

**COMMERCE EXTÉRIEUR ET EFFICACITÉ DES MESURES UNILATÉRALES
DE RÉDUCTION DES ÉMISSIONS DE CO₂ :
RÉSULTATS DU MODÈLE GREEN**

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

TABLE DES MATIÈRES

Introduction.....	136
I. Les principaux déterminants des « fuites de carbone,, dans le modèle GREEN.....	137
II. Effets des actions Unilatérales sur la réduction des émissions de CO ₂	138
III. Les possibilités de limiter les fuites de carbone	145
IV. Robustesse des résultats au regard de quelques paramètres-clés de GREEN.....	146
V. Conclusions	150
Bibliographie.....	153

Les auteurs adressent leur remerciements à David Grubb, Nick Vanston, Jonathan Coppel et Rosemary Clarke pour leurs très utiles commentaires. Ils souhaitent aussi remercier Laurent Moussiégt, Isabelle Wanner et Christophe Complainville pour leur assistance statistique, et Lyn Louichaoui et Brenda Livsey-Coates pour leur assistance technique.

INTRODUCTION

Même si l'effet de serre est par essence un problème planétaire, il est peu probable qu'un accord de réduction des émissions de dioxyde de carbone (CO₂) puisse intervenir en temps utile au niveau mondial, dans un élan de coopération spontanée réunissant *toutes* les régions. C'est pour cette raison et dans l'intention de préparer le terrain pour un éventuel accord mondial que certains pays peuvent être tentés de prendre des mesures unilatérales. Plusieurs propositions ont ainsi été avancées par des pays de l'OCDE, qui visent à mettre en œuvre une stratégie de réduction des émissions dans un cadre national ou régional.

Cependant, l'une des préoccupations constantes suscitées par des accords ainsi limités à un nombre restreint de pays est que les coûts qu'ils génèrent pourraient entraîner une redistribution de l'avantage comparatif entre pays, surtout dans les secteurs de production à forte intensité d'énergie'. Le débat sur les orientations à retenir s'est notamment concentré sur ce que l'on appelle en anglais « carbon leakages » (« fuites de carbone ») et que nous nous proposons d'appeler également « déplacement » des émissions. Le mécanisme de base en est très simple : le prélèvement d'une taxe sur le carbone fait passer l'avantage comparatif associé à la production de biens à forte intensité énergétique de la région qui impose cette taxe aux régions qui ne l'imposent pas. Comme ces dernières deviennent plus grosses consommatrices d'énergie, la réduction unilatérale peut ainsi avoir pour effet d'« exporter » les émissions de CO₂ vers le reste du monde.

Le processus peut emprunter différents canaux de transmission : *i*) une modification des coûts relatifs de production de biens à forte intensité d'énergie; *ii*) une variation des cours mondiaux des combustibles fossiles; *iii*) une relocalisation internationale des industries « sales ». Si l'effet de déplacement est important, il peut annihiler l'effet de réduction du niveau *global* des émissions imputable à la politique unilatérale, rendre plus difficile le ralliement des pays non participants à cette politique et réduire l'incitation à des actions unilatérales.

Afin de limiter ces effets potentiellement défavorables, on pourrait envisager, par exemple, d'adopter des mesures correctrices telles que l'exonération des industries à forte consommation d'énergie. Toutefois, l'effet de ces mesures sur le niveau des émissions est incertain et pourrait bien aller à l'encontre du but recherché².

Grâce à son traitement cohérent et détaillé des flux de commerce internationaux³, le modèle GREEN peut apporter un éclairage original sur la question des fuites de carbone. Nous donnerons d'abord quelques éléments d'information sur les principaux déterminants de cet effet dans GREEN. Puis nous présenterons une simulation des retombées de divers accords régionaux, aux termes desquels l'un ou l'autre ou

l'ensemble des pays ou régions de l'OCDE impose une taxe sur le carbone dans le but spécifique de stabiliser leurs émissions aux niveaux de **1990**, cependant que les autres régions ne prennent aucune mesure pour réduire leurs propres émissions. D'après les résultats de ces simulations, le problème du déplacement des émissions pourrait être moins grave que ne le prétendent certains observateurs. En effet, le taux de fuite maximum ne dépasse jamais **16** pour cent de la réduction initiale. Qui plus est, les pertes du niveau de production des industries à forte consommation d'énergie sont elles aussi assez modestes. Par conséquent, la portée d'une exonération des industries en question pourrait être tout à fait limitée. Dans une dernière partie, nous évaluerons la robustesse de ces deux conclusions par le biais d'une analyse de sensibilité au regard de quelques paramètres-clés du modèle.

I. LES PRINCIPAUX DÉTERMINANTS DES « FUITES DE CARBONE » DANS LE MODÈLE GREEN

Plusieurs auteurs soutiennent qu'une réduction unilatérale des émissions de CO₂ pourrait entraîner une augmentation sensible des émissions dans d'autres régions⁴. Ces fuites de carbone sont véhiculées par les flux d'échanges. Toutefois, plusieurs mécanismes d'équilibre général différents peuvent être en cause. Dans GREEN, il y a trois grands processus qui déterminent l'ampleur de l'effet et son signe⁵ :

- i)* une redistribution de l'avantage comparatif dans les secteurs de production de biens à forte intensité d'énergie ;
- ii)* des effets de revenu ;
- iii)* une variation des cours mondiaux du pétrole brut.

Le premier mécanisme passe par la variation des prix relatifs induite par la taxe sur le carbone, qui est supposée être le moyen d'action retenu pour réduire les émissions de CO₂. Les régions où la consommation d'énergie n'est pas taxée bénéficieront d'un avantage comparatif dans les secteurs de production à forte intensité d'énergie, ce qui entraînera un accroissement de leurs émissions (ou effet de déplacement positif).

Dans le deuxième cas, la restriction des émissions diminue la demande énergétique globale dans les régions importatrices d'énergie. Cela freine la croissance du revenu et de l'activité économique chez les exportateurs d'énergie. Il en résulte chez ces derniers une baisse de la demande énergétique, et donc une réduction des émissions de CO₂ (ou effet de déplacement négatif)⁶.

Le troisième processus est lié au marché mondial du pétrole. Dans GREEN, contrairement au charbon et au gaz naturel, le pétrole brut est traité comme un produit homogène dont le prix est déterminé sur le marché mondial. Ce marché est supposé fonctionner en concurrence parfaite et le cours mondial du pétrole est déterminé par les conditions de l'offre dans les pays en développement exportateurs d'énergie (essentiellement l'OPEP) ; toutes les autres régions suivent ce cours mondial.

