

# Politique Environnementale et Ajustements aux Frontières en Présence de Concurrence Imparfaite

J.-P. Nicolai<sup>1</sup>   Isabelle Péchoux<sup>2</sup>   J.-P. Ponssard<sup>3</sup>   J. Pouyet<sup>4</sup>

Dans un contexte avec commerce bilatéral entre deux zones géographiques et pollution globale, nous étudions l'impact de la mise en oeuvre unilatérale d'une taxation des émissions dans une des zones. Pour compenser une perte de compétitivité de son industrie, le gouvernement de cette zone peut vouloir mettre en oeuvre des ajustements aux frontières sous la forme de subventions aux exportations ou de taxes sur les importations. Nous étudions l'interaction entre les instruments de la politique environnementale et les ajustements aux frontières en mettant en lumière le rôle des structures de marché et de la concurrence imparfaite.

## ENVIRONMENTAL POLICY AND BORDER ADJUSTMENTS WITH IMPERFECT COMPETITION

In a two-region model of bilateral trade with global pollution, we study how the unilateral implementation of emissions taxes affects the region. To offset the decrease in its industry's competitiveness, the regulator of the region may implement borders adjustments such as export subsidies or import taxes. We study the interaction between environmental policy instruments and border adjustments highlighting the role played by market structures and imperfect competition.

Classification JEL : F12 ; F18 ; H2 ; Q2.

---

<sup>1</sup>Ecole Polytechnique. Ecole Polytechnique, Département d'économie, 91128 Palaiseau Cedex, France. Email: jean-philippe.nicolai@polytechnique.edu.

<sup>2</sup>Toulouse School of Economics (ARQADE), Manufacture des Tabacs, 21 Allée de Brienne, 31000 Toulouse, France. Email : isabelle.pechoux@univ-tlse1.fr.

<sup>3</sup>Ecole Polytechnique. Ecole Polytechnique, Département d'économie, 91128 Palaiseau Cedex, France. Email: jean-pierre.ponssard@polytechnique.edu.

<sup>4</sup>PSE and Ecole Polytechnique. PSE, 48 boulevard Jourdan, 75014 Paris, France. Email: pouyet@pse.ens.fr.

# INTRODUCTION

Les discussions et les négociations portant actuellement sur la troisième phase (post 2012) du marché européen EU-ETS (Emission Trading Scheme) de permis d'émission de carbone font depuis peu référence à la possibilité d'utiliser des instruments tarifaires aux frontières afin de protéger les entreprises européennes soumises à cette régulation environnementale. En effet, instaurer de manière unilatérale un marché des permis dans une zone, comme l'a décidé l'Union Européenne, a pour effet d'engendrer une perte de compétitivité pour les entreprises européennes, à la fois sur les marchés domestiques mais aussi pour leurs exportations sur les marchés étrangers.

Une conséquence indirecte de cette perte de compétitivité européenne est la hausse des émissions dans les pays non soumis à une régulation environnementale similaire et exportant au sein de l'Union Européenne. On parle alors de "fuites de carbone". La définition par la CCNUCC (Convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques) est l'accroissement des émissions dans les pays n'ayant pas ratifié l'Annexe B du protocole de Kyoto suite à l'implémentation de réductions dans les pays concernés. Celles-ci peuvent résulter d'une substitution des produits vendus, mais aussi, à plus long terme, de délocalisations. Une des solutions proposées est alors d'instaurer des ajustements fiscaux aux frontières. C'est dans ce contexte, tendu, de négociations internationales que l'Organisation Mondiale du Commerce et le Programme Environnement des Nations Unies ont récemment publié un rapport commun dans lequel de tels ajustements aux frontières sont explicitement évoqués par ces instances et pourraient être adoptés, sous certaines conditions restant à préciser<sup>1</sup>.

Instaurer des ajustements fiscaux aux frontières revient à mettre en place des taxes sur les importations et des subventions aux exportations. Les ajustements fiscaux sont un dispositif fréquemment utilisé afin de protéger la compétitivité des entreprises d'un pays lorsqu'une taxe sur assises est mise en place. Dans la pratique, les ajustements fiscaux aux frontières sont égaux à la taxe sur assises. Nous considérons ici une taxe environnementale ayant pour but de corriger une externalité de pollution globale engendrée par la production industrielle. Une taxe permet de corriger l'externalité produite dans le pays considéré mais ne permet pas de réduire l'externalité produite à l'étranger. Nous souhaitons dès lors savoir si les ajustements fiscaux au sens classique du terme peuvent être utilisés dans ce contexte.

