

Allocation des efforts de dépollution dans des économies avec spécialisation internationale

Marc Germain*
Philippe Monfort**
Thierry Bréchet***

L'allocation des efforts de dépollution, par exemple dans le cadre du Protocole de Kyoto, suscite de vives discussions sur la question de savoir qui (quel pays ou quelle région) devrait supporter un effort plus ou moins important. Dans le cadre d'un modèle à facteurs spécifiques reflétant la spécialisation internationale, nous montrons qu'il est impossible de concevoir un scénario de réduction de pollution entre pays ou régions qui soit à la fois efficace et équitable en l'absence de transferts.

BURDEN SHARING IN POLLUTION ABATEMENT EFFORTS
IN ECONOMIES WITH INTERNATIONAL SPECIALIZATION

The burden sharing of pollution abatement costs, e.g. in the Kyoto protocol context, raises the debated question to know who (which country or which region) should bear what cost. With a model of specific factors reflecting international specialization, we show that it is impossible to abate pollution across countries or regions while meeting both efficiency and equity in the absence of transfers.

Classification JEL : F18, H23, Q25, D63

INTRODUCTION

L'allocation de permis d'émission, notamment celle s'inscrivant dans le cadre du Protocole de Kyoto pour six gaz à effet de serre (GES), a suscité (et suscite toujours) de vives discussions politiques sur la question de savoir qui (quel pays

* CORE et Département d'Économie, Université catholique de Louvain, Voie du Roman Pays 34, B-1348, Louvain-la-Neuve, Belgique. Courriel : germain@core.ucl.ac.be (auteur correspondant).

** Département d'Économie, Université catholique de Louvain, Place Montesquieu 3, B-1348, Louvain-la-Neuve, Belgique. Courriel : monfort@ires.ucl.ac.be

* CORE et IAG, Chaire Lhoist Berghmans, Université catholique de Louvain, Voie du Roman Pays 34, B-1348 Louvain-la-Neuve, Belgique. Courriel : brechet@core.ucl.ac.be.

Cet article a été écrit dans le cadre du projet de recherche « GreenMod II : un modèle dynamique multisectoriel régional et global de l'économie belge pour des analyses d'impacts, de scénarios et d'équité », financé par la Politique scientifique fédérale belge (PADD II, projet CP/10/512). Les auteurs souhaitent remercier les deux rapporteurs anonymes de la *Revue économique* pour leurs commentaires.

ou quelle région) devrait supporter un effort plus ou moins important et quelle serait la manière adéquate de distribuer les quotas de permis entre les entités affectées par le Protocole. En Belgique, État fédéral comportant trois régions (la Flandre, la Wallonie et la région de Bruxelles-Capitale), le débat a opposé en particulier les régions flamande et wallonne. Par rapport aux autres régions, la Région wallonne est en effet caractérisée par une industrie davantage consommatrice d'énergie. La Flandre voulait donc voir le gros de l'effort de réduction des émissions se concentrer en Wallonie (là où les réductions d'émission sont présumées les moins chères), tandis que la Wallonie estimait qu'une telle solution lui aurait été par trop défavorable. Au Canada, certaines provinces, dont l'Alberta qui concentre nombre d'activités émettrices de GES¹, se sont fermement opposées à la ratification du Protocole de Kyoto par ce pays (Nolet et Blais [2002])².

Or, dans le cadre du débat sur le partage de la charge, il importe de souligner que le fait que les activités d'un pays (ou région) soient davantage consommatrices d'énergie ne résulte pas forcément de leur inefficacité. Il peut aussi résulter de la spécialisation de ce pays dans la production de biens relativement exigeants en énergie pour leur fabrication, spécialisation elle-même conditionnée par ses avantages comparatifs, et dont l'exploitation à travers l'échange est susceptible de bénéficier aux différents pays participant à ce dernier.

Plusieurs contributions ont éclairé cette question du partage de la charge entre pays ou régions. Philipsen *et al.* [1998] et Groenenberg *et al.* [2001] utilisent une approche sectorielle tenant compte de différences dans les caractéristiques nationales, telles que la population, la croissance, le niveau de vie, la structure économique et la composition du vecteur énergétique utilisé pour la production d'électricité. Malgré leur intérêt en termes d'aide à la décision, ces études sont cependant limitées par le fait qu'elles constituent des analyses d'équilibre partiel et ne conviennent donc pas pour l'évaluation des impacts de critères de partage de la charge sur le revenu (national ou régional) des parties concernées³. Différentes contributions (à l'exemple de Antweiler *et al.* [2001], Copeland et Taylor [2001, 2003], Chander et Kahn [1998], et nombre d'articles repris dans Batabyal et Beladi [2001]) sont instructives pour se soustraire à ces problèmes. Celles-ci ne visent cependant pas tant à répondre à la question du partage équitable de la charge qu'à contribuer au débat autour des conséquences du commerce international sur l'environnement⁴.

1. Selon les projections du GAM (Groupe d'analyse et de modélisation), un groupe de travail d'analyse fédéral-provincial-territorial du Canada, l'Alberta sera la province qui émettra le plus de GES en 2010 (GAM [2002]).

2. Le Canada a cependant finalement ratifié le Protocole de Kyoto en décembre 2002.

3. Ces critères de partage de la charge en termes de bien-être ou de revenu (*outcome based criteria*) se distinguent des critères en termes d'allocation de permis (*allocation based criteria*). Ces derniers critères sont les seuls utilisables en l'absence d'un cadre d'équilibre général. Voir Rose *et al.* [1998] pour une classification de différents critères d'équité en matière de partage de l'effort de réduction dans le domaine du changement climatique.

4. Si d'aucuns soulignent les avantages que les pays concernés peuvent obtenir par la spécialisation et l'échange (notamment *via* l'exploitation des avantages comparatifs ou des rendements d'échelle), d'autres mettent en avant certains effets pervers du commerce international sur l'environnement : spécialisation de certains pays dans des activités particulièrement polluantes, commerce de substances dangereuses (dont des déchets), abaissement des normes nationales en matière environnementale pour attirer les investissements étrangers.

De ce point de vue, la contribution de Copeland et Taylor [2003] est intéressante à plus d'un titre. Dans le cadre d'un modèle à la Hecksher-Ohlin, ils mettent en évidence les effets d'une réduction d'émission et montrent que les résultats obtenus sont sensiblement différents de ceux dérivés sans tenir compte du commerce international. En particulier, leurs résultats montrent que, contrairement au cadre d'économie fermée, il peut exister une infinité de manières efficaces de réduire les émissions polluantes, ce qui ouvre la possibilité de prendre en compte des aspects distributifs et/ou d'équité sans pour autant devoir renoncer à atteindre une allocation optimale des facteurs de production.

En voulant contribuer au débat autour du partage de l'effort de réduction des émissions polluantes, la présente contribution se rapproche de Phylipsen *et al.* [1998] et de Groenbergh *et al.* [2001]. En revanche, par son approche en terme d'équilibre général, elle se situe plutôt dans le deuxième courant de littérature mentionné ci-dessus. Le modèle de petite économie ouverte multirégionale développé dans cet article présente toutefois certaines particularités, notamment par rapport à celui utilisé par Copeland et Taylor [2003]. Le choix s'est porté sur un modèle à *facteurs spécifiques* pour les raisons suivantes : (i) le modèle correspond davantage à une analyse de court terme et semble donc un complément naturel à celui évoqué ci-dessus, (ii) il ne mène pas à une égalisation du prix des facteurs et permet donc de décrire des effets prix qui ne peuvent pas être capturés par un modèle à la Hecksher-Ohlin et (iii) il est particulièrement approprié pour mettre en exergue des effets d'une politique de réduction des émissions se différenciant d'un secteur industriel à l'autre, ce qui se révélera précieux pour notre analyse. Ce cadre permet de mettre en lumière l'impact des réductions d'émissions sur le système de prix. Un tel effet est des plus probables dans la réalité et constitue un autre canal important au travers duquel les performances économiques devraient être affectées par ces réductions. Dans ce contexte, et contrairement à Copeland et Taylor [2003], le problème de la réduction efficace des émissions polluantes n'admet pas une infinité de solution et la présente contribution étend donc l'analyse (i) en abordant la question d'un éventuel arbitrage entre efficacité et équité des politiques de réduction de la pollution¹ et (ii) en considérant différents scénarios qui nous semblent à même de représenter la réalité institutionnelle d'un cadre multirégional. En l'occurrence, nous montrons qu'il est impossible de concevoir un scénario de réduction de la pollution entre pays ou régions qui soit à la fois efficace et équitable en l'absence de transferts. Ce résultat est dû à l'existence de facteurs de production spécifiques aux secteurs d'activité.

