbone





La résultante de ces tendances Contrastées est un taux de croissance stable des émissions mondiales, à 2 pour cent par an (tableau 3), avec des émissions annuelles de près de 19 milliards de tonnes de carbone à l'horizon 2050 (graphique 2). La répartition régionale des émissions varie considérablement au cours de cette période. Les pays de l'OCDE, qui représentaient 49 pour cent des émissions mondiales en 1985, ne représentent plus que 26 pour cent en 2050. La Chine devient le principal émetteur de CO<sub>2</sub> : sa part dans les émissions mondiales passe de 9.5 pour cent en 1985 à 29 pour cent en 2050. L'augmentation rapide des émissions dans ce pays reflète un taux de croissance supérieur à la moyenne et un processus de substitution vers le charbon. Celui-ci est amplifié par le bas niveau des prix intérieurs du charbon.

## II. UN ACCORD INTERNATIONAL EN VUE DE STABILISER LES ÉMISSIONS DE CO<sub>2</sub> DANS LA ZONE DE L'OCDE

Dans cette section on examinera un accord aux termes duquel tous les pays de l'OCDE agissent de concert pour limiter leurs émissions, alors que les pays non membres ne prennent pas de mesures<sup>6</sup>. L'objectif retenu pour ce scénario est la stabilisation des émissions de CO<sub>2</sub> en 2000 à leurs niveaux de 1990. Cet objectif présente le mérite d'être compatible avec la Convention-cadre sur les changements climatiques. De plus, il est très proche des engagements annoncés par les pays de l'OCDE en vue de répondre à la menace d'une modification du climat mondial'.

L'instrument retenu pour atteindre cet objectif de stabilisation est une taxe nationale sur le carbone : chaque pays applique une taxe sur les combustibles fossiles proportionnelle à la quantité de carbone que ceux-ci émettent dans l'atmosphère durant la combustion. Dans toutes les simulations sur le modèle GREEN, on maintient l'hypothèse de *neutralité du point de vue des revenus* en modulant le taux de l'impôt sur le revenu des ménages, de manière à compenser les effets des variations des recettes publiques découlant des taxes sur le carbone.

Dans cette simulation, *tous* les pays de l'OCDE à l'exception du Japon sont présumés stabiliser leurs émissions en 2000 à leurs niveaux de 1990; le Japon, conformément aux engagements qu'il a annoncés, doit stabiliser le niveau de ses émissions par habitant<sup>9</sup>. Les limitations des émissions sont imposées progressivement au cours de la décennie 90 et les objectifs sont maintenus jusqu'en 2050.

Pour atteindre cet objectif de stabilisation, les pays de l'OCDE doivent réduire considérablement leurs émissions : par rapport au sentier de référence, leurs émissions seraient abaissées de 44 pour cent d'ici 2050 (tableau 4). Mais a elle seule l'action des pays Membres a une très faible incidence sur les émissions mondiales, qui ne se trouvent réduites que de 11 pour cent en 2050.

Tableau 4. Principaux résultats du scénario dans lequel les pays de l'OCDE stabilisent leurs émissions aux niveaux de 1990 sur la période 2000-2050<sup>1</sup>

	Réductions des émissions de CO <sub>2</sub> en 2050 (% du niveau de référence)	Taxe sur le carbone en 2050 (\$1985/tonne de carbone)	Valeur actuelle des variations du revenu réel au cours de la période 1995-2050 (% du niveau de référence <sup>2</sup> )
États-Unis	4.3	66	-0.5
Japon	-59	236	-1.2
CE	-37	88	-0.6
Autres pays de l'OCDE	-44	81	-0.4
Total OCDE	-44	93	-0.7

1. Tous les pays de l'OCDE sauf le Japon sont présumés stabiliser leurs émissions en 2050 aux niveaux de 1990; l'objectif de stabilisation du Japon représente un volume d'émissions par habitant.
2. La valeur actuelle est exprimée par la somme actualisée des gains et pertes annuels rapportée à la somme des revenus réels annuels. Pour toutes les régions, on a appliqué un taux d'actualisation fixe de 1.5 pour cent par an.

### 1. «Fuites de carbone»

On a fait valoir que les émissions peuvent s'accroître dans les pays non membres de l'OCDE qui ne prennent pas de mesures similaires à celles adoptées par les pays Membres pour stabiliser leurs émissions - c'est le phénomène des «fuites de carbone». Il existe deux sources possibles de ce déplacement des émissions de carbone dans le modèle GREEN. D'une part, les industries à forte intensité d'énergie peuvent améliorer leur compétitivité dans les pays non membres du fait que les prix relatifs de l'énergie dans les pays de l'OCDE sont majorés par la taxe sur le carbone. D'autre part, si la restriction imposée par l'accord entre les pays de l'OCDE est suffisamment contraignante, les prix mondiaux des combustibles fossiles peuvent baisser, entraînant une hausse des émissions dans les pays non membres. L'article d'Oliveira-Martins, Burniaux et Martin dans ce même numéro contient une analyse détaillée de ces effets.

La stabilisation des émissions n'entraîne qu'une baisse très faible de l'activité des industries à forte intensité énergétique dans la zone de l'OCDE : en moyenne, et pour la période 1990-2050, leur production globale est à peine inférieure de 1.7 pour cent à son niveau de référence. La plus forte contraction est enregistrée au Japon (-3.1 pour cent) et la plus faible (-0.4 pour cent) aux États-Unis. L'expansion correspondante de ces industries dans les régions hors OCDE est encore plus réduite : la production moyenne des huit régions dépasse de près de 1 pour cent le niveau de référence. La plupart des gains de compétitivité seront réalisés par les PECO, les EDA et l'ex-Union soviétique : dans ces régions, la production des branches à forte intensité d'énergie s'accroît en moyenne de 0.7 à 1.5 pour cent.

Les fuites de carbone vers les pays hors OCDE varient d'une région à l'autre et au cours du temps : les émissions augmentent dans certaines régions, notamment dans l'ex-Union soviétique, par suite de la réduction opérée dans les pays de l'OCDE, tandis qu'elles diminuent dans d'autres régions, en particulier les pays en développement exportateurs d'énergie et la Chine. Les émissions baissent légèrement dans les pays en développement exportateurs d'énergie avec le recul de la production induit par la

diminution des exportations de pétrole vers les régions de l'OCDE. La Chine enregistre aussi une faible baisse du fait du remplacement du charbon par le pétrole, à la faveur d'une légère détente du prix de ce combustible. Sur l'ensemble des régions hors OCDE, il apparaît bien quelques déplacements des émissions, mais ils sont pratiquement négligeables : à leur point maximum, en 2000, ils ne dépassent pas 3 pour cent de la réduction totale des émissions dans la zone de l'OCDE.

## **2. Taxes régionales sur le carbone**

Les technologies nouvelles jouent un rôle crucial dans la détermination du niveau à long terme des taxes sur le carbone dans le modèle GREEN – pour une analyse détaillée des déterminants de la taxe sur le carbone, voir l'appendice de l'étude de Burniaux *et al.* dans ce même numéro. Avant d'atteindre le niveau auquel une source nouvelle devient concurrentielle, la taxe sur le carbone est conditionnée par quatre grands facteurs : les prix moyens de l'énergie, le contenu en carbone de la demande d'énergie primaire, l'objectif de réduction des émissions et les possibilités globales de substitution entre les facteurs de production. Cependant, dès qu'une source d'énergie conventionnelle entre en compétition avec l'énergie de rechange, son prix (à l'inclusion de la taxe sur le carbone) cesse d'augmenter et la taxe sur le carbone se stabilise à un niveau déterminé par la condition d'arbitrage entre les deux sources d'énergie.

Lorsque la source d'énergie classique a été entièrement supplantée par la source nouvelle, le niveau global de substitution entre les différentes formes d'énergie se trouve réduit, car le modèle GREEN présume que toutes les sources d'énergie sont des substituts *imparfaits*. Il y a donc lieu de prévoir que la taxe sur le carbone augmentera de nouveau jusqu'à ce qu'elle atteigne le niveau auquel une source de rechange plus onéreuse devienne concurrentielle et commence à évincer la source classique correspondante.