L'égalité entre la taxe sur les importations et la subvention aux exportations et le prix des permis correspond économiquement à une situation où les entreprises domestiques et étrangères n'ont pas de pouvoir de marché. En effet, en concurrence pure et parfaite, la taxe sur les importations et la subvention aux exportations sont égales à la taxe sur les émissions. Un gouvernement qui maximise le bien-être domestique et qui prend en compte la

---

<sup>1</sup>Voir dans l'édition du Financial Times datée du 26 juin 2009 l'article "WTO signals backing for border taxes".

pollution globale due aux émissions domestiques et étrangères, produites par des industries en concurrence pure et parfaite, choisit une taxe sur les importations et une subvention aux exportations égales au prix des permis. La taxe sur les émissions correspond au dommage marginal et donc à la taxe dite pigouvienne. Un des objectifs de cet article est de comprendre comment la prise en compte, réaliste, des structures de marché imparfaitement concurrentielles affecte le niveau des taxes environnementales et des ajustements aux frontières.

En effet, les travaux récents portant sur les ajustements aux frontières ne s'intéressent pas à la valeur des taxes et subventions mais prennent celles-ci comme données et égales à la taxe sur les émissions ou au prix des permis. Ainsi, Fisher et Fox [2009] analysent l'efficacité de tels instruments afin de réduire les émissions et les fuites de carbone générées. La modélisation retenue est cohérente avec les soubassements théoriques de cette égalité. Les entreprises sont preneuses de prix. Les auteurs comparent les ajustements fiscaux aux frontières à d'autres instruments tels les subventions aux productions locales. Ils considèrent la politique environnementale comme donnée et montrent que le meilleur instrument pour lutter contre les fuites de carbone est l'utilisation simultanée d'une taxe sur les importations et d'une subvention aux exportations.

Cependant, il est à noter que l'analyse des effets de la mise en place d'un marché de permis à polluer sur la compétitivité et les fuites de carbone se fait à l'aide de modèles en concurrence imparfaite. En effet, les secteurs concernés par l'EU-ETS sont généralement considérés comme oligopolistiques et caractérisés par un fort pouvoir de marché des entreprises. Ainsi, Demailly et Quirion [2005], Ponsard et Walker [2008], Smale, Hartley, Hepburn, Ward, et Grubb [2006], ont étudié la mise en place d'ajustements aux frontières dans un contexte de concurrence imparfaite grâce à des modèles calibrés. L'objectif de cet article est d'illustrer plus explicitement les mécanismes qui affectent les choix de ces différents instruments. Les structures de marché domestiques et étrangères affectent de façon complexe à la fois la nature et les niveaux de ces différents instruments d'ajustement aux frontières.

Notre travail s'inscrit aussi dans la littérature étudiant le lien entre le commerce international et la politique environnementale (Barnett [1980], Barrett [1994], Kennedy [1994], Ulph [1996] et Straume [2006]). Cependant, ces auteurs considèrent la plupart du temps des modèles à deux pays et une ou deux entreprises. Ils montrent que dans un contexte de concurrence imparfaite, la libéralisation des échanges peut inciter les gouvernements à se comporter de façon stratégique. En effet, en l'absence d'instrument de politique commerciale traditionnel, les gouvernements désireux de protéger la compétitivité des entreprises peuvent être tentés de relâcher leurs politiques environnementales. Ils fixent alors une taxe d'émissions inférieure au niveau de référence pigouvien. Ce comportement stratégique des gouvernements est appelé *dumping écologique* (ou encore *eco-dumping*). Les gouvernements peuvent également opter pour une politique environnementale rigide. Dans les deux cas, l'allocation des ressources

n'est pas optimale.

Notre article est organisé de la façon suivante. La première section de cet article présente le modèle. Dans la section suivante, nous étudions la mise en place d'une régulation environnementale unilatérale et ses conséquences en termes de fuites de carbone. Nous analysons la détermination optimale du prix des permis. Dans une troisième section, nous étudions l'utilisation d'une taxe sur les importations et d'une subvention aux exportations sur le bien-être domestique à politique environnementale donnée. Nous montrons alors qu'un pays mettant en place une régulation environnementale a une incitation stricte à fixer une taxe sur les importations. De plus, lorsque le gouvernement utilise tous les instruments, nous montrons que la taxe optimale sur les importations est supérieure ou égale au prix des permis et égale au dommage marginal de la pollution. Nous retrouvons le résultat que lorsque le nombre d'entreprises de chaque marché est grand les trois instruments prennent la même valeur. Dans une quatrième section, nous analysons les ajustements fiscaux aux frontières en fonction de deux critères d'efficacité, le bien-être mondial et l'élimination des fuites de carbone. La dernière section conclut cet article.