Cet article s'organise de la façon suivante. La section 1 présente le modèle d'une petite économie ouverte divisée en deux régions, avec deux secteurs d'activité et trois facteurs de production (l'énergie et deux facteurs spécifiques à chacun des deux secteurs). La section 2 rassemble quelques résultats préliminaires utiles pour l'analyse des scénarios de réduction des émissions présentés dans les sections suivantes. La section 3 envisage la situation où l'effort de réduction prend place dans un cadre strictement national. On y analyse différents scénarios de partage de l'effort entre les deux régions : (i) un scénario de

1. Dans le cadre du présent article, une politique est dite efficace quand les coûts de réduction des émissions sont minimisés. Elle est dite équitable quand elle affecte le bien-être des agents (pays ou régions) d'une façon uniforme (*cf. infra*).

réduction proportionnelle qui prévoit une même réduction relative des émissions régionales ; (ii) un scénario de réduction *optimal* qui suppose que l'effort national se réalise au moindre coût, chaque région assumant elle-même la part de la charge que lui impose l'objectif national ; (iii) un scénario *d'égal sacrifice*, avec transfert interrégional, construit de telle façon que les impacts en termes de perte de revenu soient identiques à travers les régions. La section 4 reconsidère les scénarios précédents dans le contexte où existe un marché international de permis d'émission négociables, tel que celui récemment mis en place au niveau européen pour différents GES émis par certaines activités industrielles. La conclusion résume les principaux résultats.

LE MODÈLE

On considère deux secteurs de production $i = 1, 2$ caractérisés par les fonctions de production suivantes :

$$Y_1 = f_1(E_1, F) \quad (1)$$

$$Y_2 = f_2(E_2, G) \quad (2)$$

où E_i est l'énergie consommée par le secteur i , et F et G sont deux facteurs agrégeant tous les autres facteurs non énergétiques (travail, capital humain, infrastructures, ressources naturelles, tradition industrielle, ...) et respectivement spécifiques aux secteurs 1 et 2. Afin de simplifier les notations, E désignera à la fois la consommation énergétique et les émissions polluantes¹. Ces deux fonctions sont supposées homogènes de degré 1, ce qui permet de les réécrire :

$$Y_1 = F y_1(\varepsilon_1) \quad (3)$$

$$Y_2 = G y_2(\varepsilon_2) \quad (4)$$

où $\varepsilon_1 = E_1/F$ et $\varepsilon_2 = E_2/G$ sont les rapports énergie/autres facteurs des secteurs 1 et 2. Les fonctions y_i ($i = 1, 2$) sont strictement croissantes ($y_i' > 0$) et concaves ($y_i'' < 0$) sur R .

On distingue par ailleurs deux régions, V et W , faisant partie de la même entité nationale. Ces deux régions produisent les deux biens, 1 et 2, au moyen de technologies identiques décrites par les fonctions de production (3) et (4), et en utilisant leurs dotations de facteurs spécifiques F_j et G_j ($j = V, W$) supposées constantes et strictement positives.

L'énergie est entièrement importée au prix q . Le pays échange les produits 1 et 2 aux prix p_1 et p_2 avec le Reste du Monde et est supposé price-taker sur les marchés internationaux. q, p_1, p_2 sont donc exogènes. En revanche, les facteurs spécifiques F et G ne sont pas parfaitement mobiles (y compris entre régions) et leurs prix respectifs r_F et r_G sont endogènes.

La fiscalité sur l'énergie dépend du contexte institutionnel envisagé et sera détaillée par la suite. À ce stade, on se contentera de préciser que la fiscalité

1. Ce qui revient à supposer une relation de proportionnalité entre consommation énergétique et émissions polluantes.

caractérisant la situation de départ, c'est-à-dire *avant* l'effort de réduction des émissions, est supposée affecter de façon uniforme tous les acteurs du pays (secteurs et régions). Soit h le prix total (c'est-à-dire fiscalité comprise) *initial* de l'énergie commun aux deux régions. Le niveau initial de la fiscalité est donc $h - q$.

Dans un contexte de concurrence parfaite, les firmes minimisent leurs coûts de production. Dans le cas de la firme représentative du secteur 1 et de la région W, le problème s'énonce :

$$\min_{\epsilon_{W1}, F_W} [h\epsilon_{W1} + r_{FW}]F_W \quad \text{s.c.q.} \quad Y_{W1} = F_W y_1(\epsilon_{W1}) \quad (5)$$

où $\epsilon_{W1}F_W = E_{W1}$ est l'énergie consommée par cette firme et r_{FW} est la rémunération du facteur F au sein de la région W. Les conditions du premier ordre conduisent à :

$$\lambda y_1'(\epsilon_{W1}) = h \quad (6)$$

$$\lambda [y_1(\epsilon_{W1}) - \epsilon_{W1} y_1'(\epsilon_{W1})] = r_{FW} \quad (7)$$

où λ est le multiplicateur de la contrainte dans le lagrangien associé au problème (5).

L'hypothèse de concurrence parfaite implique que les profits soient nuls. Cela suppose pour les firmes du secteur 1 et de la région W que :

$$p_1 Y_{W1} = [h\epsilon_{W1} + r_{FW}]F_W \quad (8)$$

qui implique, après usage de la contrainte du problème (5), que :

$$p_1 y_1(\epsilon_{W1}) = h\epsilon_{W1} + r_{FW} \quad (9)$$

La substitution de (6) et (7) dans la condition précédente conduit à $\lambda = p_1$ et aux relations suivantes :

$$h = p_1 y_1'(\epsilon_{W1}) \quad (10)$$

$$\frac{r_{FW}}{h} = \frac{y_1(\epsilon_{W1})}{y_1'(\epsilon_{W1})} - \epsilon_{W1} \quad (11)$$

Ces deux équations permettent de calculer l'intensité énergétique ϵ_{W1} et la rémunération du facteur F, r_{FW} , en fonction de h et p_1 .

Des équations similaires à (10) et (11) peuvent être déduites pour l'autre secteur et/ou région. En les rapprochant, et en observant que les prix h , p_1 , p_2 ne dépendent pas des régions, il découle que les intensités énergétiques et les rémunérations des facteurs spécifiques s'égalisent entre régions. Autrement dit, on obtient que $\epsilon_{Vj} = \epsilon_{Wj} = \epsilon_j$ ($j = 1, 2$), $r_{FV} = r_{FW} = r_F$, $r_{GV} = r_{GW} = r_G$, avec en résumé :

$$h = p_i y_i'(\epsilon_i), \quad i = 1, 2 \quad (12)$$

$$\frac{r_F}{h} = \frac{y_1(\epsilon_1)}{y_1'(\epsilon_1)} - \epsilon_1 \quad (13)$$

$$\frac{r_G}{h} = \frac{y_2(\epsilon_2)}{y_2'(\epsilon_2)} - \epsilon_2 \quad (14)$$

Connaissant les intensités énergétiques, les prix et les dotations régionales des facteurs spécifiques, on peut calculer les productions par région et par secteur grâce aux fonctions de production (3) et (4) :

$$Y_{j1} = F_j y_1(\varepsilon_1), \quad j = V, W \quad (15)$$

$$Y_{j2} = G_j y_2(\varepsilon_2), \quad j = V, W \quad (16)$$

Par définition des intensités énergétiques, les consommations énergétiques par secteur et région sont égales à :

$$E_{j1} = \varepsilon_1 F_j, \quad j = V, W \quad (17)$$

$$E_{j2} = \varepsilon_2 G_j, \quad j = V, W \quad (18)$$

La consommation énergétique par région s'écrit par conséquent :

$$E_j = \varepsilon_1 F_j + \varepsilon_2 G_j, \quad j = V, W \quad (19)$$

Le revenu primaire régional (RPR) de chaque région s'écrit comme la somme de la valeur ajoutée des deux secteurs avant transferts éventuels :

$$I_j = \sum_{i=1}^2 [p_i Y_{ji} - q E_{ji}], \quad j = V, W \quad (20)$$

Dans notre modèle simple, la consommation intermédiaire se limite aux importations d'énergie (payée au prix international q). Compte tenu de (8), le RPR peut se réexprimer en termes de revenus :

$$I_j = r_F F_j + r_G G_j + [h - q] E_j, \quad j = V, W \quad (21)$$

où E_j est la consommation énergétique totale de la région j .