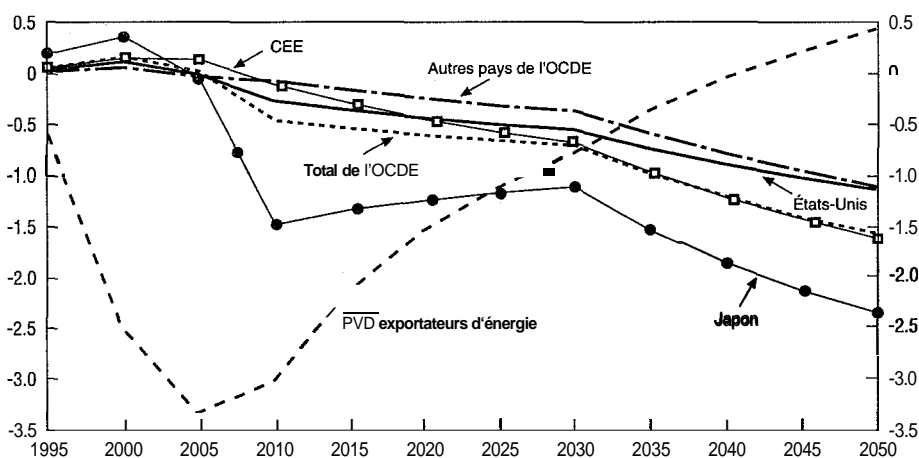
Exception faite du Japon, les taxes sur le carbone requises pour atteindre l'objectif de stabilisation sont très similaires d'une région de l'OCDE à l'autre. La limitation des émissions de carbone peut être réalisée en réduisant la consommation du combustible de synthèse à base de carbone. Par conséquent, aussi longtemps qu'une certaine quantité de combustible de synthèse est utilisée, la « demande de carbone » est très élastique et les taxes aux Etats-Unis, dans la CE et dans les « Autres régions de l'OCDE » se stabilisent à partir de 2010 à l'intérieur d'une fourchette étroite de 50-90 dollars par tonne de carbone (aux prix et taux de change de 1985). La taxe la plus élevée, à près de 240 dollars par tonne en 2050, est enregistrée au Japon (tableau 4). La raison en est que ce pays se caractérise par la limitation des émissions la plus sévère (près de 60 pour cent en 2050 par rapport au niveau de référence) mais aussi par les prix relatifs des combustibles fossiles les plus élevés dans le scénario de référence.

## **3. Effets sur le bien-être économique**

L'instauration de taxes sur le carbone modifie le bien-être économique dans toutes les régions en raison des pertes sèches inhérentes à tout impôt : elle engendre aussi des variations des termes de l'échange qui peuvent, selon leur sens de variation, accroître ou réduire le bien-être. Dans le modèle GREEN, les fluctuations du bien-être économique sont mesurées d'après la « variation équivalente hicksienne », définie comme le montant du revenu dont devrait disposer le consommateur avant l'application

d'une taxe sur le carbone pour atteindre le niveau de bien-être qui est effectivement le sien après l'instauration de la taxe. Pour plus de commodité, cette mesure est référée ici comme le « revenu réel ». Les variations de revenu réel consécutives à l'instauration d'une taxe sont actualisées, compte tenu de l'hypothèse selon laquelle les ménages attribuent une pondération plus réduite aux variations de bien-être futures<sup>9</sup>.

**Graphique 3. Perte de revenu réel, scénario de Stabilisation**  
Écarts en pourcentage par rapport au scénario de référence



La réalisation de l'objectif de stabilisation entraîne une faible perte de revenu réel pour les pays de l'OCDE à partir de 2005 (graphique 3). Avant cette date, ils enregistrent de légers gains car l'amélioration des termes de l'échange résultant de la compression des importations pétrolières efface largement les pertes d'efficacité dues à la taxe sur le carbone. Les termes de l'échange des régions de l'OCDE se dégradent à partir de 2030 en raison d'un mouvement de substitution au profit du pétrole brut, d'où une augmentation des pertes de bien-être qui atteignent 1.3 pour cent en 2050. Sur l'ensemble de la période, la perte de revenu réel des pays de l'OCDE s'établit à 0.7 pour cent (valeur actualisée). La réduction des émissions dans les seuls pays de l'OCDE n'a que des effets marginaux sur le revenu réel des pays non membres, à l'exception des pays en développement exportateurs d'énergie. Ces derniers subissent des pertes de bien-être durant la plus grande partie de la période examinée : la baisse maximale du revenu réel par rapport au niveau de référence frôle les 3½ pour cent en 2005; les pertes décroissent régulièrement après 2010 et la région affiche même un léger gain en 2050 du fait que le processus de substitution aux dépens du combustible de synthèse à base de carbone dans les régions de l'OCDE entraîne un accroissement de la demande de pétrole brut. Sur l'ensemble de la période, la perte de revenu réel de cette région (valeur actualisée) est de 1 pour cent.

Au total, si les pays de l'OCDE limitaient leurs émissions conformément à l'objectif de stabilisation fixé par la Convention-cadre, à l'aide de taxes nationales sur le carbone, il n'en résulterait qu'un très léger freinage de la croissance des émissions mondiales au siècle prochain. La section suivante examine les effets sur les émissions mondiales d'une extension de l'accord aux régions hors OCDE. On s'efforce en outre de chiffrer les gains induits par des accords qui présentent un rapport coût-efficacité satisfaisant.

### III. ACCORDS INTERNATIONAUX ENGLOBANT LES RÉGIONS HORS OCDE

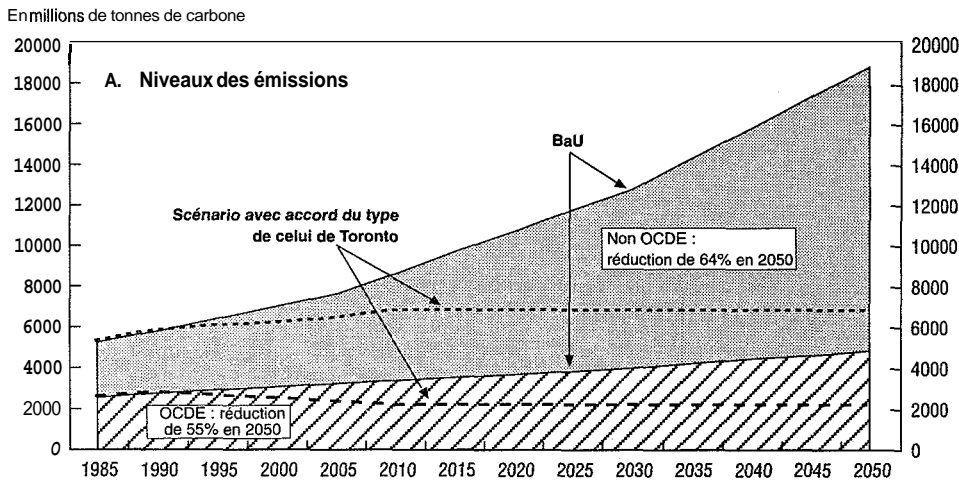
Tout accord international qui vise à réduire sensiblement les émissions anthropiques de CO<sub>2</sub> doit s'étendre au-delà de la zone de l'OCDE pour couvrir les principaux pays non membres producteurs de CO<sub>2</sub>. De plus, un objectif de stabilisation implique que les pays non membres acceptent une réduction des émissions beaucoup plus draconienne que les régions de l'OCDE, étant donné que le sentier de référence fait apparaître une croissance des émissions beaucoup plus rapide dans certaines des principales régions non membres. En conséquence, dans l'accord international simulé ici – accord du type de celui de Toronto – les réductions d'émissions requises des régions hors OCDE sont moins lourdes que ne l'impliquerait l'acceptation par ces régions d'un objectif de stabilisation en 2000 aux niveaux de 1990.

#### A. Accord du type de celui de Toronto avec des taxes sur le carbone spécifiques à chaque région

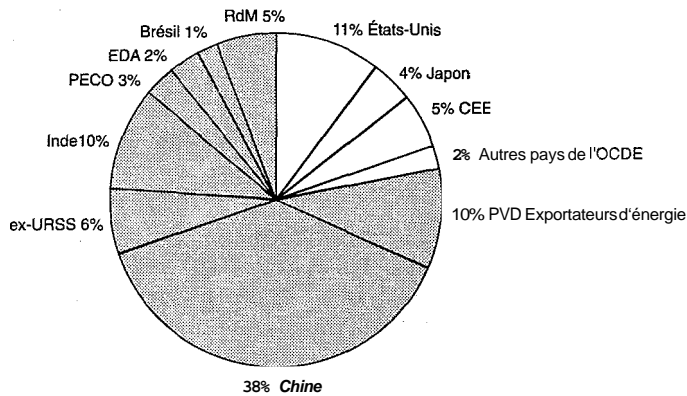
Dans le contexte d'un accord du type de celui de Toronto, on suppose que : *i*) les pays de l'OCDE ramènent leurs émissions en 2010 à 80 pour cent de leurs niveaux de 1990 et les stabilisent par la suite et que : *ii*) les émissions des régions hors OCDE sont plafonnées à l'horizon 2010 à un volume supérieur de 50 pour cent à leurs niveaux de 1990 et stabilisées par la suite. On présume d'abord que ces objectifs sont réalisés au moyen de taxes sur le carbone spécifiques à chaque région. A partir de là, il est possible d'évaluer les gains résultant d'une version de l'accord caractérisée par un rapport coût-efficacité satisfaisant.