## MODELE

Soit deux zones géographiques, la zone domestique et la zone étrangère, dénotées  $H$  et  $F$  respectivement. Chaque zone comprend un secteur d'activité, homogène entre les pays. Les échanges commerciaux entre les deux zones sont libres et aucune barrière commerciale n'existe a priori. Le nombre d'entreprises présentes dans le pays  $H$  (respectivement,  $F$ ) est  $n_H$  (respectivement,  $n_F$ ). Les entreprises des deux pays sont symétriques. Sur chaque marché, les entreprises se font concurrence à la Cournot.  $q_{iL}$  et  $x_{iL}$  dénotent les quantités produites par l'entreprise  $i$  et vendues dans le pays  $L \in \{H, F\}$  respectivement.  $Q_L$  (respectivement,  $X_L$ ) indique la quantité totale produite par les entreprises du pays  $L$  et vendue dans ce pays  $L$  (respectivement, destinée à l'exportation). Les coûts de production (hors coûts dus à la réglementation environnementale) sont normalisés à zéro<sup>2</sup>. Les fonctions de demande sont supposées linéaires et données par

$$P_F(Q_F + X_H) = a_F - (Q_F + X_H) \text{ et } P_H(Q_H + X_F) = a_H - (Q_H + X_F),$$

où  $P_H$  et  $P_F$  désignent les prix des biens vendus respectivement dans les pays  $H$  et  $L$ .

Nous supposons que  $a_F < a_H$  : la taille de marché de la zone  $F$  est la plus petite. Trois cas nous apparaissent être particulièrement intéressants à traiter. Lorsque le nombre d'entreprises est grand dans chaque pays, nous pouvons étudier le cas où les entreprises n'ont

---

<sup>2</sup>Les demandes de bien final étant linéaires, cette normalisation est sans perte de généralité. De même, nous considérons pour simplifier que les coûts de transport sont nuls.

pas de pouvoir de marché. Ce cas se rapproche de la concurrence parfaite. Nous souhaitons aussi étudier les cas où la structure de marché domestique est très concentrée ( $n_H = 1$ ) et nous étudions alors le cas où le nombre d'entreprises étrangères est réduit ( $n_F = 1$ ) et celui où il est grand ; cela correspond en effet aux situations dans lesquelles le secteur industriel polluant considéré peut être exposé plus ou moins fortement à la concurrence internationale (e.g., électricité versus ciment).

La technologie de production est polluante : une unité produite de biens engendre une unité d'émissions de CO<sub>2</sub><sup>3</sup>. Pour réduire les émissions polluantes, le gouvernement du pays  $L$  peut vouloir mettre en place diverses mesures, comme une taxe sur les émissions ou des subventions aux exportations, qui vont modifier les coûts marginaux perçus par les entreprises.

Soit  $c_L^x$  (respectivement,  $c_L^l$ ) le coût marginal total associé à l'exportation (respectivement, la production locale) pour une entreprise du pays  $L$ . Le problème auquel fait face une entreprise  $i$  du pays  $H$  par exemple s'écrit comme

$$\max_{q_{iH}, x_{iH}} [P_F(Q_F + X_H) - c_H^x] x_{iH} + [P_H(Q_H + X_F) - c_H^l] q_{iH}.$$

Le degré d'intégration des marchés dépend alors de la valeur des coûts marginaux perçus supportés par les entreprises. Il est immédiat de montrer que lorsque  $c_H^x < \frac{a_F + n_F c_F^l}{n_F + 1}$ , à l'équilibre, les entreprises du pays  $H$  exportent vers la zone  $F$  ; de même, si  $c_F^x < \frac{a_H + n_H c_H^l}{n_H + 1}$ , alors les entreprises de  $F$  exportent leurs produits. Le commerce est bilatéral lorsque les deux conditions sont satisfaites simultanément. La situation où une seule condition est vérifiée correspond à du commerce unilatéral. L'autarcie correspond au cas où les entreprises sont découragées d'exporter. Nous nous concentrons par la suite sur le cas le plus intéressant du commerce bilatéral.

Les émissions de pollution d'un pays proviennent de la production totale de ce pays qui se destine à la production vendue localement et aux exportations,  $E_L = Q_L + X_L$ . Ainsi, les pollutions de chaque zone, lorsqu'aucune régulation environnementale n'est mise en place (et donc  $c_L^x = c_L^l = 0$ ), sont

$$E_F = n_F \frac{a_F + a_H}{n_H + n_F + 1} \text{ et } E_H = n_H \frac{a_F + a_H}{n_H + n_F + 1}.$$

Nous considérons une fonction de dommage environnemental qui dépend de la somme des émissions mondiales :  $\lambda(E_H + E_F)$ , où  $\lambda$  est le dommage marginal généré par le réchauffement climatique. Si le dommage est trop important, alors il peut devenir intéressant de sacrifier la production de biens, et par là-même le surplus des consommateurs et le profit des entreprises

---

<sup>3</sup>On pourrait introduire un ratio production-pollution constant mais différent de 1 sans affecter qualitativement les résultats.

associé à ces biens. Pour assurer que, dans toutes les configurations étudiées ci-dessous, les quantités produites sont positives et il y a commerce bilatéral, nous supposons  $\lambda < a_F$ .