Le revenu disponible régional (RDR) peut diverger du RPR en fonction d'éventuels transferts entre régions ou avec l'étranger. Dans cet article, la forme que prennent les transferts va dépendre du contexte institutionnel envisagé. Formellement, le RDR se définit de la façon suivante :

$$J_j = I_j + \theta_j, \quad j = V, W \quad (22)$$

où θ_j est le transfert *total* reçu ou versé par la région j . Étant donné (21), l'identité précédente devient :

$$J_j = r_F F_j + r_G G_j + [h - q] E_j + \theta_j, \quad j = V, W \quad (23)$$

Le consommateur représentatif de la région est supposé maximiser une fonction d'utilité dépendant de sa consommation de biens 1 et 2, sous la contrainte que sa demande de biens en valeur ne dépasse pas son revenu disponible. Par souci de simplicité, on suppose que la fonction d'utilité est homogène de degré 1. Dans ce cas, l'utilité est linéairement proportionnelle au RDR, et donc variations relatives d'utilité et de revenu disponible se confondent. En ce sens, la variation du RDR peut être comprise comme une mesure de la variation du bien-être régional. Nous pourrions donc, par la suite, nous limiter à analyser l'impact des scénarios de partage de l'effort de réduction des émissions sur les RDR des deux régions.

L'impact de ces scénarios sera évalué à un équilibre caractérisé par les équations (12) à (23), où en outre on suppose qu'il n'y a pas de transferts, autrement dit que :

$$\theta_j = 0 \quad \text{et} \quad I_j = J_j, \quad j = V, W \quad (24)$$

Il y a donc initialement égalité entre revenus régionaux primaires et disponibles. Par la suite, on parlera indifféremment de l'origine ou de l'équilibre initial pour désigner le point où se calculent les variations de RDR induites par les mesures de réduction d'émissions. Il importe de souligner que si l'origine se caractérise par l'absence de transferts, cela n'empêche pas que ceux-ci puissent accompagner l'effort de réduction des émissions, de façon à moduler les impacts respectifs de cet effort sur les bien-être régionaux. Dans la présente contribution, seuls de tels transferts seront donc pris en considération.

CARACTÉRISATION DE L'ÉCONOMIE ET RÉSULTATS PRÉLIMINAIRES

La spécialisation de chaque région se traduit par trois caractéristiques structurelles que nous allons exposer ici.

Les secteurs se différencient par l'intensité avec laquelle l'énergie y est utilisée. Sans perte de généralité, le secteur 1 est supposé être plus intensif en énergie que le secteur 2. Dans ce cadre particulier à trois facteurs dont deux sont spécifiques, l'intensité factorielle se définit à partir de la part des facteurs dans la valeur de la production ou, de manière équivalente, dans la valeur des inputs utilisés. Le secteur 1 est donc plus intensif en énergie que le secteur 2 au sens où (caractéristique C1) :

$$\frac{hE_1}{p_1Y_1} = \frac{hE_1}{hE_1 + r_F F} > \frac{hE_2}{p_2Y_2} = \frac{hE_2}{hE_2 + r_G G} \quad (25)$$

où les productions et consommations énergétiques sectorielles (Y_i et E_i , $i = 1, 2$), ainsi que le prix des facteurs r_F et r_G sont calculés à l'origine.

La seconde caractéristique concerne les dotations en facteurs spécifiques des deux régions V et W. Elle stipule que la région W est abondante dans le facteur spécifique du secteur 1 au sens où (caractéristique C2) :

$$\frac{F_W}{G_W} > \frac{F_V}{G_V} \quad (26)$$

Enfin, l'hypothèse suivante est formulée sur les fonctions de production (caractéristique C3) :

$$b_1 = \frac{y'_1(\varepsilon_1)}{\varepsilon_1 y''_1(\varepsilon_1)} < \frac{y'_2(\varepsilon_2)}{\varepsilon_2 y''_2(\varepsilon_2)} = b_2 (< 0) \quad (27)$$

où les intensités énergétiques sectorielles (ε_i , $i = 1, 2$) sont calculées à l'origine. À partir de (12), on montre aisément que¹ :

$$\frac{d\varepsilon_i}{\varepsilon_i} = b_i \frac{dh}{h}, \quad i = 1, 2 \quad (28)$$

1. En effet, la différentiation de (12) conduit à

$$\begin{aligned} dh &= p_1 y''_1(\varepsilon_1) d\varepsilon_1 + h [y''_1(\varepsilon_1)/y'_1(\varepsilon_1)] d\varepsilon_1 = h [\varepsilon_1 y''_1(\varepsilon_1)/y'_1(\varepsilon_1)] d\varepsilon_1 / \varepsilon_1 \Rightarrow d\varepsilon_1 / \varepsilon_1 \\ &= y'_1(\varepsilon_1) / [\varepsilon_1 y''_1(\varepsilon_1)] [dh/h]. \end{aligned}$$

Les coefficients b_i sont donc les élasticités des intensités énergétiques sectorielles au prix de l'énergie. Ces coefficients sont négatifs vu la concavité des fonctions de production. À l'équilibre initial, l'élasticité de ϵ_1 au prix de l'énergie h est plus élevée *en valeur absolue* que l'élasticité de ϵ_2 par rapport à ce même prix. Dans le cas particulier de fonctions de production Cobb-Douglas ($Y_1 = F\epsilon_1^\alpha$ et $Y_2 = G\epsilon_2^\beta$), la caractéristique C3 implique que $\alpha > \beta$.

Nous énonçons maintenant une série de résultats préliminaires qui seront utiles pour l'analyse des différents scénarios de partage de l'effort de réduction de la pollution (les preuves sont regroupées en annexe).

LEMME 1. *La caractéristique C1 (cf. (25)) relative aux intensités énergétiques des secteurs est équivalente à :*

$$\mu_1(\epsilon_1) = \frac{\epsilon_1 y_1'(\epsilon_1)}{y_1(\epsilon_1)} > \frac{\epsilon_2 y_2'(\epsilon_2)}{y_2(\epsilon_2)} = \mu_2(\epsilon_2) \quad (29)$$

L'élasticité de la production par unité de facteur spécifique (y_i) par rapport à l'intensité énergétique (ϵ_i) est plus élevée pour le secteur 1. (29) est donc une autre façon d'exprimer que le secteur 1 est plus intensif en énergie que l'autre secteur.

Dans le cas de fonctions de production Cobb-Douglas ($Y_1 = F\epsilon_1^\alpha$ et $Y_2 = G\epsilon_2^\beta$), (29) implique que $\alpha > \beta$. Dans ce cas particulier, les caractéristiques C1 et C3 conduisent donc à la même condition.

LEMME 2. *À l'équilibre initial, l'énergie consommée par unité de RDR est plus élevée en région W qu'en région V :*

$$\frac{E_W}{J_W} > \frac{E_V}{J_V} \quad (30)$$

Ce résultat découle du fait que la région W est relativement mieux dotée dans le facteur spécifique du secteur 1 (en vertu de la caractéristique C2) et donc plus spécialisée dans la production de ce secteur. Or ce secteur est par hypothèse plus intensif en énergie (caractéristique C1).