La restriction des émissions et la diminution de la demande d'énergie qui l'accompagne vont exercer une pression à la baisse sur le cours mondial du pétrole. La baisse du prix du pétrole brut va entraîner une substitution en faveur de ce combustible dans les régions qui recourent intensivement au charbon pour satisfaire leurs besoins d'énergie: cela aura pour effet de réduire les émissions de CO₂ puisque le charbon a une teneur en carbone beaucoup plus élevée que le pétrole ou le gaz naturel. Toutefois, le prix moyen de l'énergie va baisser, ce qui augmentera la demande d'énergie dans les autres régions. Les deux effets jouent en sens opposés. Cependant, la tendance à la baisse des prix du pétrole observée au début de la période peut s'inverser par la suite si la contrainte de ressources associée aux réserves pétrolières des pays en développement exportateurs d'énergie devient active.

La variation des prix pétroliers peut aussi entraîner une substitution en faveur des combustibles de synthèse, une fois les technologies de rechange mises en œuvre. Les technologies de rechange (en anglais «backstop» technologies) sont des sources d'énergie renouvelables dont on suppose qu'elles deviendront disponibles d'ici 2010. Les combustibles obtenus sont censés avoir le même prix constant, fixé de façon exogène, dans toutes les régions'. Pour assurer la cohérence de ces hypothèses, dans GREEN la courbe d'offre de ces combustibles est parfaitement élastique et il n'y a aucune incitation à en faire l'objet d'échanges internationaux.

Le combustible de rechange le plus facilement substituable au pétrole brut est le pétrole de synthèse. En raison de sa très forte teneur en carbone, la substitution au profit du pétrole de synthèse peut avoir une très forte incidence sur les émissions. Toutefois, ce processus de substitution entre combustibles revêt moins d'importance pour l'effet de déplacement des émissions dans GREEN en raison de la très faible pénétration des énergies de rechange (y compris des combustibles de synthèse) dans la zone non OCDE. Ceci est une conséquence directe des subventions dont bénéficient actuellement les énergies conventionnelles dans cette zone⁸.

II. EFFETS DES ACTIONS UNILATÉRALES SUR LA RÉDUCTION DES ÉMISSIONS DE CO₂?

Dans cette section, nous examinerons un ensemble d'actions unilatérales visant à stabiliser les émissions à leurs niveaux de 1990 dans chaque région de l'OCDE, c'est-à-dire qu'une région spécifique – Etats-Unis, Japon, CE ou autres pays de l'OCDE – impose une contrainte mais n'est suivie par aucune autre région, à l'intérieur ou à l'extérieur de l'OCDE. Nous examinerons aussi un scénario où **toutes** les régions de l'OCDE stabilisent simultanément leurs émissions mais où aucune des autres régions du monde ne prend de mesure dans ce sens. Le moyen d'action retenu pour atteindre l'objectif de stabilisation est une taxe sur le carbone.

Avant de passer à l'analyse des retombées de ces scénarios unilatéraux, il convient de noter que même la stabilisation des émissions dans toutes les régions de l'OCDE n'aurait qu'un effet global très limité : environ 10 pour cent de réduction des

émissions mondiales en 2050 par rapport au scénario de référence. Dans ces conditions, il semble évident qu'une quelconque action Unilatérale de la part des pays de l'OCDE ne saurait avoir qu'un « effet de démonstration », en ce sens qu'en prenant les premiers des mesures, ils pourraient convaincre d'autres pays de s'associer à un accord. Cela explique pourquoi la perspective des répercussions possibles sur les flux d'échanges internationaux, et notamment des effets sur la compétitivité sectorielle d'une taxation unilatérale du carbone, pourrait largement suffire à freiner toute action unilatérale.

Le tableau 1 indique les niveaux de taxation du carbone nécessaires pour stabiliser les émissions sur la période 1990-2050. Ces niveaux sont exprimés en dollars par tonne de carbone (aux prix et aux taux de change de 1985). Dans le début de la période, c'est le Japon qui affiche les niveaux les plus élevés, les plus faibles étant ceux de la région « Autres pays de l'OCDE ». Dans toutes les régions, sauf au Japon, la taxe tend à augmenter régulièrement sur toute la période. La brusque diminution de la taxe au Japon vers 2005-2010 est induite par l'arrivée des énergies de rechange, qui viennent concurrencer les combustibles conventionnels. Ces options de repli sont très coûteuses et ne peuvent donc concurrencer les combustibles classiques que dans les régions, comme le Japon, où les prix énergétiques sont relativement élevés.

On peut expliquer la dispersion des niveaux de taxation dans les différentes régions en examinant quelques-uns de leurs déterminants essentiels⁹. La taxe tend à augmenter de façon non linéaire en fonction de la contrainte d'émissions, c'est-à-dire de l'écart entre le niveau visé et le niveau de référence. Les niveaux des prix énergétiques avant impôt et la teneur en carbone de la demande d'énergie jouent en sens opposés : l'effet de levier de la taxe sera plus important dans les pays où les prix énergétiques moyens sont les plus faibles et dont la demande d'énergie recèle une composante importante de combustibles à forte teneur en carbone¹⁰. Les possibilités globales de substitution entre les différents combustibles et entre les produits à faible et à forte intensité énergétique jouent aussi un rôle crucial dans la détermination des niveaux de taxation ; il est d'autant plus facile – et d'autant moins coûteux – d'atteindre un niveau d'émissions donné que la structure de production est plus souple.

Tableau 1. Taxes sur le carbone nécessaires pour stabiliser unilatéralement les émissions de CO₂ dans chaque région
En dollars de 1985 par tonne de carbone

	1995	2000	2005	2010	2030	2050
<i>Action unilatérale :</i>						
des États-Unis	23	43	45	62	69	70
du Japon	130	247	281	1	134	228
de la CE	26	49	50	55	68	91
des Autres pays de l'OCDE	17	32	34	59	74	95
de l'OCDE ¹	38	71	77	54	76	92

1. Toutes les régions de l'OCDE stabilisent leurs émissions mais aucune mesure comparable n'est adoptée dans le reste du monde. Le niveau de taxation indiqué est une moyenne pondérée par la part de chaque région dans le total des émissions de la zone de l'OCDE.