L'objectif du gouvernement dans le pays  $H$  est de maximiser une fonction de bien-être donnée par

$$W_H = SC_H + \sum_{i=1}^{n_H} \pi_{iH} - \lambda(E_H + E_F) + RR_H,$$

où  $SC_H$  désigne le surplus des consommateurs de ce pays,  $\sum_{i=1}^{n_H} \pi_{iH}$  le profit des entreprises de cette zone et  $RR_H$  les recettes fiscales (positives dans le cas d'une taxe, ou négatives dans le cas d'une subvention) issues de la réglementation environnementale.

## REGULATION UNILATERALE DES EMISSIONS

Lorsque le pays  $H$  est en autarcie et ses entreprises preneuses de prix, un gouvernement qui maximise le bien-être choisit une taxe égale au dommage marginal ; c'est le principe de la taxe pigouvienne. En présence de concurrence imparfaite et d'échanges internationaux, instaurer une régulation unilatérale engendre des fuites de carbone et la taxe optimale est différente du dommage marginal puisqu'elle est utilisée alors à plusieurs fins.

Nous considérons que pour émettre du CO2 les entreprises de la zone  $H$  doivent s'acquitter d'un montant  $\sigma$  par unité d'émissions. Puisque cette économie n'est soumise à aucune incertitude, il y a équivalence entre les instruments prix et quantités (Weitzman [1974]).  $\sigma$  représente alors indifféremment une taxe ou un prix des permis d'émissions. La politique environnementale peut être décidée directement par un gouvernement ou elle peut être exogène. Un prix des permis exogène reflète par exemple un prix international des permis qui s'impose au secteur considéré. Une taxe endogène correspond à la situation dans laquelle le gouvernement conçoit une régulation spécifique à un secteur.

Les entreprises domestiques supportent la taxe tant pour les unités dédiées à l'exportation que celles destinées au marché local. Le programme d'une telle entreprise s'écrit

$$\max_{q_{jH}, x_{jH}} [P_F(Q_F + X_H) - \sigma] x_{jH} + [P_H(Q_H + X_F) - \sigma] q_{jH}.$$

Les entreprises du pays  $F$  n'ont aucun coût de production

$$\max_{q_{iF}, x_{iF}} [P_F(Q_F + X_H)] q_{iF} + [P_H(Q_H + X_F)] x_{iF}.$$

Puisque nous avons ici  $c_H^x = \sigma$  et  $c_F^l = 0$ , et d'après les conditions vues dans la section précédente, le prix des permis permettant aux entreprises du pays  $H$  de pouvoir exporter est

tel que

$$0 < \sigma < \frac{a_F}{n_F + 1}. \quad (1)$$

A l'équilibre, les quantités produites par chaque pays et destinées aux différents marchés, sous la condition (1) sont

$$\begin{aligned} Q_F^* &= n_F \frac{a_F + n_H \sigma}{n_H + n_F + 1} & Q_H^* &= n_H \frac{a_H - (n_F + 1)\sigma}{n_H + n_F + 1}, \\ X_F^* &= n_F \frac{a_H + n_H \sigma}{n_H + n_F + 1} & X_H^* &= n_H \frac{a_F - (n_F + 1)\sigma}{n_H + n_F + 1}. \end{aligned}$$

Une entreprise de la zone  $H$  supporte un coût marginal égal au prix des permis pour toute unité produite, tant pour la production locale qu'à l'exportation. Ainsi, introduire un prix des permis consiste à augmenter le coût marginal des entreprises domestiques. Ces dernières réduisent donc leur production. Du fait de la substituabilité stratégique, les entreprises étrangères accroissent leur production. Cependant, l'effet net est la contraction des quantités vendues sur chaque marché. Puisqu'une unité de production équivaut à une unité d'émissions, les émissions totales diminuent. Comme attendu, la diminution de la pollution est accompagnée d'une diminution du surplus des consommateurs et des profits des entreprises du pays  $H$ .

**Les fuites de carbone.** L'existence d'échanges internationaux, en plus de défavoriser les pays mettant en oeuvre des marchés de permis, conduit à un déplacement de la pollution d'une zone à l'autre. Les fuites de carbone dans la zone  $F$ , différence entre la pollution qui y est émise dans le cas d'un marché de permis dans le pays  $H$  et la pollution lorsqu'aucune régulation environnementale n'est en vigueur en  $H$ , s'écrivent comme

$$\Delta(E_F) = \Delta(Q_F) + \Delta(X_F).$$

Les fuites de carbone n'apparaissent que si les échanges internationaux existent entre les pays. Lorsque les deux pays exportent, les fuites de carbone sont égales à  $2 \frac{n_H n_F \sigma}{n_H + n_F + 1}$ . Les variations des exportations et des productions locales, lorsque les entreprises du pays  $H$  exportent, sont ici chacune égale à  $\frac{n_H n_F \sigma}{n_H + n_F + 1}$ . Les fuites de carbone s'accroissent avec le nombre d'entreprises de chaque zone. Plus le nombre d'entreprises est élevé dans la zone  $H$ , plus l'effet sur les quantités individuelles des entreprises du pays  $F$  est important, et plus la production totale et donc la pollution dans le pays  $F$  s'accroît. L'augmentation du nombre d'entreprises dans le pays  $F$  engendre deux effets : une diminution de l'effet de la hausse des coûts du pays  $H$  sur les décisions de production du pays  $F$ , ainsi qu'un accroissement de la production totale. Le deuxième effet l'emporte sur le premier.