LEMME 3. *À l'origine, les variations du RDR et du RPR en fonction de la fiscalité sur l'énergie et des transferts s'écrivent :*

$$dI_j = [h - q]dE_j \text{ et } dJ_j = [h - q]dE_j + d\theta_j, \quad j = V, W \quad (31)$$

En première approximation, la variation du RPR est proportionnelle à la variation de la consommation énergétique de la région. La variation du RDR dépend en plus de celle des transferts versés ou reçus par la région.

LEMME 4. *Les variations relatives des consommations énergétiques sectorielles en fonction de la fiscalité sur l'énergie s'écrivent :*

$$\frac{dE_{ji}}{E_{ji}} = b_i \frac{dh}{h}, \quad i = 1, 2, \quad j = V, W \quad (32)$$

De même, sur le plan régional :

$$\frac{dE_j}{E_j} = \frac{[b_1 E_{j1} + b_2 E_{j2}]}{E_j} \frac{dh}{h} = \frac{B_j}{E_j} dh, \quad j = V, W \quad (33)$$

la deuxième égalité définissant B_j ($j = V, W$). De même, sur le plan national :

$$\frac{dE}{E} = \frac{[b_1 E_1 + b_2 E_2]}{E} \frac{dh}{h} = \frac{B}{E} dh \quad (34)$$

la deuxième égalité définissant B , et où par définition $E_i = \sum_j E_{ji}$ est la consommation énergétique au niveau national du secteur i ($i = 1, 2$).

Comme les coefficients b_j sont négatifs, il en va de même de B et B_j , qui mesurent la sensibilité des consommations énergétiques nationales et régionales à la fiscalité sur l'énergie. Les consommations énergétiques évoluent donc bien en sens inverse du prix de l'énergie. (32) fait apparaître que les secteurs sont affectés par une hausse du prix de l'énergie d'une façon identique dans les deux régions (le membre de droite de (32) ne dépend que de i). Ceci découle du fait que les régions partagent les mêmes technologies et sont confrontées aux mêmes prix exogènes. Par ailleurs, étant donné (27), (32) implique que :

$$dh > 0 \Rightarrow \frac{dE_{j1}}{E_{j1}} < \frac{dE_{j2}}{E_{j2}} < 0, \quad j = V, W \quad (35)$$

Toute variation positive de la fiscalité sur l'énergie se traduit par une diminution relative des émissions plus forte pour le secteur 1 que pour le secteur 2.

LEMME 5. La caractéristique C3 sur les fonctions de production (cf. 27)) implique que :

$$\frac{B_w}{E_w} < \frac{B_v}{E_v} < 0 \quad (36)$$

Étant donné (32), le Lemme 5 implique que :

$$dh > 0 \Rightarrow \frac{dE_w}{E_w} < \frac{dE_v}{E_v} < 0 \quad (37)$$

Toute variation positive de la fiscalité sur l'énergie se traduit par une diminution relative des émissions plus forte pour la région W que pour la région V. Ceci découle à nouveau du fait que la région W est relativement mieux dotée dans le facteur spécifique du secteur 1 (caractéristique C2) et donc plus spécialisée dans la production de ce secteur. Or la consommation d'énergie de ce dernier est plus sensible à une hausse de son prix que celle de l'autre secteur (cf. (35)).

La suite de l'article consiste en l'analyse des impacts de différents scénarios de réduction de la pollution, d'abord dans un cadre fiscal purement national (section 3), ensuite dans le cadre d'un marché de permis négociables international (section 4).

IMPACTS DE MESURES DOMESTIQUES

On suppose donné un objectif *national* de réduction des émissions pour le pays $K = dE/E$, où K est une constante exogène négative. La fiscalité énergétique à l'origine se limite à une taxe nationale commune aux deux régions. En

revanche, la forme que prendra la hausse de la fiscalité accompagnant l'effort de réduction va dépendre du contexte institutionnel caractérisant le scénario envisagé. Concrètement, les mesures de réduction domestiques vont consister, dans la présente section, soit en une taxe *supplémentaire* fixée au niveau régional (scénario **Pd**), soit en une *hausse* de la taxe nationale (scénarios **Od** et **Ed**)¹.

L'équilibre initial où se calcule l'impact de ces scénarios est décrit par les équations (12) à (24), avec une fiscalité sur l'énergie consistant en une taxe τ , égale à $h - q$. Dans ce contexte, le Lemme 2 (*cf.* (31)) qui précise comment les RDR varient en fonction des variables dont ils dépendent conduit à :

$$dJ_j = d\theta_j + r dE_j, j = V, W. \quad (38)$$

La présence de $d\theta_j$ dans cette dernière expression indique que si l'origine se caractérise (par hypothèse) par l'absence de transferts, l'effort de réduction proprement dit peut, quant à lui, s'accompagner de transferts interrégionaux.

Les caractères d'efficacité et d'équité des politiques de contrôle de la pollution sont essentiels, dans la mesure où ils conditionnent largement l'acceptabilité de ces politiques. Par la suite, une mesure particulière sera dite *efficace* si elle mène à une égalisation des coûts marginaux de réduction des émissions entre régions. Si cette condition n'est pas remplie, il est en effet toujours possible de concevoir une réallocation des réductions d'émission entre les régions qui réduise le coût total de réduction au niveau national. Par ailleurs, une mesure sera dite *équitable* si elle conduit à une réduction relative identique des RDR.

Scénario de réduction proportionnelle (**Pd**)

L'objectif national est transmis tel quel aux régions, à charge pour chacune d'elle de remplir ses engagements. Le scénario de réduction proportionnelle (**Pd**) suppose donc la mise en place d'une taxe régionale² et est défini par :

- (i) une réduction proportionnelle des émissions à travers les régions ;
- (ii) chaque région assume elle-même la part de l'effort qui lui incombe ; autrement dit l'effort de réduction se réalise sans transferts entre les régions ($d\theta_j = 0$).

Formellement, le scénario **Pd** impose donc que :

$$\frac{dE_j}{E_j} = K, j = V, W \quad (39)$$

et que $d\theta_W = d\theta_V = 0$. De (38), il découle par conséquent que :

$$\frac{dJ_j}{J_j} = \frac{KE_j}{J_j}, j = V, W \quad (40)$$

On en déduit alors la proposition suivante :

1. Les scénarios correspondant à des mesures fiscales domestiques (section 3) sont marqués de la lettre « d », tandis que ceux qui prennent place dans le cadre du marché international de permis sont marqués de la lettre « i » (section 4).

2. Qui vient donc s'ajouter à la taxe nationale préexistant à l'effort de réduction.

PROPOSITION 1. Selon le scénario **Pd**, les diminutions des RDR suite à l'objectif national de réduction des émissions $K = dE/E$ sont telles que :

$$\frac{dJ_W}{J_W} < \frac{dJ_V}{J_V} < 0$$

Preuve. Comme K est négatif, la thèse suppose que $\frac{E_W}{J_W} > \frac{E_V}{J_V} > 0$. Or cette dernière inégalité est bien vérifiée en vertu du Lemme 2. ■

L'intuition à la base de ce résultat est la suivante. Le scénario **Pd** se traduit par une réduction relative du RDR de la région j proportionnelle au rapport E_j/J_j (cf. (40)). Or ce rapport est plus élevé pour la région W en vertu du Lemme 2. Rappelons que ce dernier résultat provient du fait que la région W est par hypothèse mieux dotée dans le facteur spécifique du secteur 1, dont la production est plus intensive en énergie que l'autre secteur.

Bien qu'il prévoit une réduction proportionnelle des émissions pour les deux régions, le scénario **Pd** se révèle plus défavorable pour la région W que pour la région V . Ce scénario n'est donc pas équitable puisqu'une réduction proportionnelle des émissions ne conduit pas à une réduction proportionnelle des RDR.