Afin de quantifier l'ampleur de l'effet de déplacement des émissions dans GREEN, le tableau 2 indique l'incidence de chaque scénario unilatéral sur les émissions mondiales. D'une manière générale, la réduction des émissions dans une région donnée entraîne effectivement une augmentation des émissions dans d'autres régions. Néanmoins, l'effet total peut aussi être négatif, c'est-à-dire qu'il peut y avoir une diminution nette des émissions dans certaines régions qui n'imposent pas de contrainte.

C'est en relation avec une action Unilatérale du Japon que l'on observe l'effet positif le plus marqué. A l'horizon de 1995, la stabilisation des émissions japonaises nécessite une réduction nette de 47.3 millions de tonnes de carbone par rapport au niveau de référence. Toutefois, cette réduction entraîne dans le reste du monde un accroissement net des émissions chiffré à 7.5 millions de tonnes de carbone. Par conséquent, la réduction des émissions mondiales obtenue grâce à l'action unilatérale du Japon est compensée par une augmentation à concurrence de 16 pour cent environ (c'est le « taux de fuite » de carbone).

Dans le scénario d'action unilatérale de la CE, le taux de fuite atteint 12 pour cent en 1995. L'action unilatérale des États-Unis induit l'effet de déplacement des émissions le plus faible puisque l'augmentation des émissions dans les autres régions ne dépasse jamais 5 pour cent de la réduction initiale. De plus, dans ce pays, l'effet devient négatif après 2010. La région «Autres pays de l'OCDE» occupe une position intermédiaire.

Quand les émissions sont stabilisées dans **toutes** les régions de l'OCDE en même temps, le taux de fuite tend aussi à être plus faible que dans certains des scénarios par région. Il s'agit là d'un résultat assez logique car, toutes choses égales par ailleurs, l'ampleur de l'effet de déplacement des émissions tendra à se réduire à mesure que s'agrandira le cercle des pays participant à l'accord.

Il est également intéressant d'observer l'évolution dans le temps des taux de fuite de carbone. Le taux culmine entre 1995 et 2000 suivant les régions, avant de diminuer jusqu'en 2050. Cela peut s'expliquer en partie par la spécification dynamique du modèle. Dans GREEN, la fonction de production a une structure putty/semi-putty (voir Burniaux *et al.*, 1992a) qui crée des rigidités d'ajustement, lesquelles accentuent l'effet de distorsion à court terme exercé par la taxe sur les prix relatifs. Cependant, l'évolution dans le temps de l'effet de déplacement net dépend aussi de l'équilibre entre les effets positifs et négatifs résultant des trois mécanismes décrits dans la section I.

Le tableau 3 donne la répartition régionale du déplacement des émissions, indiquant ainsi l'importance relative de chacun des canaux de transmission. Pour les quatre premiers scénarios unilatéraux, c'est entre régions de l'OCDE que l'on observe les effets positifs les plus marqués. Cela s'explique par les liens commerciaux très forts qui existent au sein de l'OCDE. Les autres effets positifs concernent l'ex-URSS et les pays d'Europe centrale et orientale (PECO) ainsi que le groupe «Autres pays en développement». Ces effets reflètent à la fois une redistribution de l'avantage comparatif dans le secteur de production de biens à forte intensité d'énergie et une baisse des cours mondiaux du pétrole. Comme prévisible, des effets négatifs, induits par des pertes de revenu, sont observés dans les pays en développement exportateurs d'énergie.

Suivant la région qui impose la restriction des émissions de CO₂, la variation du cours mondial du pétrole peut être plus ou moins marquée (voir le graphique 1). La stabilisation des émissions dans toutes les régions de l'OCDE a une très forte inci-

Tableau 2. Effets sur les émissions de CO₂ des scénarios de stabilisation unilatérale

Variations en millions de tonnes de carbone par rapport au scénario de référence

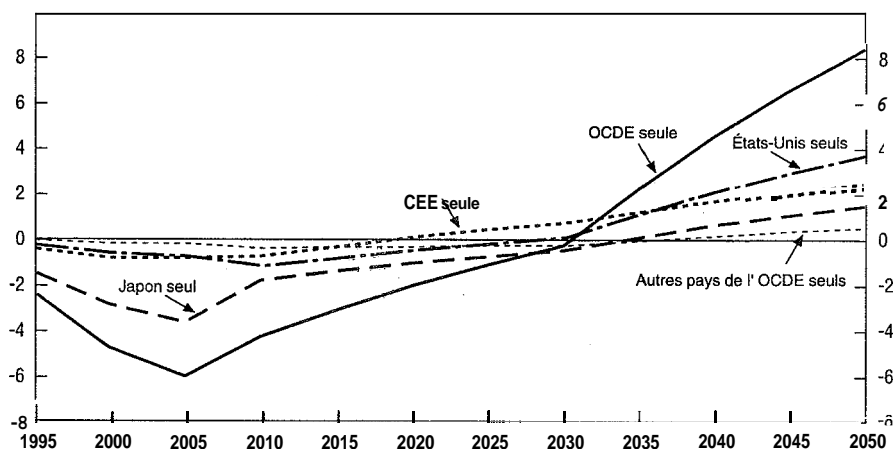
	1995	2000	2005	2010	2030	2050
<i>Action unilatérale :</i>						
des États-Unis						
Variation des émissions locales	-74.7	-156.3	-217.6	-343.4	-688.0	-996.8
Variation dans les autres pays	2.1	3.7	3.3	1.8	-4.6	-1.5
Variation nette des émissions	-72.7	-152.6	-214.3	-341.7	-692.6	-998.3
(Taux de fuite en %) ¹	2.8	2.4	1.5	0.5	-0.7	-0.2
du Japon						
Variation des émissions locales	-47.3	-99.1	-138.4	-93.5	-187.7	-419.8
Variation dans les autres pays	7.5	13.4	14.1	2.9	2.3	8.7
Variation nette des émissions	-39.9	-85.6	-124.2	-90.6	-185.4	-411.1
(Taux de fuite en %) ¹	15.8	13.5	10.2	3.1	1.2	2.1
de la CE						
Variation des émissions locales	-35.0	-70.8	-91.9	-130.1	-266.3	-467.7
Variation dans les autres pays	4.2	7.9	7.9	7.2	7.6	10.4
Variation nette des émissions	-30.9	-62.9	-84.0	-122.9	-258.6	-457.3
(Taux de fuite en %) ¹	11.9	11.2	8.6	5.5	2.9	2.2
des Autres pays de l'OCDE						
Variation des émissions locales	-15.0	-30.7	-41.5	-66.8	-142.9	-224.9
Variation dans les autres pays	1.2	2.6	2.6	3.9	4.5	1.3
Variation nette des émissions	-13.9	-28.1	-38.9	-62.9	-138.3	-223.5
(Taux de fuite en %) ¹	7.7	8.4	6.2	5.8	3.2	0.6
de l'OCDE ²						
Variation des émissions locales	-172.1	-356.9	489.2	-633.3	-1 284.8	-2 109.2
Variation dans les autres pays	5.9	8.7	4.4	-3.4	4.2	28.9
Variation nette des émissions	-166.1	-348.2	484.8	-636.6	-1 280.6	-2 080.4
(Taux de fuite en %) ¹	3.5	2.4	0.9	-0.5	0.3	1.4
<i>Pour mémoire :</i>						
Emissions mondiales dans le scénario de référence	6 374.0	7 039.7	7 653.3	8 648.6	12 791.3	18 807.7
1. Le taux de fuite est égal au rapport entre la variation des émissions dans les régions ne participant pas à l'accord et la réduction des émissions dans la ou les régions imposant des restrictions. Un signe positif indique un déplacement d'émissions au niveau mondial.						
2. Toutes les régions de l'OCDE stabilisent leurs émissions mais aucune mesure comparable n'est adoptée dans le reste du monde.						