Le prix des permis qui maximise le bien-être du pays  $H$  est donné par

$$\begin{aligned} \max_{\sigma} W_H = & \sum_{j \in n_H} ([P_F(Q_F^* + X_H^*) - \sigma] x_{jH}^* + [P_H(Q_H^* + X_F^*) - \sigma] q_{jH}^*) \\ & + SC_H(Q_H^* + X_F^*) - \lambda(Q_H^* + X_H^* + Q_F^* + X_F^*) + RR_H, \end{aligned}$$

où  $RR_H = (Q_H^* + X_H^*)\sigma$ . Les profits des entreprises du pays  $H$  diminuent avec l'augmentation du prix des permis. De même, le surplus des consommateurs décroît avec  $\sigma$ . Toutefois, dans le cas où le commerce est de nature unilatérale, les émissions totales sont inférieures à celles du commerce bilatéral. Lorsque le prix des permis est tel que les entreprises du pays  $H$  continuent d'exporter, le prix optimal est le suivant

$$\sigma^* = \frac{a_F[n_H - (n_F + 1)] - a_H(2n_F + 1) + 2(n_H + n_F + 1)\lambda}{n_H \cdot (3 + 4n_F)}.$$

Trois effets guident le choix du prix des permis optimal  $\sigma^*$  :

- Lorsque le dommage environnemental augmente, le prix des permis s'accroît. Le prix permet de diminuer les émissions totales et par conséquent le dommage environnemental.
- Le prix des permis est décroissant avec la taille du marché domestique. Afin de comprendre cet effet, considérons une situation hypothétique dans laquelle le pays  $H$  est isolé des échanges internationaux (par exemple,  $a_F = 0$  and  $n_F = 0$ ) et n'a pas de préoccupations environnementales (par exemple,  $\lambda = 0$ ). Le gouvernement fait alors face à une industrie imparfaitement concurrentielle produisant un bien homogène vendu à ses consommateurs. Afin de réduire les distorsions associées au pouvoir de marché de l'industrie, le gouvernement est alors incité à subventionner l'industrie. En revenant à notre cadre, cette incitation à la subvention tend à diminuer le prix des permis à polluer de façon à ne pas trop inciter l'industrie à contracter sa production.
- Le prix des permis peut dépendre positivement ou négativement de la taille du marché étranger, i.e.  $\frac{\partial \sigma^*}{\partial a_F} = \frac{(n_H - n_F - 1)}{n_H(3 + 4n_F)}$ . Cette dérivée dépend de la comparaison des structures de marché entre les deux pays. Lorsque le nombre d'entreprises domestiques est le plus élevé, celle-ci est positive. Pour comprendre ce résultat, considérons une autre situation hypothétique dans laquelle le pays  $H$  ne produit pas localement et vend toute sa production à l'exportation (par exemple,  $a_H = 0$ ) ; supposons comme précédemment que le pays  $H$  n'a pas de préoccupation environnementale. Le gouvernement doit choisir l'instrument qui permet d'aider son industrie à être plus compétitive à l'exportation. Son objectif consiste à maximiser les revenus des entreprises domestiques puisque le



coût de la taxe pour les entreprises correspond aux recettes fiscales du gouvernement. Ce cadre correspond au modèle de commerce stratégique de Brander et Spencer [1985], à la différence importante qu'il y a plusieurs entreprises en concurrence imparfaite dans les deux pays<sup>4</sup>. Lorsque le gouvernement décide de la subvention à son industrie, il existe un effet prix et un effet volume. Si le nombre d'entreprises domestiques est plus élevé que celui des entreprises étrangères, l'effet prix domine et il est intéressant pour le gouvernement d'instaurer une taxe. Dans le cas contraire, l'effet volume prédomine et le gouvernement instaure donc une subvention. Cet effet pousse le gouvernement du pays  $H$  à taxer (respectivement, subventionner) son industrie lorsque celle-ci est plus (respectivement, moins) concurrentielle que celle du pays  $F$ .