L'effet net de cet accord est une stabilisation des émissions mondiales à 6.8 milliards de tonnes de carbone par an en 2010, soit un tiers du niveau de référence en 2050 (voir graphique 4). Ce scénario implique une réduction proportionnelle relativement plus importante dans les pays non membres à l'horizon 2050 (-67 pour cent, contre -55 pour cent dans les pays de l'OCDE), du fait que la croissance des émissions dans le scénario de référence est beaucoup plus rapide pour les régions hors OCDE, à l'exception notable de l'ex-Union soviétique et des PECO. En 2050, la zone de l'OCDE ne représente plus que 22 pour cent de la réduction des émissions mon-

**Graphique 4. Impact d'un accord du type de celui de Toronto sur l'évolution des émissions**



**B. Répartition des réductions d'émissions en 2050, par région**



diales, alors que l'Inde et la Chine supportent ensemble près de la moitié de la charge globale.

Pour donner une idée de l'ampleur de ces réductions d'émissions, le GIEC (1990) fait observer que si l'on voulait stabiliser les concentrations de CO<sub>2</sub> dans l'atmosphère d'ici le milieu du siècle prochain à environ 450 parts par million contre 350 actuellement, il faudrait ramener les émissions anthropiques totales aux alentours de 4 mil-

liards de tonnes de carbone par an d'ici à 2050. Par rapport au scénario de référence de GREEN, cela représente une réduction de 80 pour cent à l'horizon 2050.

## Y. **Taxes sur le carbone**

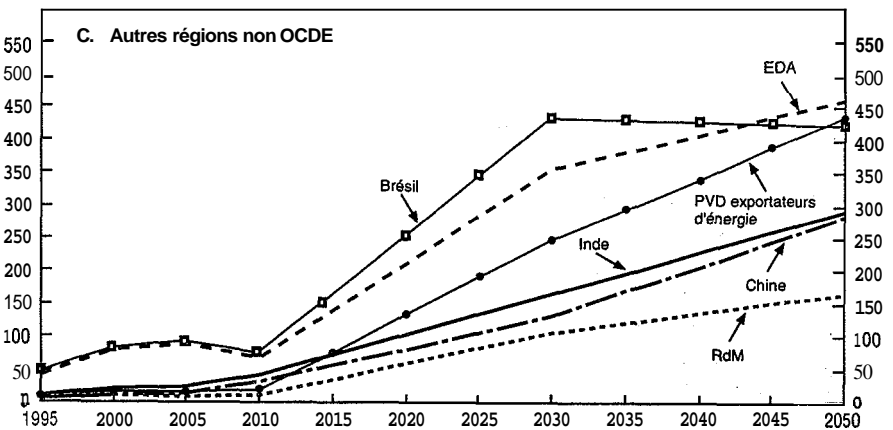
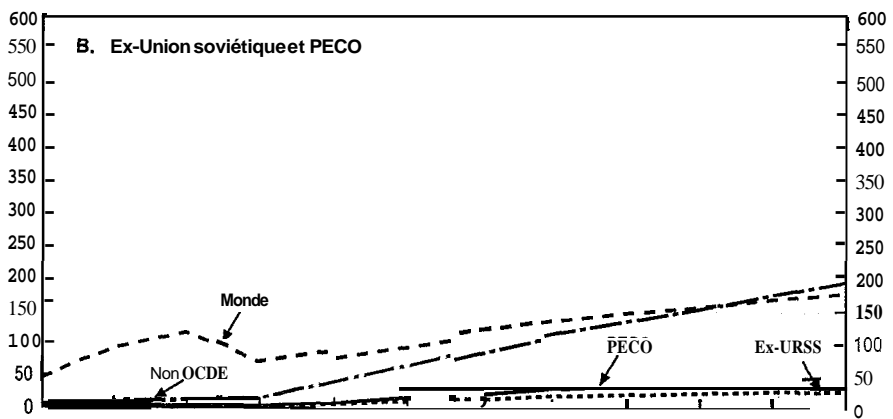
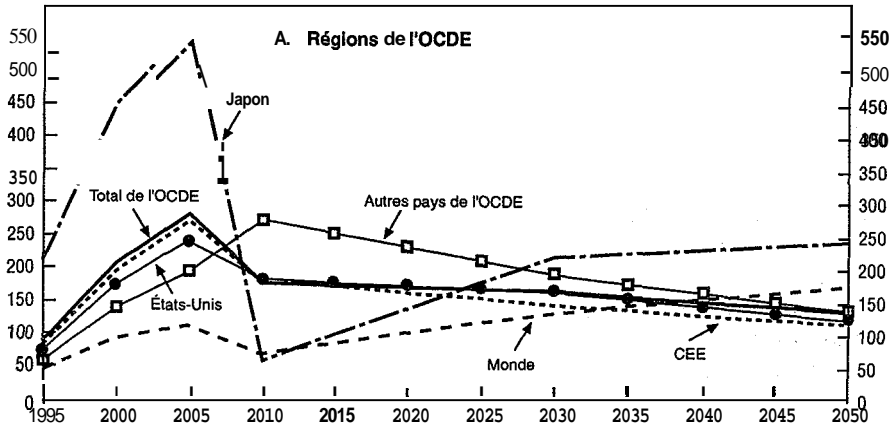
L'instauration de taxes sur le carbone contribue à déprimer le prix réel du pétrole. En 2030, le cours mondial du pétrole est inférieur de 13 pour cent à son niveau de référence. Après 2030, il augmente plus rapidement que dans le scénario de référence, étant donné que le combustible de synthèse à base de carbone (pétrole synthétique) n'est plus rentable en raison des taxes sur le carbone et que la contrainte de l'offre pétrolière dans les pays en développement exportateurs d'énergie devient effective.

En moyenne, la taxe sur le carbone appliquée dans les pays de l'OCDE culmine à 280 dollars par tonne de carbone (aux prix et taux de change de 1985) en 2005, avant de redescendre progressivement jusqu'à 137 dollars en 2050, pour une taxe mondiale moyenne de plus de 170 dollars (graphique 5). La dispersion des taxes parmi les régions de l'OCDE est particulièrement marquée avant 2010, avant que les énergies de rechange soient disponibles. Avec l'arrivée des sources d'énergies nouvelles, dans le scénario de référence les pays de l'OCDE tendent à recourir massivement au combustible de synthèse à base de carbone, qui est la forme d'énergie la plus « sale ». En conséquence, les taxes sur le carbone convergent vers le niveau auquel le combustible de synthèse n'est plus rentable comme source d'énergie<sup>10</sup>.

Avant 2010, en l'absence de sources de rechange, les taxes reflètent les taux de croissance des émissions et les prix relatifs de l'énergie dans les différents pays. Comme le Japon enregistre la croissance la plus rapide des émissions parmi les régions de l'OCDE au cours de cette période, mais aussi les prix relatifs de l'énergie les plus élevés (tableau 2), il lui faut appliquer des taxes très lourdes pour faire face à la contrainte de réduction des émissions. Le profil temporel de la taxe sur le carbone, en forme de bosse, sur la période 1995-2010 reflète l'interaction entre la spécification putty/semi-putty de la technologie – l'élasticité à court terme de la substitution entre formes d'énergie est très basse par rapport à la valeur à long terme – et la mise en place progressive des restrictions sur les émissions. Dans ces conditions, il faut à court terme des taxes beaucoup plus élevées pour assurer la limitation des émissions<sup>11</sup>.

Par rapport aux pays de l'OCDE, dans l'ex-Union soviétique et dans les PECO les taxes sur le carbone sont beaucoup plus réduites. La limitation des émissions de carbone ne devient pas contraignante avant 2005 dans l'ex-Union soviétique et avant 2010 dans les PECO. Étant donné les faibles taux de croissance des émissions dans le scénario de référence et les fortes subventions dont bénéficient les prix des combustibles fossiles, ces régions n'ont pas besoin de taxes élevées pour satisfaire à la contrainte sur les émissions : en 2050, les taxes sont encore inférieures à 50 dollars, niveau auquel aucune des énergies de rechange n'est rentable.

Les autres régions hors OCDE se classent dans deux groupes distincts : *i*) les pays à faible coût qui s'appuient massivement sur du charbon subventionné et bon marché (Chine et Inde), ou qui font appel au combustible de synthèse à base de carbone (Reste du Monde), et *ii*) les pays à coût élevé qui conjuguent une croissance du PIB supérieure à la moyenne et une demande d'énergie concentrée sur le pétrole (Brésil, EDA et pays en développement exportateurs d'énergie). Dans les pays à faible coût, les taxes sont négligeables jusqu'en 2010, mais elles augmentent régulièrement





par la suite lorsque les contraintes deviennent plus sévères. En 2050 la Chine et l'Inde ont une taxe supérieure à 280 dollars par tonne de carbone. Dans l'un et l'autre pays, le coût marginal du remplacement du charbon par une autre source d'énergie augmente considérablement au fil du temps, car le charbon reste fortement subventionné; en conséquence, il n'est jamais évincé en tant que source d'énergie par le combustible de synthèse dans le scénario de référence. Dans le reste du Monde, la réduction requise des émissions de carbone peut être obtenue à un coût plus faible qu'en Chine et en Inde en éliminant le combustible de synthèse à base de carbone.