Même si, à l'origine, le niveau de taxation est par hypothèse égal dans les deux régions, il n'en va plus de même suite aux mesures prises dans le cadre du scénario **Pd**. Celui-ci implique en effet une hausse de la fiscalité sur l'énergie différente au sein de chaque région. En effet, l'inversion de (33) (avec $dh = d\tau_j$) conduit à :

$$d\tau_j = \frac{dE_j}{B_j} = \frac{KE_j}{B_j}, \quad j = V, W \quad (41)$$

Il en découle alors la proposition suivante :

PROPOSITION 2. L'augmentation de la taxe sur l'énergie que suppose le scénario **Pd** est moins forte pour la région W que pour la région V .

Preuve. Vu (41), la thèse se réécrit :

$$0 < d\tau_W = \frac{KE_W}{B_W} < \frac{KE_V}{B_V} = d\tau_V \quad (42)$$

La thèse découle alors immédiatement du Lemme 5. ■

Le scénario **Pd** impose par définition une réduction proportionnelle des émissions régionales. Or une même hausse de la fiscalité implique une plus forte réduction de la consommation énergétique (et donc des émissions) de la région W . Ceci découle du fait que la région W est plus spécialisée dans la production du secteur 1, dont les émissions sont plus sensibles à une hausse de la fiscalité que celles de l'autre secteur. Dans cette région, une hausse moins forte de la fiscalité suffit donc pour atteindre un objectif de réduction des émissions régionales *donné*.

Il importe de souligner que le scénario **Pd** est inefficace sur le plan national au sens où, comme le suggère clairement (42), les coûts marginaux de réduction des émissions ne sont pas égaux entre régions (partant d'un niveau identique, la fiscalité sur l'énergie devient plus élevée en région W).

Scénario de réduction optimal (Od)

On suppose le même objectif national de réduction des émissions que précédemment : $dE/E = K (K < 0)$. Au contraire du scénario **Pd**, le scénario **Od** postule une fiscalité qui demeure purement nationale et commune aux deux régions. Il se caractérise par :

- (i) une hausse de la taxation sur l'énergie égale pour les deux régions permettant d'atteindre l'objectif national au moindre coût ;
- (ii) chaque région assume elle-même la part de l'effort optimal qui lui incombe (pas de transferts entre régions ($d\theta_j = 0$)).

Ce scénario **Od** est qualifié d'optimal au sens où les coûts marginaux de réduction des émissions s'égalisent entre régions (la hausse de la taxe est la même pour les deux régions).

En ce qui concerne la hausse de la taxation induite par le scénario **Od**, on a le résultat suivant :

PROPOSITION 3. *L'augmentation de la taxe sur l'énergie que suppose la réduction des émissions $dE/E = K$ est donnée par :*

$$d\tau = \frac{KE}{B} \tag{43}$$

Preuve. Ce résultat s'obtient immédiatement de l'inversion de (34) (avec $dh = d\tau$) et du fait que l'effort de réduction national implique que $dE = KE$. ■

Par ailleurs, de (38) (avec $d\theta_j = 0$), le scénario **Od** implique que $dJ_j = \tau dE_j$, ou encore que :

$$\frac{dJ_j}{J_j} = \tau \frac{dE_j}{E_j}, j = V, W \tag{44}$$

On en déduit la proposition suivante :

PROPOSITION 4. *Selon le scénario **Od**, les diminutions des RDR induites par l'objectif national de réduction des émissions $dE/E = K$ sont telles que :*

$$\frac{dJ_W}{J_W} < \frac{dJ_V}{J_V} < 0$$

Preuve. Le résultat découle immédiatement du Lemme 2 (cf. (30)) et de (37). ■

Tout comme le scénario **Pd**, le scénario **Od** se révèle donc plus défavorable pour la région W que pour la région V et n'est donc pas équitable. L'intuition à la base de ce résultat est la suivante. D'une part, (44) fait apparaître que, comme pour le scénario **Pd**, la réduction relative du RDR de la région j est proportionnelle au rapport E_j/J_j . Or ce rapport est plus élevé pour la région W (en vertu du Lemme 2). D'autre part, la réduction relative du RDR de la région j est aussi proportionnelle au rapport dE_j/E_j . Or on sait qu'en vertu de (37), ce rapport est également plus élevé en valeur absolue pour la région W (pour les raisons expliquées suite au Lemme 5). Par rapport au scénario **Pd**, déjà plus défavorable pour

la région W, le scénario **Od** intègre donc un deuxième effet (mesuré par le rapport dE_j/E_j) lui aussi plus défavorable pour cette région. Ce scénario est donc encore plus inéquitable que le scénario **Pd**.

On en déduit par conséquent la proposition suivante :

PROPOSITION 5. *Le scénario **Pd** est plus favorable que le scénario **Od** pour la région W. Le contraire vaut pour la région V.*

Preuve. Selon le scénario **Pd**, la variation du RDR de la région j s'écrit (cf. (40)) :

$$\left(\frac{dJ_j}{J_j}\right)_{\text{Pd}} = \tau K \frac{E_j}{J_j}$$

tandis que selon le scénario **Od** elle s'écrit :

$$\left(\frac{dJ_j}{J_j}\right)_{\text{Od}} = \tau \left(\frac{dE_j}{E_j}\right)_{\text{Od}} \frac{E_j}{J_j} \quad (45)$$

Or, on sait que :

$$\left(\frac{dE_w}{E_w}\right)_{\text{Od}} < \left(\frac{dE_v}{E_v}\right)_{\text{Od}}$$

et donc :

$$\left(\frac{dE_w}{E_w}\right)_{\text{Od}} < \left(\frac{dE_w}{E_w}\right)_{\text{Od}} + \left(\frac{dE_v}{E_v}\right)_{\text{Od}} = \left(\frac{dE}{E}\right)_{\text{Od}} = K < \left(\frac{dE_v}{E_v}\right)_{\text{Od}} \quad (46)$$

D'où la thèse. ■

(46) montre que, sous le scénario **Od**, les émissions de la région W baissent relativement plus que d'un coefficient K , c'est-à-dire plus que sous le scénario **Pd**. En conséquence le scénario **Od** se révèle plus défavorable que le scénario **Pd** pour la région W. Le contraire se vérifie pour la région V.

Scénario d'égal sacrifice (**Ed**)

Parmi les deux scénarios envisagés précédemment, seul le scénario **Od** est *efficace* dans la mesure où il permet d'atteindre l'objectif national de réduction au moindre coût. La hausse de la fiscalité énergétique y est en effet identique dans les deux régions, ce qui garantit l'égalisation des coûts de réduction de la pollution. En revanche, aucun des deux scénarios n'est *équitable*, au sens où l'effort de réduction affecte différemment le bien-être des régions (mesuré par le RDR). En outre, la Proposition 5 stipule que, si le scénario **Pd** est moins inéquitable que le scénario **Od**, choisir le premier plutôt que le deuxième se traduirait par une perte d'efficacité.

Le scénario d'égal sacrifice (dit scénario **Ed**) vise à garantir le caractère équitable de la politique environnementale, tout en en préservant l'efficacité. Il reprend l'idée d'une hausse commune de la taxe au niveau national, mais prévoit un transfert entre régions de façon à égaliser les variations de RDR. Il reprend donc le point (i) du scénario **Od**, mais s'en démarque au niveau du point (ii).

Le scénario **Ed** implique donc l'existence d'un transfert interrégional $d\theta$ accompagnant l'effort de réduction national tel que :

$$\left(\frac{dJ_W}{J_W}\right)_E = \left(\frac{dJ_W}{J_W}\right)_O + d\theta = \left(\frac{dJ_V}{J_V}\right)_O - d\theta = \left(\frac{dJ_V}{J_V}\right)_E$$

Comme $\left(\frac{dJ_j}{J_j}\right)_O = \tau \frac{KE}{B} \frac{B_j}{J_j}$, le transfert s'écrit :

$$d\theta = \tau \frac{KE}{B} \left[\frac{B_V}{J_V} - \frac{B_W}{J_W} \right] \quad (47)$$

Cette dernière quantité est positive en vertu du Lemme 5 (cf. (36)). Le transfert va donc bien de la région V vers la région W (autrement dit de la région la moins affectée par la politique environnementale vers la région la plus affectée). Il sera d'autant plus grand que l'objectif de réduction ($|KE|$) est ambitieux et que les régions sont différemment affectées par la hausse de la taxation (ce que mesure le terme entre crochets).