Ainsi, introduire un marché des permis dans un pays modifie les échanges commerciaux, et par voie de conséquence la balance commerciale de ce pays, entraînant ainsi une diminution de la pollution mondiale. Celle-ci est supportée uniquement par les entreprises domestiques. Des instruments tarifaires aux frontières pourraient donc être envisagés.

## AJUSTEMENTS FISCAUX AUX FRONTIERES

Nous étudions dans un premier temps l'effet de l'instauration de taxes sur les importations et de subventions aux exportations pour le pays qui pratique une politique environnementale donnée.

Soit  $\tau$  une taxe unitaire sur les exportations de  $F$  vers  $H$ . La production des entreprises du pays  $F$  se destine soit au marché local, soit à l'exportation. Dans ce dernier cas, les entreprises supportent la taxe sur leurs exportations. Soit  $s$  la subvention unitaire distribuée par le gouvernement de la zone  $H$  aux entreprises qui exportent vers  $F$ . Une entreprise de la zone  $H$  supporte un coût marginal égal au prix des permis pour toute unité produite pour la production locale et un coût marginal égal au prix des permis moins la subvention pour l'exportation. On considère dans un premier temps que le prix des permis à polluer est donné de façon exogène.

A l'équilibre en situation de commerce bilatéral, les productions sont les suivantes

$$\begin{aligned} Q_F^* &= n_F \frac{a_F + n_H(\sigma - s)}{n_H + n_F + 1} & Q_H^* &= n_H \frac{a_H + n_F\tau - (n_F + 1)\sigma}{n_H + n_F + 1}, \\ X_F^* &= n_F \frac{a_H - (n_H + 1)\tau + n_H\sigma}{n_H + n_F + 1} & X_H^* &= n_H \frac{a_F - (n_F + 1)(\sigma - s)}{n_H + n_F + 1}. \end{aligned}$$

La production totale de la zone  $H$ ,  $Q_H + X_H$ , augmente du fait de la mesure protectionniste

---

<sup>4</sup>Brander et Spencer (1985) considèrent des marchés nationaux monopolistiques.

et l'autre zone produit moins. Les émissions totales diminuent dans la zone  $F$  et augmentent en  $H$ .

Soit  $\bar{\tau}(\sigma) = \frac{a_H + n_H \sigma}{n_F + 1}$  la valeur de la taxe sur les importations au delà de laquelle les exportations du pays  $F$  cessent<sup>5</sup>. Le gouvernement n'a pas intérêt à fixer une taxe supérieure à  $\bar{\tau}(\sigma)$  puisque cet instrument n'affecte que les exportations et cette valeur les élimine.

Comment un gouvernement détermine-t-il les ajustements fiscaux aux frontières optimaux ? Le revenu du gouvernement de la zone  $H$  provient des ventes des permis et des recettes de la taxe sur les importations moins les subventions distribuées aux exportateurs, soit  $RR_H^* = (Q_H^* + X_H^*)\sigma + \tau X_F^* - sX_H^*$ . Le bien-être s'exprime alors comme

$$W_H = SC_H(Q_H^* + X_F^*) + P_F(Q_F^* + X_H^*)X_H^* + P_H(Q_H^* + X_F^*)Q_H^* - \lambda(Q_H^* + X_H^* + Q_F^* + X_F^*) + \tau X_F^*.$$

On obtient alors la décomposition suivante.

**Lemme 1.** *Lorsque les dommages environnementaux sont linéaires et la politique environnementale exogène, les deux instruments aux frontières (subvention aux exportations et taxe aux importations) sont indépendants et on peut écrire le bien-être domestique comme*

$$W_H(\tau, s, \sigma) = W_H^1(\tau, \sigma) + W_H^2(s, \sigma),$$

où  $W_H^1(\tau, \sigma) = SC_H^* + [P_H(Q_H^* + X_F^*)] Q_H^* - \lambda(Q_H^* + X_F^*) + \tau X_F^*$  et  $W_H^2(s, \sigma) = [P_F(Q_F^* + X_H^*)] X_H^* - \lambda(Q_F^* + X_H^*)$ .

Il y a ainsi une forme de séparabilité des deux instruments de politique commerciale. La taxe sur les importations n'affecte que les entreprises exportatrices du pays  $F$ , les entreprises locales et les consommateurs de la zone  $H$ . De même, les subventions aux exportations n'affectent que les consommateurs du pays  $F$  ainsi que les profits réalisés localement par la zone  $F$  et ceux à l'exportation pour les entreprises de  $H$ . Comme la pollution totale dépend de la production totale, la linéarité de notre modèle (fonction de dommage environnemental et coûts de production) permet de séparer les productions affectées par la subvention de celles affectées par la taxe.