En revanche, au Brésil, dans les EDA et dans les pays en développement exportateurs d'énergie la stabilisation des émissions après 2010 nécessite des taxes suffisamment élevées pour permettre au combustible de synthèse sans carbone de supplanter le pétrole. De fait, parmi toutes les régions hors OCDE, c'est au Brésil que le coût marginal de dépollution est le plus élevé durant la plus grande partie de la période, étant donné que le secteur de l'électricité repose principalement sur l'hydro-électricité, qui est une source d'énergie «propre». Les pays en développement exportateurs d'énergie recourent principalement au pétrole, et comme ils en subventionnent la consommation intérieure, leur coût marginal de réduction des émissions est susceptible de croître rapidement à long terme.

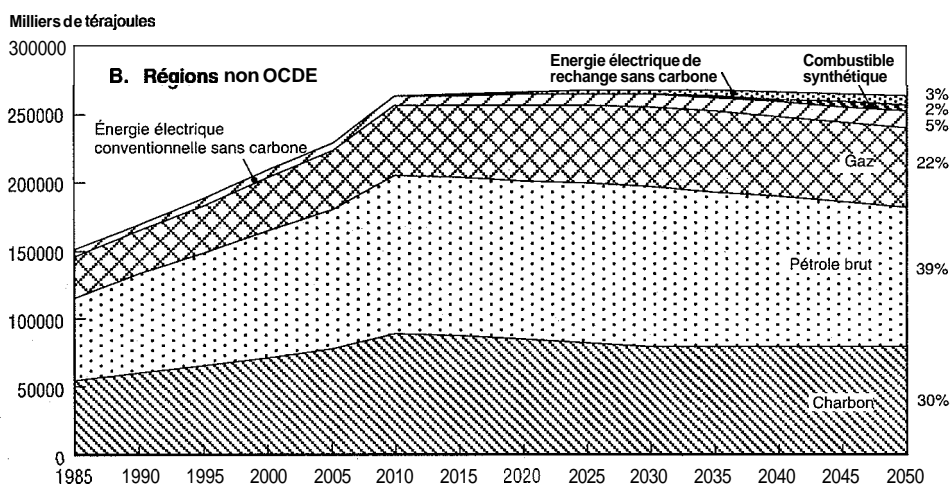
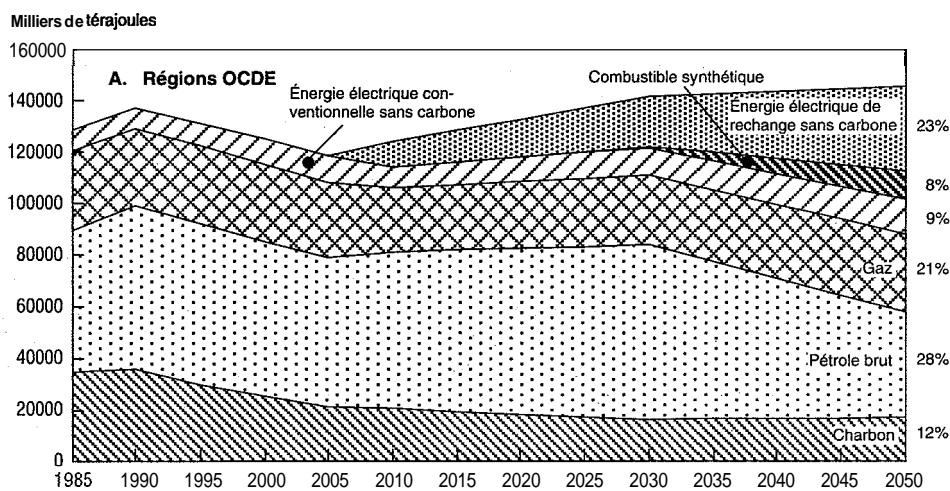
Il ressort du graphique 5 que les coûts marginaux de réduction des émissions avec un accord du type de celui de Toronto sont plus élevés dans les régions de l'OCDE que dans les autres régions jusqu'à l'entrée en service des sources d'énergie nouvelles, après 2010. En 2050, la situation est complètement inversée : la réduction des émissions est beaucoup plus coûteuse dans certaines régions hors OCDE, surtout dans les économies à faible revenu fondées sur le charbon (Chine, Inde) ainsi que dans les EDA et au Brésil.

## 2. Recours à des options de rechange

La demande totale d'énergie primaire dans les régions de l'OCDE revient en 2050 à son niveau de 1990 grâce à la pénétration croissante de l'énergie électrique nouvelle sans carbone (graphique 6a). Les principaux changements dans la composition des demandes d'énergie de la zone de l'OCDE sont les suivants : *i*) diminution de la part du combustible de *synthèse à base* de carbone (de 18 pour cent dans le scénario de référence à 8 pour cent à peine en 2050); *ii*) progression de la part du pétrole (de 9 pour cent à 28 pour cent) et *iii*) accroissement de la part de sources d'énergie électrique nouvelle sans carbone (de 9 pour cent à 23 pour cent). Le recours croissant à des sources de rechange (propres) dans les pays de l'OCDE contraste avec la part de marché négligeable de ces sources dans les régions hors OCDE (graphique 6b).

Dans ces dernières, la réduction requise des émissions est assurée pour 85 pour cent par une diminution de la demande de charbon.

**Graphique 6. Composition de la demande totale d'énergie primaire avec un accord du type de celui de Toronto**



### 3. Termes de l'échange

Les pays de l'OCDE enregistrent des gains sur les termes de l'échange pendant la plus grande partie de la période, car la nécessité de réduire les émissions de carbone les contraint à comprimer fortement leurs importations de pétrole. Les gains atteignent

leur niveau maximum vers 2010 puis commencent à diminuer lentement lorsque les restrictions peuvent être appliquées en faisant appel aux énergies nouvelles propres au lieu de réduire les importations pétrolières. A l'horizon 2050, toutes les régions de l'OCDE enregistrent une dégradation des termes de l'échange étant donné que les taxes sur le carbone favorisent le remplacement du pétrole synthétique par du pétrole importé.

Dans la plupart des régions hors OCDE les gains ou pertes sur les termes de l'échange sont très faibles. Mais on relève trois exceptions. Le Brésil, largement tributaire du pétrole importé, affiche des gains très importants jusqu'en 2030. Les pays en développement exportateurs d'énergie subissent une forte dégradation des termes de l'échange jusqu'en 2030, avec la baisse du prix mondial du pétrole par rapport au scénario de référence; une très nette amélioration est observée après cette date, à la suite du remplacement du combustible de synthèse à base de carbone par du pétrole importé dans les pays de l'OCDE. Enfin, la Chine connaît une dégradation croissante de ses termes de l'échange à partir de 2030 car elle met en œuvre la limitation des émissions de carbone en remplaçant le charbon par du pétrole importé. Ce processus de substitution reflète le profil initial des distorsions des prix de l'énergie en Chine : le charbon y est fortement subventionné alors que le prix intérieur du pétrole est très voisin du cours mondial.

#### **4. Effets sur le bien-être**

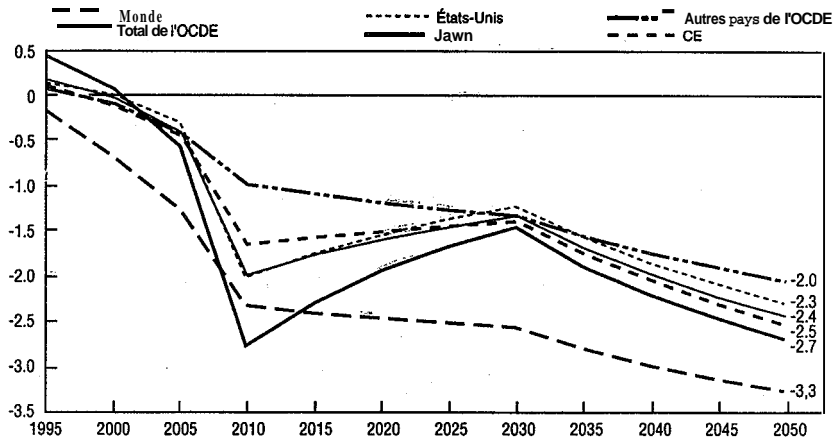
Le graphique 7a montre que la perte de revenu réel dans les pays de l'OCDE varie au cours de la période considérée. Elle atteint 2 pour cent en 2010, mais comme les énergies de rechange abaissent le coût de la réduction des émissions entre 2010 et 2030, la perte de revenu réel retombe à 1.3 pour cent en 2030. Elle s'accroît de nouveau après 2030 pour atteindre 2.4 pour cent en 2050 par suite de la dégradation croissante des termes de l'échange due à la hausse du prix mondial du pétrole. Sur l'ensemble de la période les pays Membres accusent une perte de revenu réel de 1.4 pour cent (valeur actualisée – voir le tableau 5).