IMPACTS DANS UN CADRE INTERNATIONAL

On suppose que la politique de réduction des émissions du pays prend place dans un cadre international (à l'image du Protocole de Kyoto par exemple), prévoyant un marché international de permis négociables. À l'équilibre initial, la fiscalité énergétique est supposée se décomposer en deux parties. Pour chaque unité de pollution émise, la firme doit (i) s'acquitter d'une taxe d'un montant (fixé au niveau national) τ , et (ii) détenir un permis d'émission échangeable sur un marché international de permis au prix unitaire π . Le prix total initial de l'énergie est donc égal à $h = q + \tau + \pi$. Par ailleurs, chaque région reçoit une quota de permis égal à \bar{E}_j . En l'absence de tout autre transfert (en particulier interrégionaux), le transfert *total* reçu ou versé par la région j s'écrit :

$$\theta_j = \pi[\bar{E}_j - E_j], \quad j = V, W \quad (48)$$

θ_j représente la vente ou l'achat de permis d'émission réalisés par la région j sur le marché de permis international. Conformément à (24), l'équilibre initial se caractérise par hypothèse par des transferts nuls, ce qui implique que $\bar{E}_j = E_j$.

On réenvisage les différents scénarios de partage de l'effort de la section précédente dans ce nouveau cadre. Cette fois, c'est le prix des permis π qui varie (de façon exogène car le pays est supposé *price-taker*), tandis que le niveau de taxation reste constant ($d\tau = 0$). Les dotations régionales de permis \bar{E}_j sont également susceptibles de varier. Si les régions n'ont plus le pouvoir de déterminer (conjointement ou non) la variation de la fiscalité leur permettant d'ajuster leurs émissions à l'objectif national, elles ont maintenant la possibilité d'acheter ou de vendre des permis sur le marché international.

Vu ce qui précède (en particulier le fait que $h - q = \tau + \pi$ et $dh = d\pi$) et le Lemme 3 (cf. (31)), la variation relative du RDR s'écrit dans ce nouveau contexte :

$$\frac{dJ_j}{J_j} = \tau \frac{dE_j}{E_j} \frac{E_j}{J_j} + \pi \frac{d\bar{E}_j}{J_j}, \quad j = V, W \quad (49)$$

Cette expression montre que la variation relative du RDR résulte de la somme de deux termes. Le premier terme (l'effet « prix ») est lié à la variation de la consommation énergétique régionale, elle-même induite par la hausse du prix des permis ($dE_j/E_j = B_j d\pi/E_j$ en vertu de (33)). Le deuxième terme (l'effet « dotation ») correspond à la variation de la dotation régionale de permis ($d\bar{E}_j$). L'effet « prix » renvoie donc à la variation du RDR induite par la hausse du prix des permis, tandis que l'effet « dotation » renvoie à la variation du RDR à travers la variation du quota de permis reçu par la région.

Suite au Lemme 5 (cf. (37)), on sait que la hausse du prix des permis va se traduire par une diminution des émissions régionales plus forte en termes relatifs pour la région W :

$$d\pi > 0 \Rightarrow \frac{dE_W}{E_W} < \frac{dE_V}{E_V} < 0 \quad (50)$$

Pour mémoire, ceci découle du fait que la région W est plus spécialisée dans le secteur 1, dont la consommation d'énergie est plus sensible à une hausse du prix de ce facteur que celle du l'autre secteur. Combinée avec le Lemme 2, (50) conduit à :

$$d\pi > 0 \Rightarrow \frac{dE_W}{E_W} \frac{E_W}{J_W} < \frac{dE_V}{E_V} \frac{E_V}{J_V} < 0 \quad (51)$$

L'effet « prix » se révèle donc plus néfaste pour la région W. Or il importe de souligner que cet effet est présent dans les trois scénarios envisagés ci-dessous. En revanche, on verra que ceux-ci se différencient au niveau de l'effet « dotation », c'est-à-dire au niveau des variations des dotations régionales de permis.

Scénario de réduction proportionnelle (Pi)

Dans le contexte d'un marché de permis international, le scénario **Pi** suppose une réduction proportionnelle des dotations de permis à travers les régions :

$$\frac{d\bar{E}_j}{\bar{E}_j} = K, \quad j = V, W \quad (52)$$

où K est une constante exogène négative. Comme les échanges de permis sont possibles, la réduction porte sur les dotations de permis et non plus, comme dans le cadre national, sur les émissions proprement dites (cf. (39)).

Vu que $\bar{E}_j = E_j$, (49) peut se réécrire :

$$\frac{dJ_j}{J_j} = \tau \frac{dE_j}{E_j} \frac{E_j}{J_j} + \pi K \frac{E_j}{J_j}, \quad j = V, W \quad (53)$$

Il en découle la proposition suivante :

PROPOSITION 6. *Le scénario **Pi** décrit par (52) se traduit par des diminutions des RDR telles que :*

$$\frac{dJ_W}{J_W} < \frac{dJ_V}{J_V} < 0$$

Preuve. Ce résultat dérive de (50) et du Lemme 2 qui stipule que $\frac{E_w}{J_w} > \frac{E_v}{J_v} (> 0)$. ■

On retrouve donc un résultat similaire à la Proposition 1 : bien qu'il prévoit une réduction proportionnelle des dotations de permis identiques pour les deux régions, le scénario **Pi** se révèle plus défavorable pour la région W que pour la région V et n'est donc pas équitable. On sait déjà par ce qui précède que l'effet « prix » est plus défavorable pour la région W (cf. (51)). En outre, le scénario **Pi** définit un effet « dotation » proportionnel à la consommation énergétique régionale caractérisant l'origine (en effet, $d\bar{E}_j/J_j = KE_j/J_j$). Or celle-ci est plus élevée pour la région W à cause de sa spécialisation dans la production du bien 1, le plus intensif en énergie.

Partant d'un équilibre initial où $\bar{E}_j = E_j (j = V, W)$, la quantité de permis échangés par la région j induite par le scénario **Pi** est, étant donné ce qui précède, égale à $dE_j - d\bar{E}_j = B_j d\pi - K\bar{E}_j$. La région j ne prendra des mesures de réduction de ses émissions que dans la mesure où elles sont moins coûteuses que d'acheter des permis sur le marché. Par conséquent, plus $d\pi > 0$ est faible, moins la région j est incitée à réduire ses émissions et plus celle-ci est amenée à acquérir des permis sur le marché pour remplir ses engagements (plus $dE_j - d\bar{E}_j$ est positif).

Par ailleurs, il importe de souligner que, contrairement au scénario **Pd**, le scénario **Pi** est efficace puisque les coûts marginaux de réduction des émissions s'égalisent entre régions (la fiscalité totale de l'énergie suite à l'effort de réduction demeure la même dans les deux régions).