Quelles sont les incitations du gouvernement à fixer une taxe positive ? L'effet d'une taxe aux importations sur le bien-être transite par quatre canaux, le revenu de la taxe, le surplus des consommateurs, les profits des entreprises domestiques sur le marché domestique et le

---

<sup>5</sup>Ici, nous avons  $c_F^x = \tau$  et  $c_F^l = \sigma$ .

niveau des émissions :

$$\frac{\partial W_H}{\partial \tau} = \underbrace{\frac{\partial SC_H^*}{\partial \tau}}_{(-)} + \underbrace{\frac{\partial [P_H(Q_H^* + X_F^*)Q_H^*]}{\partial \tau}}_{(+)} - \lambda \underbrace{\frac{\partial (Q_H^* + X_F^*)}{\partial \tau}}_{(-)} + \underbrace{\frac{\partial \tau X_F^*}{\partial \tau}}_{(?)}$$

Augmenter la taxe sur les importations augmente le coût marginal des concurrents étrangers et entraîne un accroissement du prix du bien sur le marché domestique. Ainsi, l'impact sur les consommateurs est négatif et leur surplus décroît. Cependant, les profits des entreprises domestiques augmentent puisque leurs concurrents ont des coûts marginaux plus élevés. La taxe aux importations permet de réduire les émissions étrangères et a donc un effet positif sur le dommage environnemental. L'effet de la taxe sur les recettes fiscales se décompose en un effet prix et un effet quantité. En effet, si la taxe est élevée, un accroissement de celle-ci réduit les recettes. Cependant, pour de faibles valeurs de la taxe cet effet est positif.

Il est intéressant d'étudier la dérivée du bien-être en fonction de la taxe sur les importations pour des valeurs faibles de cette dernière :

$$\frac{\partial W_H}{\partial \tau} \Big|_{\tau=0} = n_F \frac{(1 + 2n_H)a_H + (n_H + 2n_H^2)\sigma + (n_F + n_H + 1)\lambda}{(1 + n_H + n_F)^2} > 0.$$

Ainsi, partant d'une situation où aucune taxe aux frontières n'est en place, le gouvernement a une incitation à instaurer une telle taxe strictement positive. Ces incitations subsistent lorsque le dommage environnemental est nul : les gains réalisés en termes de profits des firmes et du revenu du gouvernement dominent la perte de surplus supportée par les consommateurs. Par conséquent, il existe deux types d'incitations à implémenter une taxe aux frontières : stratégiques et environnementales.

**Proposition 1.** *Un pays qui met en place des permis d'émissions a une incitation stricte à fixer une taxe sur les importations. La valeur optimale de cette taxe  $\tau^*$ , à prix des permis exogène, est égale à<sup>6</sup>*

$$\tau^* = \frac{(1 + 2n_H)a_H}{2 + 4n_H + 2n_H^2 + n_F} + \frac{(1 + 2n_H)n_H}{2 + 4n_H + 2n_H^2 + n_F}\sigma + \frac{n_H + n_F + 1}{2 + 4n_H + 2n_H^2 + n_F}\lambda.$$

A priori, la taxe optimale peut être supérieure ou inférieure au dommage marginal environnemental ; la comparaison avec le prix des permis, considéré ici comme donné, est aussi ambiguë. Les structures de marchés sont déterminantes pour ces comparaisons.

La taxe optimale est croissante avec le dommage environnemental mais aussi avec le prix des permis. Plus le dommage environnemental est élevé, plus la taxe doit être élevée afin de

---

<sup>6</sup>On suppose ici implicitement que la taxe optimale conduit les entreprises de la zone  $F$  à exporter, i.e.  $\tau^* < \bar{\tau}(\sigma)$ , ce qui est le cas lorsque  $(n_F + n_H + 1)(n_F + 1)\lambda - (1 + 2n_H + 2n_H^2 - 2n_H n_F)(n_H\sigma + a_H) < 0$ .

réduire les émissions et par conséquent le dommage environnemental global. Le niveau de la taxe doit augmenter afin de compenser une hausse du prix des permis et donc les pertes de profits des entreprises.

Lorsque le nombre d'entreprises est grand sur chaque marché, nous retrouvons le résultat habituel selon lequel la taxe est égale au prix des permis. Dans le cas où sur chaque marché un monopole est en place, la taxe est égale à  $\frac{2}{3}(a_H + \sigma + \lambda)$  et est donc supérieure au dommage marginal (car  $a_H > \lambda$ ). Lorsque le nombre d'entreprises étrangères est grand et lorsque seule une entreprise domestique existe, la taxe sur les importations tend vers le dommage marginal.