Les PECO affichent des gains de bien-être durant la plus grande partie de la période, tandis que l'ex-Union soviétique enregistre de très légères pertes (graphique 7b). Pour ces deux régions, les restrictions en matière d'émissions de carbone ne sont pas contraignantes avant 2010 et sont modérées par la suite; de plus, l'une et l'autre bénéficient du repli des cours pétroliers jusqu'en 2030 (l'ex-Union soviétique devient un importateur net de pétrole après 2020). Les PECO et l'ex-Union soviétique subissent de légères pertes de bien-être en 2050 avec le raffermissement du prix mondial du pétrole.

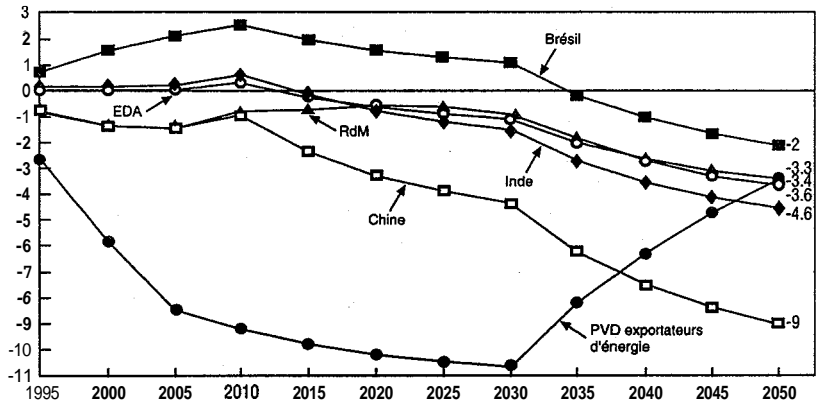
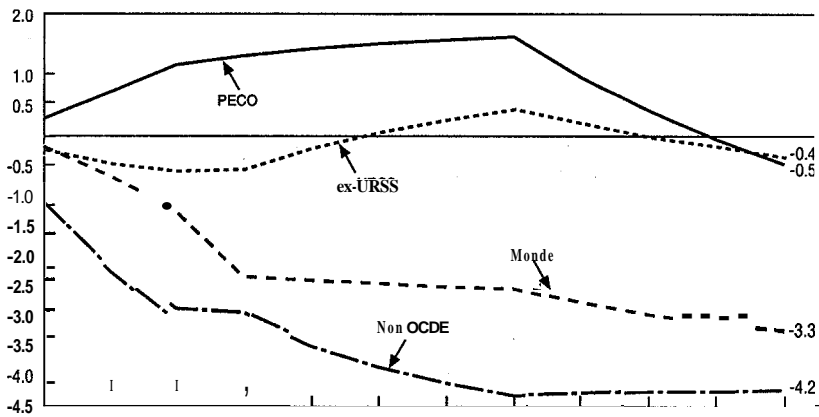
Le graphique 7c met en évidence la grande diversité des effets sur le bien-être dans les autres régions hors OCDE. Avant 2030, ce sont les pays en développement exportateurs d'énergie qui subissent les pertes les plus lourdes : en 2030 leur revenu réel est inférieur de plus de 10 pour cent au niveau de référence. Le Brésil et les EDA enregistrent des gains de bien-être par suite de la baisse du cours mondial de pétrole. Après 2030, les profils des gains et des pertes se modifient sensiblement. La reprise de la demande de pétrole dans les pays de l'OCDE et les contraintes de l'offre dans les pays de l'OPEP se conjuguent pour induire un transfert de revenu au profit des pays en développement exportateurs de pétrole. En conséquence, leurs pertes de bien-être se réduisent fortement pour s'établir à 3.4 pour cent en 2050. Sur l'ensemble de la

Graphique 7. Effets sur le revenu réel avec un accord du type de celui de Toronto  
Écarts en pourcentage par rapport au scénario de référence

A. Régions de l'OCDE



B. Ex-Union soviétique et PECO



**Tableau 5. Résumé des principaux résultats avec un accord du type de celui de Toronto avec des taxes sur le carbone spécifiques à chaque région**

	Réductions des émissions de CO <sub>2</sub> en 2050 ("A du niveau de référence)	Taxe sur le carbone en 2050 (\$1985/tonne de carbone)	Valeur actuelle des variations du revenu réel au cours de la période 1995-2050 (% du niveau de référence)
États-Unis	-54	122	-1.4
Japon	-66	243	-1.8
CE	-49	118	-1.4
Autres pays de l'OCDE	-55	139	-1.1
PVD exportateurs d'énergie	-65	434	-7.9
Chine	-83	284	-5.0
Ex-Union soviétique	-33	28	-0.2
Inde	-85	292	-2.0
PECO	-41	49	0.9
EDA	-69	461	-1.4
Brésil	-62	420	0.5
RdM	-59	165	-1.6
OCDE	-55	137	-1.4
Monde	-64	174	-2.3

période, la perte de revenu réel de cette région est de 7.9 pour cent (valeur actuelle). **A** la fin de la période considérée, la Chine et l'Inde sont les grandes perdantes parmi les régions hors OCDE, du fait du niveau élevé de leurs taxes sur le carbone : à l'horizon 2050, leurs pertes de bien-être se chiffrent à 9 et 4.6 pour cent respectivement.

## **B. Accords avec un rapport coût-efficacité satisfaisant**

Un accord du type de celui de Toronto n'a **pas** un bon rapport coût-efficacité, étant donné la très grande dispersion des coûts marginaux de réduction des émissions d'une région à l'autre (graphique 5). Il importe donc de chiffrer les gains de bien-être qui pourraient être réalisés par l'économie mondiale si l'accord était élargi de façon à permettre l'égalisation des coûts marginaux de réduction des émissions dans les différentes régions. Telle est la condition requise pour un accord international doté d'un bon rapport coût-efficacité, défini comme un accord qui atteint au moindre coût un objectif donné de réduction des émissions mondiales.

On examine ici deux versions différentes d'un accord du type de celui de Toronto doté d'un bon rapport coût-efficacité : la première implique une taxe internationale sur le carbone et la seconde des permis d'émission négociables. Abstraction faite des considérations d'ordre administratif, ces deux instruments permettent d'obtenir une solution efficace du point de vue des coûts sous certaines conditions, par exemple, tous les pays sont supposés être de « petite » taille, et il n'existe pas d'éléments d'incertitude<sup>12</sup>. Cependant, la distribution des gains et pertes de bien-être d'une région à l'autre n'est pas la même dans les deux cas. Dans cette section, on chiffrera l'ampleur des gains de bien-être découlant d'un accord caractérisé par un bon rapport

coût-efficacité, et l'on montrera comment *la distribution* des gains et pertes entre les régions est influencée par l'allocation initiale des droits d'émission. La section suivante examine d'autres considérations importantes qui gouvernent le choix entre taxe sur le carbone et les permis négociables mais qui ne sont pas prises en compte dans le modèle GREEN.

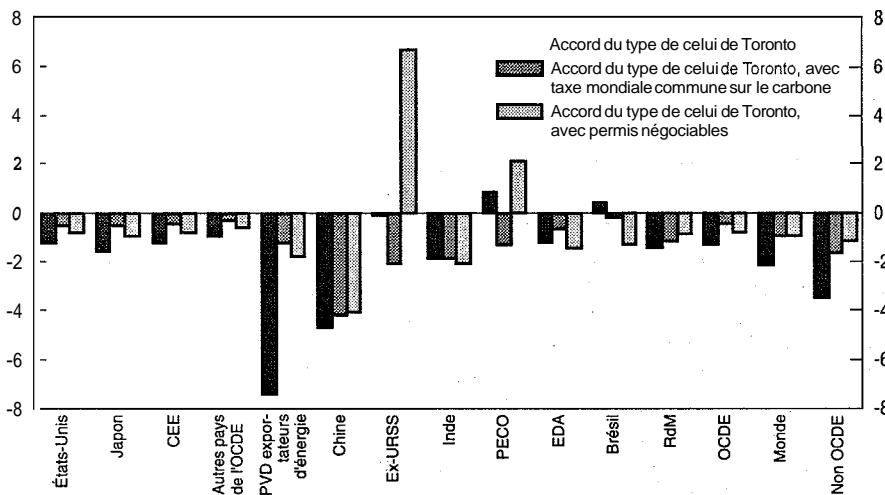
### 1. Taxe commune sur le carbone dans toutes les régions

Dans un premier scénario, chaque région applique *une taxe d'équilibre commune* qui permet d'atteindre le même niveau de réduction des émissions mondiales que dans un accord du type de celui de Toronto. Cependant, le niveau de réduction des émissions dans chaque région est modulé de façon à aligner le coût marginal sur la taxe mondiale commune, et il est en général différent de celui qui est atteint dans le cadre d'un accord du type de celui de Toronto avec des taxes sur le carbone spécifiques à chaque région. On suppose que chaque région conserve le produit de sa taxe; il n'y a pas de globalisation des recettes comme cela se produirait avec un organisme fiscal international assurant une redistribution pour réaliser certains objectifs d'équité.