Tableau 3. Ventilation régionale du taux de fuite de carbone dans chaque scénario unilatéral

	Action unilatérale : des États-Unis				du Japon				de la CE				des Autres pays de l'OCDE				de l'OCDE			
	2000	2010	2030	2050	2000	2010	2030	2050	2000	2010	2030	2050	2000	2010	2030	2050	2000	2010	2030	2050
OCDE	2.0	0.9	-0.3	-0.3	11.1	8.6	3.1	1.3	6.9	3.5	-0.7	-1.9	6.1	3.5	1.1	-1.6	
Ex-URSS et PECO	0.4	0.2	0.3	0.4	3.1	3.3	1.4	0.6	3.8	2.6	2.9	2.2	2.2	2.1	2.1	1.6	2.3	1.5	1.3	1.0
PVD exportateurs d'énergie	-0.4	-0.4	-0.4	-0.2	-1.7	-5.0	-2.2	-0.7	-0.7	-1.0	-0.7	-0.4	-0.3	-0.2	-0.2	0.1	-0.8	-1.3	-0.7	-0.3
Chine et Inde	-0.5	-0.9	-0.4	0.1	-2.7	-5.5	-1.9	1.3	-1.3	-1.7	0.4	1.0	-0.7	-1.0	-0.6	0.5	-1.5	-2.1	-0.8	0.1
Autres PVD	0.9	0.8	0.1	-0.1	3.8	1.7	0.9	-0.4	2.6	2.2	1.0	1.4	1.2	1.4	0.7	0.1	2.4	1.4	0.6	0.6
Total	2.4	0.5	-0.7	-0.1	13.5	3.1	1.2	2.1	11.2	5.5	2.9	2.2	8.4	5.8	3.2	0.6	2.4	-0.5	0.3	1.4

Note : La définition du taux de fuite est donnée dans le t

Graphique 1. Incidence de chaque stabilisation unilatérale sur le cours mondial du pétrole
Écarts en pourcentage par rapport au scénario de référence



dence sur le marché pétrolier. En effet, la zone de l'OCDE est le principal consommateur de pétrole dans le monde et exerce implicitement un pouvoir de monopsonne sur les prix mondiaux. Dans les premiers temps, la baisse des prix pétroliers induit une réduction nette des émissions de la Chine et de l'Inde parce que ces pays substituent alors le pétrole au charbon. Mais cet effet s'inverse après 2030, époque où la contrainte de ressources devient active dans les pays en développement exportateurs d'énergie et où le cours mondial du pétrole se trouve poussé à la hausse. Le taux de fuite de carbone augmente alors en Chine et en Inde, pour devenir positif en fin de période.

L'évolution dans le temps l'effet de déplacement des émissions est donc liée à la dynamique générée par l'épuisement des réserves de pétrole brut. Au total, compte tenu de toutes les composantes du scénario de restriction des émissions dans l'ensemble de l'OCDE, le taux de fuite culmine vers l'an 2000, puis diminue jusqu'en 2010 avant de recommencer à augmenter.

L'importance de l'épuisement du pétrole brut par rapport à la contrainte de ressources associée aux autres combustibles fossiles a une double raison : d'une part, à l'horizon du milieu du siècle prochain, GREEN suppose illimitées les ressources de charbon; d'autre part, étant donné les obstacles (liés aux coûts de transport) aux échanges de gaz naturel, ce combustible joue un rôle moins important dans la redistribution des demandes d'énergie au niveau mondial entre les régions de l'OCDE et le reste du monde.

Pertes sectorielles de production et de Compétitivité

Le tableau 4 récapitule les variations de la production dans l'industrie charbonnière et dans les industries à forte consommation d'énergie", les deux secteurs les plus vulnérables en cas de taxe sur le carbone. Par rapport au scénario de référence, les pertes de production moyennes des industries locales du charbon entre 1990 et 2050 varient de 50 pour cent aux Etats-Unis à 16 pour cent dans la région Autres pays de l'OCDE. Cette dernière étant exportatrice de charbon, sa perte de production est plus que doublée si toutes les régions de l'OCDE stabilisent leurs émissions simultanément. Cet effet négatif sur la région Autres pays de l'OCDE tient essentiellement à une réduction des importations japonaises de charbon, comme le montre le scénario où seul le Japon stabilise ses émissions. Au niveau mondial, il n'y a pas d'accroissement sensible de la production de charbon des régions hors OCDE, en raison de l'effet de substitution au profit du pétrole décrit plus haut.