Scénario de réduction optimal (Oi)

Comme dit plus haut, le scénario **Oi** ne se distingue du précédent qu'au niveau des variations de dotations de permis régionales suite à l'effort de réduction. On postule que ces variations de dotations sont égales aux variations des consommations énergétiques régionales que l'on observerait en l'absence d'un marché de permis international, c'est-à-dire dans le cadre du scénario **Od**. Or celui-ci se caractérise par $dE_j = B_j d\tau$ et $d\tau = KE/B$ (cf. (33) et (43)). Par conséquent, on suppose à présent que :

$$d\bar{E}_j = \frac{B_j}{B} KE, j = V, W \tag{54}$$

(49) peut alors se réécrire :

$$\frac{dJ_j}{J_j} = \tau \frac{dE_j}{E_j} \frac{E_j}{J_j} + \pi \frac{KE}{B} \frac{B_j}{E_j} \frac{E_j}{J_j}, j = V, W \tag{55}$$

On obtient alors la proposition suivante :

PROPOSITION 7. *Le scénario **Oi** décrit par (54) se traduit par des diminutions des RDR telles que :*

$$\frac{dJ_w}{J_w} < \frac{dJ_v}{J_v} < 0$$

Preuve. Ce résultat découle des Lemmes 2 (cf. (30)) et 5 (cf. (36)). ■

On retrouve donc un résultat similaire à la Proposition 4 : le scénario **Oi** se révèle plus défavorable pour la région W que pour la région V. Ce scénario n'est par conséquent pas équitable. L'intuition est la suivante. On sait déjà par ce qui précède que l'effet « prix » (c'est-à-dire la variation du RDR induite par la hausse du prix des permis) est plus défavorable pour la région W (cf. (51)). En outre, le scénario **Oi** définit un effet « dotation » (c'est-à-dire des réductions de quotas de permis) à l'image de l'impact du scénario **Od** sur les consommations énergétiques régionales. Or on sait aussi que celui-ci se traduit par une réduction relative de la consommation énergétique (et donc des émissions) plus forte pour la région W. L'effet « dotation » du scénario **Oi** est donc également plus défavorable pour cette dernière. Les deux effets étant plus défavorables pour la région W, il en va par conséquent de même de l'effet global. Le scénario **Oi** est par contre efficace puisque les coûts marginaux de réduction des émissions sont identiques pour les deux régions.

En comparant (53) et (55), et en réappliquant le raisonnement à la base de la démonstration de la Proposition 5, on retrouve un résultat similaire à cette proposition, à savoir que le scénario **Pi** est moins défavorable pour la région W que le scénario **Oi**, le contraire se vérifiant pour la région V.

Scénario d'égal sacrifice (**Ei**)

Si les deux scénarios ci-dessus sont efficaces, aucun des deux n'est *équitable*, puisque le bien-être des régions (mesuré par le RDR) est affecté de façon différente par l'effort de réduction. Tout comme son correspondant domestique (**Ed**), le scénario **Ei** vise à garantir dans le cadre d'un marché international de permis le caractère équitable de la politique environnementale, tout en en préservant l'efficacité. Si l'effet « prix » identifié ci-dessus demeure, ce scénario joue en revanche sur l'effet « dotation » de façon à égaliser les variations de RDR.

La somme des variations de dotations régionales en permis doit être égale à l'effort national de réduction des émissions :

$$d\bar{E}_W + d\bar{E}_V = KE \quad (56)$$

Le scénario **Ei** stipule que les variations relatives des RDR doivent être égales. Étant donné (33) (avec $dh = d\pi$) et (49), cela suppose que :

$$\frac{dJ_W}{J_W} = \tau \frac{B_W}{J_W} d\pi + \pi \frac{d\bar{E}_W}{J_W} = \tau \frac{B_V}{J_V} d\pi + \pi \frac{d\bar{E}_V}{J_V} = \frac{dJ_V}{J_V} \quad (57)$$

Les deux équations précédentes permettent de calculer les réductions de dotations en permis $d\bar{E}_W$ et $d\bar{E}_V$. La solution du système s'écrit :

$$d\bar{E}_j = \frac{J_j}{J} KE + S_j \frac{J_V J_W}{J} \left[\frac{B_V}{J_V} - \frac{B_W}{J_W} \right] \frac{\tau d\pi}{\pi}, \quad j = V, W$$

où, par définition, $S_W = 1$ et $S_V = -1$. Par rapport à un partage des réductions de dotations simplement proportionnel à la part des RDR dans le revenu national (le premier terme), le scénario **Ei** prévoit un partage plus favorable pour la région W, le deuxième terme ayant le même signe que S_j en vertu des Lemmes 2 et 5 (cf. (30) et (36)). De cette façon, l'effet « dotation » compense l'effet « prix », dont on sait qu'il est plus défavorable pour la région W.

CONCLUSION

Le tableau ci-dessous reprend les différents scénarios étudiés dans cet article avec leurs principales caractéristiques et propriétés. Il montre qu'il n'est pas possible de concevoir un scénario de réduction de la pollution qui soit à la fois *efficace, équitable* (au sens d'*égal sacrifice*) et *sans transferts interrégionaux*. Ce résultat est dû à l'existence de facteurs de production spécifiques aux secteurs d'activité. Nous nous démarquons sur ce point de Copeland et Taylor [2003] qui, dans le cadre d'un modèle à la Hecksher-Ohlin, montrent qu'il peut exister une infinité de manières efficaces de réduire les émissions polluantes, ce qui permet de concilier critères d'équité et d'efficacité même en l'absence d'un marché de permis.

Scénarios	Cadre institutionnel	Instruments	Transferts	Efficacité	Équité
Réduction proportionnelle (Pd)	Domestique	Taxes régionales	Non	Non	Non
Optimal (Od)	Domestique	Taxe nationale	Non	Oui	Non
Égal sacrifice (Ed)	Domestique	Taxe nationale	Oui	Oui	Oui
Réduction proportionnelle (Pi)	International	Marché de permis	Non	Oui	Non
Optimal (Oi)	International	Marché de permis	Non	Oui	Non
Égal sacrifice (Ei)	International	Marché de permis	Oui	Oui	Oui

Dans un contexte de mesures domestiques où les objectifs sont exprimés en termes de réduction d'émissions, les impacts des différents scénarios sur les revenus disponibles régionaux (RDR) sont les suivants. Le scénario de *réduction proportionnelle* et le scénario de *réduction optimale* se traduisent par une baisse de RDR plus forte pour la région spécialisée dans le secteur le plus intensif en énergie (la région W), car la production de ce secteur (caractérisée par le facteur spécifique dont W est relativement mieux dotée) est plus sensible à l'augmentation du prix de l'énergie que celle de l'autre secteur. Le scénario de *réduction proportionnelle* est cependant moins défavorable pour la région W que le scénario optimal, le contraire étant vrai pour la région V. Replacée dans le contexte du partage de l'effort entre régions au niveau belge, cette observation explique les positions de principe respectives qui furent celles des régions wallonne et flamande, la première ayant été plutôt partisane du scénario de *réduction proportionnelle*, la seconde du scénario optimal.

Contrairement aux deux précédents, le scénario d'*égal sacrifice* implique par construction une baisse relative du RDR identique pour les deux régions, et ce, grâce à un transfert compensateur de la région V vers la région W.

Les résultats qui précèdent sont indépendants de l'existence ou non d'un marché international de permis négociables. Dans ce dernier contexte, les scénarios s'expriment en termes de réduction de dotations de permis et non plus en termes de réduction d'émissions. On observe en particulier qu'une diminution proportionnelle des dotations régionales de permis ne se traduit pas par une diminution proportionnelle des RDR. Ce résultat constitue un exemple de biais possible d'une politique de réduction de la pollution fondée exclusivement sur un critère de partage de la charge en termes d'allocation de permis.

Ces résultats s'appliquent à une petite économie ouverte, *price-taker* sur les marchés internationaux. Une extension intéressante serait d'en examiner la robustesse dans le contexte d'un pays susceptible de répercuter sur les prix de ses produits tout ou partie de l'accroissement de ses coûts de production induit par la réduction des émissions polluantes.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- ANTWEILER A., COPELAND B., TAYLOR M. S. [2001], « Is free trade good for the environment? », *The American Economic Review*, 91, p. 877-908.
- BATABYAL A., BELADI H. (eds) [2001], *The economics of international trade and the environment*, Lewis Publishers.
- CHANDER P., KHAN M. A [1998], « International treaties on trade and global pollution », *CLIMNEG Working Paper* n° 11, Université catholique de Louvain.
- COPELAND B., TAYLOR M. S. [2005], « Free trade and global warming: a trade theory view of the Kyoto Protocol », *Journal of Environmental Economics and Management*, 49 (2), p. 205-234.
- COPELAND B., TAYLOR M. S. [2001], « International trade and the environment: a framework for analysis », *NBER Discussion Paper* n° 8540.
- GAM (Groupe d'analyse et de modélisation) [2002], « Guide des hypothèses et de la méthodologie utilisées pour obtenir les résultats du GAM », *Mimeo*, mai 2002.
- GROENENBERG H., PHYLIPSEN D., BLOK K. [2001], « Differentiating commitments world wide: global differentiation of GHG emissions reductions based on the Triptych approach – a preliminary assessment », *Energy Policy*, 29, p. 1007-1030.
- NOLET J., BLAIS M. [2002], « Incidences de l'approche fédérale sur le secteur industriel », *Options Politiques/Policy Options*, décembre 2002 – janvier 2003, p. 40-44.
- PHYLIPSEN G., BODE J., BLOK K., MERKUS H., METZ B. [1998], « A Triptych sectoral approach to burden differentiation; GHG emissions in the European bubble », *Energy Policy*, 26, p. 929-943.
- ROSE A., STEVENS B., EDMONDS J., WISE M. [1998], « International equity and differentiation in global warming policy », *Environmental and Resource Economics*, 12, p. 25-51.