La taxe mondiale sur le carbone descend à 154 dollars par tonne de carbone en 2050 contre 174 dollars en moyenne dans le scénario avec objectifs d'émission par pays. L'application d'un accord du type de celui de Toronto caractérisé par un bon rapport coût-efficacité entraîne des gains substantiels pour l'économie mondiale : le gain de bien-être moyen pour le Monde dans son ensemble sur la période 1995-2050 est de 1.2 pour cent (valeur actualisée); autrement dit, la perte globale de bien-être

Graphique 8. Variations moyennes du revenu réel avec trois accords du type de celui de Toronto

Valeur actuelle des variations de revenu réel sur la période 1995-2050



induite par la réalisation d'un objectif du type de celui de Toronto se trouve réduite de plus de 50 pour cent.

Le graphique 8 présente une comparaison entre les variations moyennes de revenu réel dans le contexte d'un accord du type de celui de Toronto et les variations observées dans le cas de l'imposition d'une taxe mondiale commune. Il en ressort que les pays en développement exportateurs d'énergie bénéficient largement de ce dernier type d'accord. La compression de la demande de pétrole est un moyen coûteux de réduire les émissions, et toute autre répartition des réductions qui pèse davantage sur la demande de charbon offre un meilleur rapport coût-efficacité à l'échelle mondiale. En revanche, un accord présentant un bon rapport coût-efficacité transfère la charge de la stabilisation des émissions des pays de l'OCDE et des pays en développement semi-industrialisés aux économies qui utilisent massivement le charbon, dont les revenus réels accusent une baisse plus prononcée que dans l'accord du type de celui de Toronto. Il en résulte aussi une modification sensible du profil du prix du pétrole. La demande de pétrole décroît moins fortement que dans le précédent scénario et la hausse du prix du pétrole après 2030 est plus marquée : en 2050, le cours mondial du pétrole dépasse de 18 pour cent son niveau de référence.

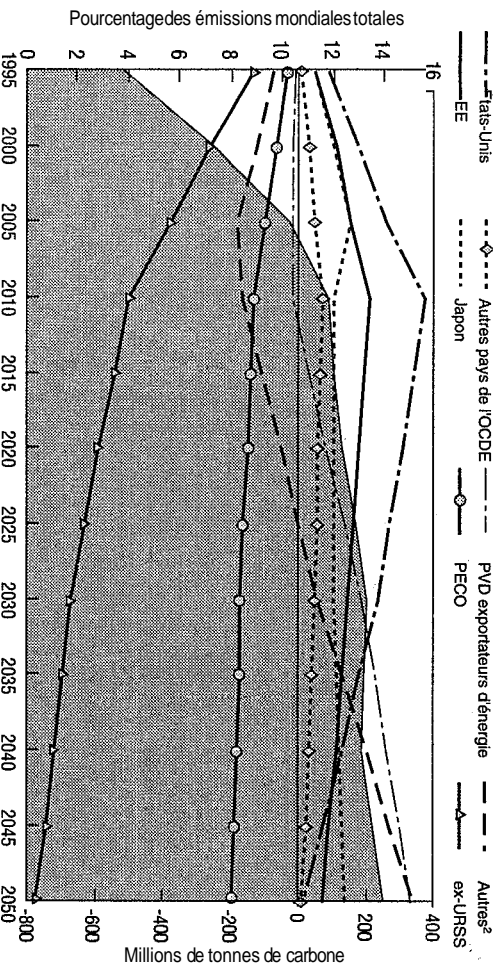
## **2. Accord du type de celui de Toronto avec permis négociables**

Le négoce des droits d'émission est un moyen de dissocier la répartition des pertes de revenu réel de la distribution efficiente des réductions d'émissions, de manière à la rendre plus compatible avec les objectifs d'équité et à accroître ainsi la probabilité de voir tous les pays mettre en œuvre l'accord. Un organisme international qui centraliserait et redistribuerait les recettes d'une taxe mondiale sur le carbone pourrait naturellement atteindre le même but. Dans cette simulation, les restrictions spécifiques des émissions de CO<sub>2</sub> conformément à un accord du type de celui de Toronto sont considérées comme des dotations initiales de droits d'émission qui peuvent faire l'objet d'échanges sans restrictions entre régions. Ces dotations sont *fixes* pour la période considérée. La règle initiale de répartition est arbitraire et peut être modifiée dans le modèle GREEN en fonction de diverses considérations internationales. Lorsque le négoce des droits d'émission est autorisé, et dans l'hypothèse où toutes les régions occupent une place « réduite » sur le marché mondial (c'est-à-dire qu'aucune d'entre elles n'exerce un pouvoir de marché), la répartition des réductions entre les régions est optimale lorsque le prix des permis (prix fictif de la contrainte d'émission de CO<sub>2</sub>) est uniformisé dans *toutes* les régions.

Le graphique 9 indique l'évolution des échanges de permis au cours de la période considérée. La part des échanges s'élève à 12 pour cent des émissions mondiales en 2010 et demeure à peu près stable par la suite. L'une des principales causes de ces échanges assez importants est le fait que l'ex-Union soviétique et les PECO bénéficient d'une dotation initiale généreuse eu égard à leur faible coût marginal de réduction des émissions. Comme la croissance de leurs émissions dans le scénario de référence est beaucoup plus faible que dans les autres régions hors OCDE, ces deux régions sont avantagées par cette règle d'allocation<sup>13</sup>.

L'ex-Union soviétique est le principal vendeur de droits d'émission : en 2050, elle représente près de 80 pour cent de tous les permis échangés, le reste étant exporté par les PECO. Avant 2030, les principaux acheteurs de permis sont les régions de l'OCDE, principalement les États-Unis et la CE. Mais comme les régions de l'OCDE

Graphique 9. Échanges de droits d'émission avec un accord du type de celui de Toronto<sup>1</sup>



1. La zone en gris indique le pourcentage des émissions mondiales qui font l'objet d'échanges de permis dans chaque période.
2. Le groupe «Autres» comprend la Chine, l'Inde, les EDA, le Brésil et le RdM.

recourent davantage aux énergies de rechange, leurs demandes de droits d'émission diminuent en conséquence. À partir de 2030, la Chine, le Brésil, les EDA et surtout les pays en développement exportateurs d'énergie deviennent les principaux acheteurs de permis. Étant donné qu'elles subventionnent massivement les prix intérieurs de l'énergie, ces régions ne font pas appel aux énergies nouvelles de rechange et sont de ce fait fortement incitées à acheter des permis. En l'occurrence, les permis négociables représentent un substitut des formes d'énergies nouvelles.

### 3. Répartition des gains et pertes de bien-être avec un système de permis négociables

Le graphique 8 montre comment les permis négociables modifient la répartition régionale des gains et pertes de bien-être par rapport au scénario d'une taxe mondiale commune. L'ex-Union soviétique et les PECO profitent du négoce des permis à tel point qu'ils enregistrent des gains nets de revenu réel (7 et 2 pour cent respectivement) à partir d'une telle allocation des droits d'émission. En revanche, les régions qui doivent acquiescer des permis subissent des pertes par rapport au scénario d'une taxe commune, même si certaines d'entre elles sont encore bénéficiaires par rapport à l'accord « Toronto » initial.

Par rapport à l'accord initial avec contraintes spécifiques à chaque région, les pays de l'OCDE et le reste du Monde enregistrent un léger gain avec un régime d'échange de permis, tandis que certains pays en développement semi-industrialisés qui dépendent davantage du pétrole brut – c'est le cas notamment des EDA et du Brésil – accusent des pertes de bien-être plus fortes. Dans ces derniers pays, le poids addition-



nel de la hausse du prix mondial du pétrole et de l'acquisition des permis n'est pas contrebalancé par l'avantage découlant d'une limitation moins stricte des émissions de carbone.

#### IV. AUTRES DÉTERMINANTS DU CHOIX ENTRE TAXES ET PERMIS

Dans la section précédente on a montré qu'un accord international en vue de réduire les émissions qui reposerait soit sur une taxe mondiale commune sur le carbone, soit sur des permis négociables, pourrait induire des gains de bien-être substantiels pour l'économie mondiale. Le montant des gains globaux est le même pour chacun des deux instruments, qui sont donc en principe équivalents sous certaines conditions. Par contre, la répartition des gains et des pertes entre les régions n'est pas la même dans les deux cas.