L'ampleur limitée des effets de déplacement des émissions mesurés par GREEN laisse supposer que les effets sur la compétitivité sectorielle et donc les pertes de production induites dans les industries à forte intensité énergétique par la politique de réduction des émissions devraient être assez faibles. Cela tient en partie à la place limitée qu'occupe le charbon – combustible le plus lourdement frappé par une taxation du carbone – en tant que facteur intermédiaire dans les industries à forte intensité d'énergie. Le tableau 4 confirme ces résultats. En moyenne, la baisse de production

Tableau 4. **Incidence des scénarios Unilatéraux sur la production du secteur charbonnier et des industries à forte intensité d'énergie**

Variations moyennes en % par rapport au scénario de référence, 1990-2050

	Action unilatérale : des Etats-Unis	du Japon	de la CE	des Autres pays de l'OCDE	de l'OCDE
Industrie du charbon					
États-Unis	-47.0	-2.5	-1.6	-1.3	-52.7
Japon	-0.2	-40.2	-0.1	-0.1	-40.3
CE	-0.2	-0.5	-35.5	-0.5	-37.0
Autres pays de l'OCDE	-0.3	-23.6	-2.1	-15.4	-41.4
Ex-URSS et PECO	0.0	-0.7	-1.8	-1.5	-4.1
PVD exportateurs d'énergie	-1.0	-8.4	-6.4	-0.7	-16.1
Chine et Inde	-0.1	-1.2	-0.1	0.0	-1.6
Autres PVD	-0.1	-1.2	-6.9	-0.6	-8.6
Industrie à forte intensité d'énergie					
États-Unis	-1.2	0.3	0.2	0.2	-0.4
Japon	0.2	-3.8	0.2	0.1	-3.3
CE	0.2	0.3	-2.4	0.3	-1.7
Autres pays de l'OCDE	0.7	1.0	0.8	-4.2	-1.6
Ex-URSS et PECO	0.1	0.2	0.4	0.2	1.0
PVD exportateurs d'énergie	0.0	0.1	0.3	0.1	0.5
Chine et Inde	0.0	0.3	0.0	0.0	0.3
Autres PVD	0.1	0.6	0.5	0.3	1.5

dans ces secteurs se situe entre 1.2 et 4.2 pour cent dans les scénarios unilatéraux ; d'autre part, l'accroissement de la production des régions qui n'imposent pas de limitations est généralement inférieure à 1 pour cent.

III. LES POSSIBILITÉS DE LIMITER LES FUITES DE CARBONE

Pour atténuer les effets indésirables d'une action unilatérale visant à réduire les émissions de CO₂, la Commission des CE a proposé d'exonérer de la taxe les industries à forte consommation d'énergie (voir CCE, 1992). Avec GREEN, il est possible de simuler les effets d'une telle exonération. A titre d'illustration, une variante de la simulation d'action unilatérale de la CE présentée dans la section précédente a été testée, dans laquelle une exonération complète était accordée, jusqu'en 2005, aux industries à forte consommation d'énergie de la Communauté. Pour que les résultats soient comparables aux précédents, le même objectif a été retenu, à savoir la stabilisation des émissions à leur niveau de 1990 pendant toute la période. Une autre possibilité serait de maintenir la même taxe en modifiant l'objectif d'émissions. Cette deuxième solution serait plus conforme à la proposition de la Commission, laquelle ne comporte pas d'objectif implicite et impose une taxe fixe¹².

Les exonérations protègent les secteurs à forte intensité de carbone. Cependant, une telle mesure peut entraîner un accroissement des coûts globaux car les coûts marginaux de la limitation des émissions ne peuvent être égalisés pour tous les secteurs. Si cet effet néfaste se traduit par une perte de PIB plus élevée, la baisse de production induite dans les secteurs consommant beaucoup d'énergie ne peut compenser les effets de l'exonération fiscale¹³.

Les effets de l'exonération fiscale sont résumés dans le tableau 5. L'exonération des industries à forte intensité d'énergie nécessite que l'on ponctionne plus lourdement les autres secteurs et il faut donc relever le niveau d'imposition pour stabiliser les émissions. La taxe s'échelonne donc de 35 à 79 dollars par tonne de carbone entre 1995 et 2005 au lieu de passer de 26 à 50 dollars comme dans le scénario ne prévoyant pas d'exonération (voir le tableau 1). La protection des industries à forte intensité d'énergie n'a presque pas d'incidence sur le taux de fuite de carbone, celui-ci culminant en 1995 à 11.7 pour cent au lieu de 11.9 pour cent. Ce qu'il est plus intéressant de constater, c'est que l'incidence sur les pertes de production du secteur charbonnier et des industries à forte consommation d'énergie reste presque inchangée : en moyenne, les pertes de production du secteur du charbon ne sont inférieures que de 1.5 point aux résultats du tableau 4; quant aux autres industries concernées, elles affichent des pertes pratiquement identiques.

Tableau 5. Incidence des exonérations fiscales sur les industries à forte intensité d'énergie dans le scénario d'action Unilatérale de la CE¹

	1995	2000	2005	2010	2030	2050
Taxe sur le carbone ²	35	71	79	59	69	91
Taux de fuite de carbone ³	11.7	11.1	8.6	5.8	2.5	1.8
Incidence sectorielle	Variations moyennes par rapport au scénario de référence, en %, 1990-2050					
Industrie du charbon			-34.0%			
Industries à forte intensité d'énergie			-2.5%			

1. Stabilisation des émissions aux niveaux de 1990 dans la CE seulement.
2. En dollars des États-Unis de 1985 par tonne de carbone.
3. La définition du taux de fuite est donnée dans le tableau 2.

IV. ROBUSTESSE DES RÉSULTATS AU REGARD DE QUELQUES PARAMÈTRES-CLÉS DE GREEN

Les simulations sur le modèle GREEN indiquent que les déplacements d'émissions associés à des restrictions unilatérales sont tout à fait limités et peuvent même diminuer avec le temps. Toutefois, quand on compare ces résultats avec ceux que donnent certains autres modèles d'équilibre général appliqués pour étudier la question du CO₂, on n'observe pas de convergence des résultats quant à la taille et au profil des fuites de carbone. Ainsi, le modèle CRTM fait généralement apparaître des déplacements importants d'émissions en cas d'action unilatérale (voir Rutherford, 1992). Dans ce dernier modèle, le taux de fuite peut atteindre 30 pour cent des réductions d'émissions dans la zone de l'OCDE en l'an 2000, avant de diminuer de façon continue jusqu'en 2050. Par ailleurs, dans un récent article, Manne et Rutherford (1992) aboutissent à une conclusion similaire en ce qui concerne l'ampleur de l'effet, même si le profil est assez différent de celui que l'on obtient avec le modèle CRTM.

Pour éclaircir les raisons de ces divergences, on a procédé à une étude de sensibilité sur quelques paramètres-clés. Parmi les nombreux paramètres exogènes de GREEN, on a retenu deux ensembles d'éléments particulièrement susceptibles d'influer sur le niveau du taux de fuite : *i*) les élasticités de substitution entre produits locaux et produits importés (les élasticités dites d'Armington) et *ii*) les élasticités de l'offre des combustibles fossiles.