ANNEXE

DÉMONSTRATIONS DES LEMMES

LEMME 1

Preuve. Les équations (13) et (14) conduisent à :

$$\frac{r_F}{h\epsilon_1} = \frac{y_1(\epsilon_1)}{\epsilon_1 y_1'(\epsilon_1)} - 1 \quad \text{et} \quad \frac{r_G}{h\epsilon_2} = \frac{y_2(\epsilon_2)}{\epsilon_2 y_2'(\epsilon_2)} - 1$$

La thèse suppose alors que :

$$\frac{\epsilon_1 y_1'(\epsilon_1)}{y_1(\epsilon_1)} = \frac{1}{\frac{r_F}{h\epsilon_1} + 1} > \frac{1}{\frac{r_G}{h\epsilon_2} + 1} = \frac{\epsilon_2 y_2'(\epsilon_2)}{y_2(\epsilon_2)}$$

$$\Leftrightarrow \frac{r_G}{h\epsilon_2} > \frac{r_F}{h\epsilon_1}$$

Or la caractéristique C1 conduit bien à cette inégalité. En effet, (25) implique que :

$$\begin{aligned} hE_1[hE_2 + r_G G] &> hE_2[hE_1 + r_F F] \\ \Leftrightarrow hE_1 r_G G &> hE_2 r_F F \\ \Leftrightarrow \frac{hE_1}{r_F F} &> \frac{hE_2}{r_G G} \\ \Leftrightarrow \frac{h\varepsilon_1}{r_F} &> \frac{h\varepsilon_2}{r_G} \end{aligned}$$

■

LEMME 2

Preuve. Compte tenu qu'à l'équilibre initial, $J_j = I_j$ ($j = V, W$), de (21) et (19), et posant $A_j = F_j/G_j$ ($j = V, W$), la thèse se réécrit :

$$\frac{\varepsilon_1 A_W + \varepsilon_2}{[r_F + [\tau + \pi]\varepsilon_1]A_W + [r_G + [h - q]\varepsilon_2]} > \frac{\varepsilon_1 A_V + \varepsilon_2}{[r_F + [\tau + \pi]\varepsilon_1]A_V + [r_G + [h - q]\varepsilon_2]}$$

ce qui conduit à :

$$[A_W - A_V][r_G + [h - q]\varepsilon_2]\varepsilon_1 > [A_W - A_V][r_F + [h - q]\varepsilon_1]\varepsilon_2$$

Vu la caractéristique C2 sur les dotations régionales de facteurs (*cf.* (26)), cette expression se réduit à :

$$[r_G + [h - q]\varepsilon_2]\varepsilon_1 > [r_F + [h - q]\varepsilon_1]\varepsilon_2 \quad (58)$$

ou encore à :

$$r_G \varepsilon_1 > r_F \varepsilon_2$$

Divisant les deux membres de cette inégalité par h , et utilisant (13) et (14), on a :

$$\frac{y_2(\varepsilon_2)}{\varepsilon_2 y_2'(\varepsilon_2)} - 1 > \frac{y_1(\varepsilon_1)}{\varepsilon_1 y_1'(\varepsilon_1)} - 1$$

ou encore :

$$\mu_1(\varepsilon_1) > \mu_2(\varepsilon_2)$$

Or cette inégalité est bien vérifiée d'après le Lemme 1. ■

LEMME 3

Preuve. Concernant le RPR, (21) implique que (avec $dq = 0$ et $dF_j = dG_j = 0$ puisque les dotations régionales de facteurs spécifiques sont des constantes exogènes) :

$$dI_j = dr_F F_j + dr_G G_j + [h - q]dE_j + E_j dh, \quad j = V, W \quad (59)$$

Substituant (12) dans (13) pour $i = 1$ et après différentiation (avec $dp_1 = 0$), on obtient :

$$dr_F = -p_1 \varepsilon_1 y_1'' d\varepsilon_1 \quad (60)$$

Par ailleurs, la différentiation de (12) conduit à :

$$dh = p_1 y_1'' d\varepsilon_1 \quad (61)$$

De la combinaison des deux équations précédentes, il découle :

$$dr_F = \varepsilon_1 dh \quad (62)$$

En procédant de façon similaire pour le facteur spécifique G, on obtient :

$$dr_G = -\varepsilon_2 dh \quad (63)$$

Comme les élasticités ε_i ($i = 1, 2$) sont positives, il apparaît que les prix des facteurs spécifiques varient en sens inverse de la hausse de la fiscalité sur l'énergie dh . Compte tenu de la définition des consommations énergétiques régionales (cf. (19)), la substitution de (62) et (63) dans (59) conduit à la première partie de la thèse. Concernant le RDR, étant donné (22), on a :

$$dJ_j = dI_j + d\theta_j, \quad j = V, W$$

La deuxième partie découle aussitôt. ■

LEMME 4

Preuve. La différentiation de (17) et (18) implique que $dE_{j1} = d\varepsilon_1 F_j$ et $dE_{j2} = d\varepsilon_2 G_j$ (F_j et G_j sont constants). Il en découle que $dE_{j1}/E_{j1} = d\varepsilon_1/\varepsilon_1$ et $dE_{j2}/E_{j2} = d\varepsilon_2/\varepsilon_2$. (28) implique alors (32). (33) et (34) s'obtiennent par agrégation au niveau x régional et national (en effet $E_j = \sum_{i=1,2} E_{ji}$ ($j = V, W$) et $E = \sum_{j=V,W} \sum_{i=1,2} E_{ji}$). ■

LEMME 5

Preuve. La deuxième inégalité découle du fait que les quantités B_j sont négatives. Vu les définitions des quantités B_j et E_j (cf. (33) et (19)), la thèse peut se réécrire :

$$\frac{b_1 \varepsilon_1 F_W + b_2 \varepsilon_2 G_W}{\varepsilon_1 F_W + \varepsilon_2 G_W} < \frac{b_1 \varepsilon_1 F_V + b_2 \varepsilon_2 G_V}{\varepsilon_1 F_V + \varepsilon_2 G_V}$$

ce qui donne :

$$[b_1 \varepsilon_1 F_W + b_2 \varepsilon_2 G_W][\varepsilon_1 F_V + \varepsilon_2 G_V] < [b_1 \varepsilon_1 F_V + b_2 \varepsilon_2 G_V][\varepsilon_1 F_W + \varepsilon_2 G_W]$$

Après simplification, on obtient :

$$b_1 \varepsilon_1 F_W \varepsilon_2 G_V + b_2 \varepsilon_2 G_W \varepsilon_1 F_V > b_1 \varepsilon_1 F_V \varepsilon_2 G_W + b_2 \varepsilon_2 G_V \varepsilon_1 F_W$$

ou encore :

$$b_1 \varepsilon_1 \varepsilon_2 [F_W G_V - F_V G_W] < b_2 \varepsilon_1 \varepsilon_2 [F_W G_V - F_V G_W]$$

Cette inégalité est vraie étant donné la caractéristique C2 relative aux dotations régionales de facteurs ($F_W G_V > F_V G_W$) et le fait que $b_1 < b_2$ (cf. (27)). ■