Abstraction faite des objectifs d'équité, le choix entre une taxe commune et des permis négociables est gouverné par plusieurs considérations importantes qui ne sont pas prises en compte dans le modèle GREEN. Par exemple, les deux instruments ne sont plus équivalents du point de vue de l'efficacité économique si l'on tient compte de l'incertitude entourant les quantités et/ou les prix<sup>14</sup>. Un système de permis négociables garantit un certain degré de certitude concernant le volume des réductions d'émissions, et minimise ainsi l'incertitude sur les *quantités*. À l'inverse, une taxe sur le carbone fixe les prix des combustibles fossiles et laisse le niveau des émissions varier en fonction des nouveaux signaux de prix relatifs, minimisant ainsi l'incertitude sur le plan des *prix*.

Étant donné que les changements climatiques sont liés à l'accumulation de CO<sub>2</sub> et d'autres gaz à effet de serre dans l'atmosphère, il semblerait souhaitable d'opter pour les permis négociables, de préférence à la taxe sur le carbone. Mais la situation est plus complexe, car on ne connaît avec certitude ni les coûts ni les avantages de la prévention des changements climatiques. Dans ces conditions, tout dépend de l'appréciation par les décideurs de l'équilibre relatif entre risques économiques et risques environnementaux.

Si l'on estime que le coût marginal de la réduction des émissions augmentera rapidement, alors que les coûts marginaux des dommages croîtraient plus lentement, la taxe sur le carbone tend à prendre le pas sur les permis négociables. Si l'on pense au contraire que les risques environnementaux sont plus importants, c'est le régime des permis qui se trouve favorisé. Ainsi, Oates et Portney (1991) jugent plus probable le premier scénario et préconisent l'instauration d'une taxe sur le carbone, au moins jusqu'à ce que les incertitudes scientifiques et économiques fondamentales soient dissipées<sup>15</sup>.

Outre l'évaluation de l'incertitude, d'autres considérations plus concrètes doivent être prises en compte dans le choix entre les taxes et les permis comme instruments de réduction des émissions, tant au niveau national qu'au niveau international. En premier lieu, il existe une série de problèmes d'ordre administratif concernant la mise

en œuvre, le contrôle et l'exécution. A cet égard, de nombreux observateurs expriment leur préférence pour une taxe sur le carbone. Une taxe accroîtrait les coûts de recouvrement pour les autorités fiscales et les agents économiques, mais elle n'exigerait pas la création de nouveaux organismes et marchés dans les différents pays – ce qui serait le cas avec des permis. Le vrai problème est qu'on n'a qu'une expérience concrète très restreinte des systèmes nationaux de permis, sauf aux États-Unis<sup>16</sup>.

Ce dernier facteur est probablement plus important dans le contexte d'un accord international. Certes il est difficile d'imaginer que les pays s'entendent pour adopter une taxe commune sur le carbone et un système efficace de contrôle de manière à minimiser le phénomène de « resquillage ». Mais ce problème paraît moins insurmontable que ne le serait la mise en place d'un marché international efficace des permis et d'un accord sur l'allocation initiale des permis et son ajustement ultérieur. Cela donne à penser que tout accord international performant visant à réduire les émissions de CO<sub>2</sub> devrait probablement privilégier le recours à la taxe commune. Telle a été d'ailleurs l'option retenue par la Commission des Communautés européennes dans sa récente proposition de stratégie globale destinée à stabiliser les émissions de la Communauté; la Commission préconise toutefois une taxe sur l'énergie associée à une taxe sur le carbone, et non une simple taxe sur le carbone.

## V. CONCLUSIONS

La menace d'un réchauffement planétaire résulte, parmi beaucoup d'autres facteurs, de l'accroissement des concentrations de CO<sub>2</sub> dans l'atmosphère. Elle a suscité des négociations internationales sur des mesures destinées à éviter le changement climatique, qui ont abouti récemment à la Convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques signée à Rio. Les simulations sur le modèle GREEN présentées dans cette étude ont été conçues pour évaluer les coûts économiques d'un tel accord et leur répartition entre les pays.

Les mesures prises par les seuls pays de l'OCDE pour stabiliser les émissions en 2000 à leurs niveaux de 1990 – objectif qui correspond grosso modo aux engagements annoncés de combattre le changement climatique mondial, et qui est en accord avec la Convention-cadre – se traduiraient par une réduction moyenne des émissions des pays Membres de 44 pour cent en 2050 par rapport aux niveaux que l'on aurait pu atteindre en l'absence de telles actions (scénario de référence). Cela n'entraîne cependant qu'une baisse de 11 pour cent des émissions *mondiales* en 2050; il apparaît donc clairement que les mesures destinées à faire face au changement climatique ne sauraient avoir la moindre chance de réussite que si elles englobent les grands pays non membres. La réalisation de cet objectif de stabilisation implique un coût relativement réduit pour les pays de l'OCDE; leur revenu réel baisse de 0.7 pour cent en valeur actuelle.

Lorsque l'accord international est élargi aux régions hors OCDE, l'accord du type de celui de Toronto qui en résulte permet de réduire les émissions mondiales en 2050

de près des deux tiers par rapport aux niveaux de référence, ce qui implique une croissance continue des concentrations atmosphériques de CO<sub>2</sub>. Étant donné les fortes variations des coûts marginaux de réduction des émissions d'une région à l'autre, cet accord ne présente pas un bon rapport coût-efficacité, et l'on pourrait en le modifiant obtenir des gains de bien-être tout en réalisant la même réduction globale des émissions de CO<sub>2</sub>. Un accord performant pourrait être obtenu en imposant *la même* taxe d'équilibre sur le carbone à tous les pays participants, chaque pays restant libre de parvenir à une réduction optimale de ces émissions, ou en autorisant les pays à échanger librement les droits d'émission sur le marché mondial. Bien que ces deux instruments produisent chacun une version performante de l'accord du type de celui de Toronto, ils n'induisent pas la même répartition des gains et pertes entre les régions, sauf si les recettes de la taxe sont redistribuées de façon à correspondre à la règle de répartition des permis entre les pays.

Lorsque toutes les régions imposent une taxe internationale commune sur le carbone, la perte de bien-être mondiale atteint à peine 1 pour cent (valeur actualisée), soit 1¼ point de moins qu'avec un accord du type de celui de Toronto dans lequel chaque région doit effectuer des réductions spécifiques. Les réductions d'émissions sont transférées des pays dans lesquels le coût marginal est plus élevé – principalement les pays de l'OCDE et certains pays en développement semi-industrialisés – aux économies utilisant intensivement le charbon où la diminution des émissions peut être réalisée pour un coût marginal plus bas. Les pays en développement exportateurs d'énergie bénéficient de cette réaffectation, car la réduction des émissions de carbone se fait au détriment de la consommation de charbon plutôt que de pétrole. Les pays de l'OCDE contribuent moins à la réduction mondiale des émissions que dans le scénario précédent et les économies utilisant intensivement le charbon (la Chine, l'Inde, l'ex-Union soviétique et les PECO) supportent une part plus grande du fardeau de la stabilisation des émissions mondiales.

Bien qu'un accord du type de celui de Toronto qui impose une taxe sur le carbone commune à toutes les régions soit moins coûteux pour le Monde dans son ensemble, il entraîne néanmoins des pertes de bien-être importantes pour certaines régions hors OCDE. Il est peu probable que celles-ci soient disposées à appliquer un tel accord sans obtenir certaines compensations. Une solution consisterait à élargir la portée de l'accord en permettant aux pays participants d'échanger les droits d'émission. Un aspect essentiel d'un tel dispositif concernerait l'affectation initiale des droits d'émission et les modalités de sa modification ultérieure; comme le montre la simulation sur le modèle GREEN, les choix en la matière ont une incidence considérable sur la répartition des gains et des pertes liée à une allocation rationnelle des réductions des émissions de carbone entre les régions.

Le choix entre une taxe commune sur le carbone et des permis négociables dépend aussi de certains facteurs qui ne sont pas pris en compte dans le modèle GREEN, par exemple les coûts administratifs et le poids comparé des risques économiques et des risques d'environnement. Au total, ces éléments donnent à penser qu'il convient de donner la préférence à l'instrument fiscal sur le régime de permis pour que l'économie mondiale bénéficie des gains de bien-être substantiels qui découleraient, d'après les simulations sur le modèle GREEN présentées ici, de la mise en œuvre d'un accord international ayant un bon rapport coût-efficacité.