Comme les effets de déplacement des émissions se transmettent au travers des liens commerciaux entre les régions, il est possible que l'effet soit d'autant plus marqué

que les élasticités-prix des flux d'échanges sont plus fortes. GREEN incorpore l'hypothèse habituelle d'Armington concernant la différenciation des produits par région de production. Une telle spécification implique que chaque pays fait face à une courbe de demande spécifique pour ses exportations. La réaction des flux d'échanges à des variations des prix relatifs sous l'hypothèse d'Armington est forcément moins prononcée que dans un cadre – tel le modèle classique d'Heckscher-Ohlin – où les produits de différentes provenances sont considérés comme des substituts parfaits (de sorte que les élasticités des flux d'échanges sont pratiquement infinies).

Un autre paramètre-clé est l'élasticité de l'offre des combustibles fossiles. A la limite, si l'offre de combustibles fossiles est parfaitement inélastique, les prix vont baisser afin de maintenir les niveaux de production et, au niveau mondial, le taux de fuite de carbone pourrait atteindre pratiquement 100 pour cent. Comme on l'a vu ci-dessus, il existe une forte interaction entre le cours mondial du pétrole et la configuration de la demande d'énergie dans les régions hors OCDE, en particulier en ce qui concerne la consommation de charbon. C'est pourquoi il semblait important d'évaluer la robustesse des résultats de GREEN au regard des élasticités de l'offre du charbon et du pétrole, à la fois séparément et conjointement. De façon plus spécifique deux questions ont été posées dans le cadre de l'analyse de sensibilité :

- Quel est le rôle des élasticités de l'offre des combustibles fossiles par rapport aux élasticités des flux d'échanges?
- Quels sont les rôles respectifs des élasticités de l'offre du charbon et du pétrole brut?

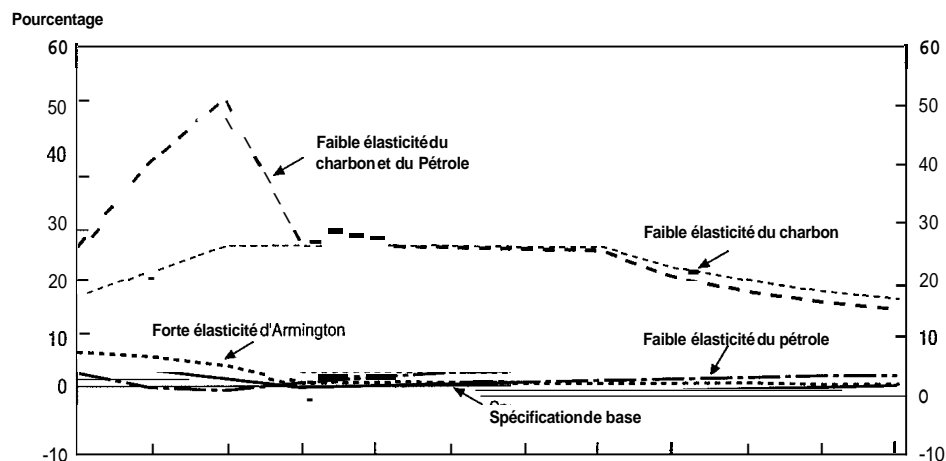
Les variantes suivantes ont été examinées :

- A. *Faible élasticité de l'offre de pétrole brut dans les pays en développement exportateurs d'énergie.* Ce paramètre a été fixé à 0.1 pour toute la période (dans la spécification standard de GREEN, cette élasticité diminue progressivement, de 3 à 1, sur la période 1990-2050).
- B. *Faible élasticité de l'offre de charbon.* L'élasticité de l'offre de charbon a été fixée à 0.1 dans toutes les régions (dans la spécification standard, l'élasticité à la hausse s'établit entre 4 et 5 et l'élasticité à la baisse est infinie).
- C. *Faibles élasticités de l'offre pour le pétrole brut et le charbon.* Les deux paramètres sont fixés à 0.1.
- D. *Fortes élasticités d'Armington dans /es secteurs non énergétiques.* Les élasticités de substitution entre produits locaux et produits importés et entre produits importés de provenances différentes ont été multipliées par trois dans toutes les régions (dans la spécification standard de GREEN, elles s'établissent respectivement entre 2 et 3 et entre 3 et 4).

Ces variantes ont été testées dans le cas d'une stabilisation unilatérale des émissions dans *toutes* les régions de l'OCDE. Les taux de fuite de carbone obtenus pour chaque simulation sont présentés dans le graphique 2. Le tableau 6 montre l'incidence sur les taux de fuite selon les régions, avec la même ventilation que dans le tableau 3.

La première chose que l'on observe est que le paramètre essentiel semble être l'élasticité de l'offre de charbon. Avec une faible élasticité de l'offre de charbon (scénario B), le taux de fuite atteint un maximum d'environ 26 pour cent de la réduction initiale en 2010 alors qu'il est pratiquement nul avec la spécification standard. Dans le cas où seule l'élasticité de l'offre de pétrole brut diminue (scénario A), le taux augmente

**Graphique 2. Taux de fuite de carbone sous diverses spécifications
Scénario d'action unilatérale de la zone OCDE**



légèrement en fin de période, de 1.4 à 3.2 pour cent. Toutefois, si l'on réduit les deux élasticités à la fois (scénario C), l'élasticité de l'offre de pétrole brut s'avère exercer une forte influence sur l'évolution de l'effet de déplacement des émissions en début de période. Dans ce cas, en effet, le taux de fuite de carbone dépasse 50 pour cent en 2005, ce qui annule une large part des conséquences bénéfiques d'une action unilatérale des pays de l'OCDE.

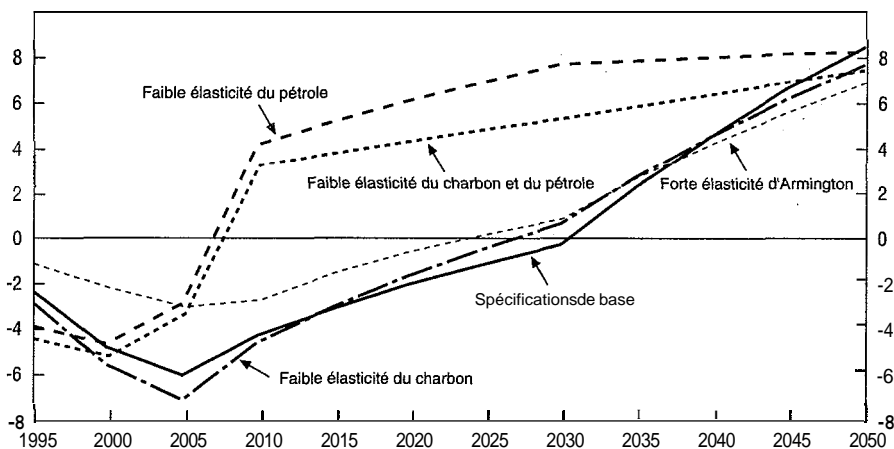
De plus, avec une faible élasticité de l'offre de charbon, les effets de déplacement négatifs tendent à disparaître dans toutes les régions (tableau 6). Les effets de revenu et de substitution qui, dans les cas précédents, entraînaient une réduction nette des émissions dans certaines régions ne suffisent plus jamais à compenser l'accroissement de consommation de charbon : étant donné la rigidité de la courbe de l'offre, le prix du charbon s'effondre dans toutes les régions extérieures à l'OCDE. L'effet est amplifié dans le scénario C, où l'offre de pétrole est elle aussi très peu élastique. Comme le montre le graphique 3, dans ce cas, le cours mondial du pétrole s'envole entre 2000 et 2010, ce qui « force » des effets de substitution supplémentaires en faveur du charbon. Le profil très particulier du taux de fuite de carbone dans le scénario C – avec un fort décrochage entre 2005 et 2010 – est une conséquence de l'arrivée des combustibles de rechange qui viennent concurrencer les combustibles classiques. Les combustibles de rechange sont disponibles à prix fixes et en quantités pratiquement illimitées, de sorte qu'ils peuvent freiner la montée des prix pétroliers, ce qui réduit l'effet de substitution au profit du charbon dans les régions hors OCDE.

La simulation supposant de fortes élasticités des flux d'échanges (scénario D) montre que, si l'on multiplie ces paramètres par trois, le taux de fuite culmine à 6.8 au lieu de 2.4 pour cent avec la spécification standard¹⁴ : c'est peu comparé à l'incidence d'une diminution de l'élasticité de l'offre de charbon sur l'effet de déplacement des émissions. Ce résultat permet d'éliminer la thèse selon laquelle le choix d'Armington et

Tableau 6. Analyse de sensibilité : ventilation régionale du taux de fuite de carbone sous diverses spécifications
 Toutes les régions de l'OCDE stabilisent leurs émissions aux niveaux de 1990

	Spécification de base				Forte élasticité de l'offre de pétrole (A)				Forte élasticité de l'offre de charbon (B)				Forte élasticité de pétrole et charbon (C)				Forte élasticité d'Armington			
	2000	2010	2030	2050	2000	2010	2030	2050	2000	2010	2030	2050	2000	2010	2030	2050	2000	2010	2030	2050
Ex-URSS et PECO	2.3	1.5	1.3	1.0	0.6	1.4	1.2	0.8	8.6	9.5	9.0	4.0	13.2	7.9	5.6	2.8	3.3	2.2	1.8	1.0
PVD exportateurs d'énergie	-0.8	-1.3	-0.7	-0.3	-0.1	-0.5	0.2	0.4	1.3	0.9	1.9	0.7	5.2	2.5	2.2	1.0	0.8	-0.6	-0.1	-0.2
Chine et Inde	-1.5	-2.1	-0.8	0.1	-2.8	-1.3	0.3	1.0	4.5	7.0	7.0	6.4	9.2	8.5	9.4	5.5	-0.2	-0.9	-0.4	0.5
Autres PVD	2.4	1.4	0.6	0.6	1.8	0.5	0.7	1.0	7.4	8.6	7.6	5.7	12.5	7.6	7.6	5.5	2.9	1.7	0.8	0.6
Total	2.4	-0.5	0.3	1.4	-0.5	0.2	2.5	3.2	21.7	26.1	25.5	16.7	40.2	26.5	24.8	14.8	6.8	2.5	2.1	2.0

Note : La définition du taux de fuite est donnée dans le tableau 2.



non d'Heckscher-Ohlin pour la spécification des courants d'échanges serait une source majeure de divergence dans les effets de déplacement des émissions. En revanche, le choix des élasticités de l'offre des combustibles fossiles s'avère crucial.

La spécification standard de GREEN suppose une valeur assez élevée (entre 4 et 5) de l'élasticité de l'offre de charbon dans toutes les régions. La validité de cette hypothèse est vérifiée par l'observation empirique rétrospective du marché du charbon. En effet, le prix du charbon est resté assez stable au cours des dernières décennies, malgré une augmentation régulière de la consommation (AIE, 1992). Cela plaide en faveur d'une élasticité assez forte de l'offre de charbon, d'où l'on peut déduire que les résultats obtenus avec la spécification standard concordent avec la structure effective du marché du charbon au niveau mondial.

V. CONCLUSIONS

A priori, une action unilatérale de restriction des émissions de CO₂ peut à la fois avoir des effets indésirables sur les émissions des autres pays – c'est l'effet de déplacement des émissions ou « fuites de carbone » – et entraîner une redistribution de l'avantage comparatif sectoriel. Toutefois, d'après les simulations effectuées sur le modèle GREEN, ces effets pourraient s'avérer limités. **De fait**, le taux de fuite de

carbone simulé ne dépasse jamais **16** pour cent de la réduction initialement obtenue dans une région. En présence d'effets aussi restreints, la nécessité d'une quelconque mesure de correction de la politique de limitation des émissions, l'exonération de taxe par exemple, se trouverait largement réduite.

Afin de tester la solidité de ces résultats, une analyse de sensibilité au regard de certains paramètres-clés de GREEN a été effectuée. Il en ressort notamment que l'ampleur de l'effet de déplacement des émissions dépend beaucoup de l'hypothèse retenue concernant l'élasticité de l'offre de charbon et, dans une moindre mesure, de l'hypothèse correspondante pour le pétrole brut. Pour une faible valeur (**0.1**) de ces deux élasticités, le taux de fuite peut atteindre 50 pour cent de la réduction initialement obtenue dans les régions de l'OCDE, résultat qui concorde à peu près avec ceux d'autres analystes.

Néanmoins, compte tenu du comportement effectif des prix mondiaux du charbon au cours des dernières décennies, une élasticité aussi faible paraît bien peu plausible. Aussi, en l'absence de fortes présomptions de futurs changements structurels au sein du marché du charbon, une réduction unilatérale des émissions de CO₂ ne devrait entraîner qu'un effet de déplacement des émissions assez limité.