## NOTES

1. Voir Hoeller *et al.* (1991, 1992), Boero *et al.* (1991) et Cline (1992) pour une vue d'ensemble des études consacrées à l'estimation des coûts économiques de la réduction des émissions de CO<sub>2</sub>. Cline (1992) et OCDE (1992a) recensent des données beaucoup plus restreintes sur les bénéfices.
2. L'étude de Burniaux *et al.* (1992a) présente le résultat de certaines analyses de sensibilité sur le sentier de référence des émissions dans le modèle **GREEN**, avec modification des valeurs de certaines variables exogènes clefs.
3. Pour une analyse de cette question, voir Newbery (1992) et Hoeller et Coppel (1992).
4. Shah et Larsen (1991) examinent les régimes de tarification de l'énergie dans les pays en développement et soulignent que d'importantes subventions en faveur de l'utilisation de combustibles fossiles sont en vigueur dans un petit nombre de pays qui rejettent de grandes quantités de CO<sub>2</sub> dans l'atmosphère. Dans ce même numéro, Burniaux *et al.* chiffrent les niveaux des taxes et subventions dans le secteur de l'énergie en 1985 pour toutes les régions du modèle GREEN et les comparent avec les estimations correspondantes de Shah et Larsen.
5. Le profil endogène du prix du pétrole dans le modèle GREEN est très voisin du profil exogène retenu pour l'étude EMF12. Cela traduit l'importance des prix des sources d'énergie de rechange dans la formation du prix du pétrole et le fait que, dans le modèle GREEN, on a adopté les hypothèses EMF12 concernant le niveau des prix de ces sources nouvelles.
6. Le modèle GREEN a été également utilisé pour stimuler les effets d'accords entre un sous-ensemble de pays de l'OCDE agissant de manière concertée. Burniaux *et al.* (1992b) ont essayé de chiffrer les effets de la récente proposition de la Commission des Communautés européennes d'appliquer une taxe sur l'énergie associée à une taxe sur le carbone dans le but explicite de stabiliser les émissions de la Communauté en 2000 aux niveaux de 1990.
7. Voir AIE (1991a) pour une vue d'ensemble récente des engagements officiels des pays de l'OCDE en vue de faire face aux changements climatiques.
8. Étant donné que la population japonaise devrait décroître de 0.2 pour cent par an à partir de 2010, la limitation des émissions imposée au Japon est relativement plus rigoureuse que dans les autres régions de l'OCDE à la fin de la période, la population prévue en 2050 étant inférieure aux niveaux de 1990.
9. L'article de Burniaux *et al.* dans ce même numéro contient une description détaillée de cette mesure du bien-être et de son calcul dans le modèle GREEN.
10. Ce niveau est plus élevé au Japon que dans les autres régions de l'OCDE parce que la fiscalité du pétrole y est plus lourde. Plus le prix du pétrole (taxes comprises) est élevé, plus forte doit être la taxe sur le carbone ce qui fait que le combustible de synthèse cesse d'être rentable.
11. L'article de Burniaux *et al.* dans ce même numéro analyse la spécification putty/semi-putty. D'autres modèles qui ont été utilisés pour analyser le problème du changement climatique et

qui intègrent une technologie putty-clay et des technologies de rechange font également apparaître un profil en forme de bosse pour la taxe sur le carbone dans les différentes régions jusqu'en 2010. C'est le cas du modèle Global 2100 de Manne et Richels (1992a) et du modèle CRTM de Rutherford (1992). A l'évidence, l'hypothèse de prévision parfaite des agents économiques permettrait d'atténuer ce profil dans le temps. Néanmoins, le modèle Manne-Richels, qui intègre une telle hypothèse, n'en produit pas moins un profil en bosse pour la taxe sur le carbone.

12. Pour une analyse de cette question, voir Hoel (1992).
13. Une autre répartition initiale des permis négociables a été simulée sur le modèle GREEN, l'ex-Union soviétique et les PECO étant soumis aux mêmes restrictions que les régions de l'OCDE en matière de réduction des rejets de carbone. Ces deux régions ont eu de ce fait une dotation initiale plus réduite. Il en est résulté une diminution des échanges de permis et un allègement de la contribution des économies fondées sur le charbon à la réduction des émissions. La répartition des gains liés aux échanges de permis s'est également modifiée, avec un transfert au profit de la Chine à l'intérieur du bloc des régions hors OCDE. Voir Burniaux *et al.* (1992a), pour un compte rendu détaillé de cette simulation.
14. Voir Dower et Zimmerman (1992) et Oates et Portney (1991) pour une analyse du choix entre taxes et permis dans des conditions d'incertitude.
15. Berger *et al.* (1991) avancent un autre argument en faveur d'une taxe sur le carbone commune. Ils montrent que les deux instruments n'ont pas le même effet sur les prix à la production des combustibles fossiles lorsque les marchés sont en une concurrence imparfaite. Il ressort de leur analyse que, dans une situation de concurrence imparfaite, les permis négociables se traduisent en général par des prix à la production plus élevés et des pertes d'efficacité plus lourdes qu'une taxe sur le carbone commune produisant une production identique du niveau des émissions mondiales.
16. Voir OCDE (1992b) pour une vue d'ensemble des expériences nationales en matière de permis négociables.

## BIBLIOGRAPHIE

- Berger, K., O. Fimreite, R. Golombek et M. Hoel (1991), «The oil market and international agreements on CO<sub>2</sub> emissions», Oslo, Bureau central des statistiques (doc. ronéoté).
- Boero, G., R. Clarke et L.A. Winters (1991), *The Macroeconomic Consequences of Controlling Greenhouse Gases : A Survey*, Department of the Environment, *Environmental Economics Research Series*, HMSO, Londres.
- Burniaux, J.M., J.P. Martin, G. Nicoletti et J. Oliveira-Martins (1992a), « The costs of reducing CO<sub>2</sub> emissions : evidence from GREEN'», *Documents de travail du Département des Affaires économiques de l'OCDE*, n° 115 (mai).
- Burniaux, J.M., J.P. Martin, G. Nicoletti et J. Oliveira-Martins (1992b), « The costs of international agreements to reduce CO<sub>2</sub> emissions : an addendum, » *European Economy*, édition spéciale n° 1, « The economics of limiting CO<sub>2</sub> emissions », pp. 294-298.
- Cline, W.R. (1992), *The Economics of Global Warming - Institute for International Economics*, Washington, D.C.
- Dower, R.C. et M.B. Zimmerman (1992), *The Right Climate for Carbon Taxes: Creating Economic Incentives to Protect the Atmosphere*, Washington, D.C. : World Resources Institute.
- Hoel, M. (1991), « Efficient international agreements for reducing emissions of CO<sub>2</sub> », *The Energy Journal*, vol. 12, n° 2, pp. 93-107.
- Hoeller, P., A. Dean et J. Nicolaisen (1991), « Incidences macro-économiques de la réduction des émissions de gaz à effet de serre : examen de quelques études empiriques », *Revue économique de l'OCDE*, n° 16, pp. 51-90 (printemps).
- Hoeller, P., A. Dean et M. Hayafuji (1992), « New issues, new results : the OECD's second survey of the macroeconomic costs of reducing CO<sub>2</sub> emissions », *Documents de travail du Département des Affaires économiques de l'OCDE*, n° 123 (juillet).
- Hoeller, P. et J. Coppel (1992), « Energy taxation and price distortions in fossil fuel markets : some implications for climate change policies », *Documents de travail du Département des Affaires économiques de l'OCDE*, n° 110 (avril).
- Groupe d'experts intergouvernemental pour l'étude du changement climatique (GIEC) (1990), « Résumé destiné aux décideurs - évaluation scientifique de l'évolution du climat », OMM et PNUE, New York (juin).
- International Energy Agency (IEA) (1991), « Climate change policy initiatives : update », Paris (20 novembre).
- Manne, A.S. et R.G. Richels (1991), « Global CO<sub>2</sub> emission reductions - the impact of rising energy costs », *The Energy Journal*, vol. 12, n° 1, pp. 87-107.
- Manne, A.S. et R.G. Richels (1992), *Buying Greenhouse Insurance : The Economic Costs of CO<sub>2</sub> Emission Limits*, Cambridge, Mass : The MIT Press.
- Newbery, D. (1992), « Should carbon taxes be additional to other transport fuel taxes? », Department of Applied Economics, Cambridge, Royaume-Uni (janvier).

- Oates, W.E. et P.R. Portney (1991), « Carbon dioxide emissions and global warming », *Resources*, n° 103, pp. 13-16 (printemps).
- OCDE (1992a), *Réchauffement planétaire : les avantages de la réduction des émissions*, Paris.
- OCDE (1992b), *Climate Change: Designing a Tradeable Permits System*, Paris.
- Rutherford, T. (1992), « The Welfare effects of fossil carbon restrictions: results from a recursively dynamic trade model », *Documents de travail du Département des Affaires économiques de l'OCDE*, n° 112 (avril).
- Shah, A et B. Larsen (1991), « Carbon taxes, the greenhouse effect and developing countries », Rapport general pour le World Development Report 1992, Banque mondiale, Washington, D.C. (novembre).