NOTES

1. Cette préoccupation n'est toutefois étayée par aucune observation empirique fondée sur des précédents. Voir, par exemple, Tobey (1990).
2. Au stade actuel du débat autour de ces questions, récemment passées en revue par Anderson et Blackhurst (1992), une évaluation empirique sérieuse apparaît nécessaire.
3. On trouvera une description technique complète du modèle GREEN dans Burniaux *et al.* (1992a).
4. Voir Bergman (1991), Perroni et Rutherford (1991), Pezzey (1991), Rutherford (1992) et Manne et Rutherford (1992). Winters (1992) fait une revue de littérature sur cette question.
5. Les spécifications actuelles de GREEN n'incluent pas la mobilité internationale des capitaux, ce qui signifie qu'un des supports possibles de l'effet de déplacement des émissions – la relocalisation internationale des industries « sales » – ne peut être pris en compte. Toutefois, dans un cadre de concurrence parfaite comme celui de GREEN, ce n'est peut-être pas un inconvénient majeur, car les échanges de biens peuvent toujours être considérés comme un substitut de la mobilité internationale des facteurs. Dans un contexte de concurrence imparfaite ou de comportement stratégique, il en irait autrement (ce point est examiné dans Ulph, 1992 et dans Horton *et al.*, 1992).
6. Il y a aussi un effet de réduction sur les échanges d'autres biens, car les exportateurs d'énergie vont aussi réduire leurs importations non énergétiques en provenance d'autres régions. Il s'agit cependant d'un effet de second ordre sur les émissions.
7. Il s'agit là d'une hypothèse simplificatrice généralement retenue (Manne et Richels, 1992).
8. La suppression de ces subventions pourrait avoir un effet très marqué sur la configuration de la demande énergétique dans les régions extérieures à l'OCDE. Ce point est examiné dans Burniaux, Martin et Oliveira-Martins (1992b).
9. On trouvera dans Oliveira-Martins *et al.* (1992) une analyse exhaustive des déterminants de la taxe sur le carbone dans GREEN.
10. C'est le charbon qui présente la teneur en carbone la plus forte.
11. Dans GREEN, les industries à forte consommation d'énergie regroupent les classes suivantes de la CITI : Fabrication de papier et d'articles en papier (CITI 341), Produits chimiques (CITI 351 et 352), Sidérurgie (CITI 371) et Métaux non ferreux (CITI 372).
12. Nicoletti et Oliveira-Martins (1992) évaluent les effets globaux de la proposition de la Commission des CE.
13. Néanmoins, on notera que pour réduire au minimum l'effet de déplacement des émissions par le biais de l'exonération fiscale, il faut un ciblage précis des industries. Par conséquent, une évaluation de cette question exigerait un traitement beaucoup plus détaillé que ne le permet le secteur agrégé des industries à forte intensité énergétique de GREEN.
14. Des simulations supplémentaires avec une maquette réduite de GREEN montrent que ce résultat résiste à de nouvelles augmentations des élasticités des échanges. Les auteurs communiqueront sur demande les résultats de ces simulations, qui ne sont pas présentés ici.

BIBLIOGRAPHIE

- AIE (1992), *Coal Information 7992*, OCDE, Paris.
- Anderson, K. et R. Blackhurst (dir. publ.) (1992), *The Greening of World Trade Issues*, Harvester Wheatsheaf.
- Bergman, L. (1991) « Carbon taxation in a small open economy : independent vs. coordinated policies », miméo.
- Burniaux, J.-M., J.-P. Martin, G. Nicoletti et J. Oliveira-Martins (1992), « GREEN : a multi-sector, multi-region, dynamic general equilibrium model for quantifying the costs of curbing CO₂ emissions : a technical manual », *Documents de travail du Département des Affaires économiques de l'OCDE*, n° 116 (mai).
- Burniaux, J.-M., J.-P. Martin, et J. Oliveira-Martins (1992), « Incidence des distorsions affectant les marchés de l'énergie sur les coûts des mesures de réduction des émissions de CO₂ : résultats des simulations sur le modèle GREEN », *Revue économique de l'OCDE*, n° 19 (automne).
- Commission des Communautés européennes (CCE) (1992), « Le défi climatique : aspects économiques de la stratégie communautaire proposée pour limiter les émissions de CO₂ », *Economie européenne*, n° 51 (mai).
- Horton, G. R., J. M. C. Rollo et A. Ulph (1992), « The implications for trade of greenhouse gas emission control strategies », *Environmental Economics Research Series*, U.K. Department of Trade and Industry.
- Manne, A. et R. G. Richels (1992), *Suying Greenhouse Insurance : the Economic Costs of CO₂ Emission Limits*, Cambridge, The MIT Press.
- Manne, A. et T. Rutherford (1992), « International trade in oil, gas and carbon emission rights - an intertemporal model », University of Stanford, miméo.
- Nicoletti, G. et J. Oliveira-Martins (1992), « Global effects of the European carbon tax », dans C. Carraro et D. Siniscalco (dir. publ.), *The European Carbon Tax : An Economic Assessment*, Kluwer Academic Press (à paraître).
- Oliveira-Martins, J., J.-M. Burniaux, J.-P. Martin et G. Nicoletti (1992), « The costs of reducing CO₂ emissions : a comparison of carbon tax curves with GREEN », *Documents de travail du Département des Affaires économiques de l'OCDE*, n° 118 (juillet).
- Perroni, C. et T. Rutherford (1991), « International trade in carbon emissions rights and basic materials : general equilibrium calculations for 2020 », miméo.
- Pezzey, J. (1991), « Impacts of greenhouse gas control strategies on the competitiveness of the U.K. economy : a survey and exploration of the issues », Rapport pour le U.K. Department of Trade and Industry.
- 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).

- Tobey, James A. (1990), « The effects of domestic environmental policies on patterns of world trade : an empirical test,, *Kyklos*, vol. 43, pp. 191-209.
- Ulph. A. (1992), « Environmental policy, plant location and government protection», présenté à la Conférence « International Dimension of Environmental Policy», Milan (22-24 octobre).
- Winters, L. A. (1992), « The trade and welfare effects of greenhouse gas abatement : a survey of empirical estimates», dans K. Anderson et R. Blackhurst (dir. publ.) *The Greening of World Trade Issues*, Harvester Wheatsheaf.