Nous étudions, à présent, l'impact d'une subvention aux exportations sur le bien-être du pays  $H$ . L'effet d'une subvention aux exportations sur le bien-être transite par deux canaux : l'impact sur les exportations des entreprises domestiques et le niveau des émissions.

$$\frac{\partial W_H}{\partial s} = \underbrace{\frac{\partial [P_F(Q_F^* + X_H^*)X_H^*]}{\partial s}}_{(?)} - \lambda \underbrace{\frac{\partial (Q_F^* + X_H^*)}{\partial s}}_{(+)}$$

Un accroissement de la subvention n'engendre pas forcément une hausse des profits à l'exportation pour les entreprises domestiques puisque cela modifie le prix de vente de ces exportations. On obtient aussi

$$\left. \frac{\partial W_H}{\partial s} \right|_{s=0} = \frac{a_F(1 + n_F - n_H) + 2n_H(1 + n_F)\sigma - (n_H + n_F + 1)\lambda}{(1 + n_H + n_F)^2}$$

La dérivée de la fonction de bien-être pour une valeur faible de la subvention aux exportations peut être positive ou négative. Lorsque l'effet sur le dommage environnemental l'emporte (car le dommage marginal est élevé), la valeur est négative. Dans le cas contraire, la valeur dépend de la comparaison du nombre d'entreprises entre les deux pays. Lorsque le nombre d'entreprises étrangères est le plus élevé, le gouvernement est incité à instaurer une subvention aux exportations.

**Proposition 2.** *Un pays qui met en place des permis d'émissions peut avoir dans certains cas une incitation à fixer une subvention aux exportations. La valeur optimale de cette subvention  $s^*$ , à prix des permis exogène, est égale à*

$$s^* = \sigma + \frac{(1 + n_F - n_H)a_F}{2n_H(1 + n_F)} - \frac{(n_H + n_F + 1)\lambda}{2n_H(1 + n_F)}$$

La subvention optimale est croissante avec le prix des permis et décroissante par rapport au dommage environnemental. Subventionner les exportations revient à abaisser le coût marginal de production pour les produits dédiés à l'exportation des entreprises domestiques. Celles-ci supportent déjà le prix des permis. Ainsi, le niveau de la subvention optimale dépend

du niveau du prix des permis achetés par les entreprises. En baissant le coût marginal de production, la subvention engendre une hausse des productions domestiques et une baisse des productions étrangères. Cependant, l'effet net est positif sur la production mondiale et donc sur la pollution.

La subvention aux exportations peut dépendre positivement ou négativement de la taille du marché étranger :  $\frac{\partial s^*}{\partial a_F} = \frac{(n_F+1-n_H)}{2n_H(1+n_F)}$ . Cet effet dépend de la comparaison des structures de marché entre les deux pays. Lorsque le nombre d'entreprises domestiques est le plus élevé, celui-ci est négatif. La subvention permet dans certains cas d'augmenter la somme des profits des entreprises nets des subventions distribuées par le gouvernement. Lorsque les deux structures de marché sont concurrentielles, la subvention est égale au prix des permis.

Nous pouvons en conclure que sous certaines conditions, telles que des dommages environnementaux élevés et la structure du marché étranger plus concentrée que la structure de marché domestique, il ne faut pas instaurer de subventions aux exportations égales au prix des permis. Dans le cas général, la comparaison entre le prix des permis et la subventions aux exportations est ambiguë.

Une autre question peut être abordée : l'instauration de taxes aux frontières peut-elle modifier à long terme la politique environnementale ? En effet, on ne peut considérer la régulation environnementale comme exogène que sur une certaine période. Les choix environnementaux et commerciaux ne sont pas forcément pris de manière synchronisée. Nous étudions alors l'effet de l'instauration de taxes sur les importations et de subventions sur la régulation environnementale d'un pays ( $\tau > 0$  et  $s > 0$ ). A l'instar de la section précédente, nous cherchons la valeur du prix des permis qui maximise le bien-être pour des valeurs données de la taxe sur les importations et de la subvention aux exportations. Le prix optimal des permis est égal à

$$\sigma(\tau, s) = \sigma^* + \frac{2n_H(n_F + 1)s + n_F(2n_H + 1)\tau}{n_H(3 + 4n_F)},$$

où  $\sigma^*$  est le prix optimal sans ajustements aux frontières.

**Lemme 2.** *Lorsque le gouvernement instaure des ajustements aux frontières, il est incité à modifier sa politique environnementale et à la rendre plus sévère.*

Le prix des permis optimal est croissant avec la taxe sur les importations et la subvention aux exportations. La subvention relâche la contrainte environnementale mondiale et la taxe sur les importations limite les émissions étrangères mais accroît les émissions domestiques. Ainsi, instaurer des ajustements aux frontières nécessite à terme de revoir sa politique environnementale nationale.

Considérons, à présent, un gouvernement qui dispose de ces trois instruments. Ce cas est intéressant puisqu'il permet de séparer les différents effets. En effet, le gouvernement grâce

à la présence de trois instruments peut corriger plus finement les différentes distorsions de pollution et de concurrence. Les conditions d'optimalité de ces trois instruments s'écrivent comme suit

$$\hat{\sigma} = \lambda + \frac{\lambda - a_H}{n_H}, \quad \hat{\tau} = \lambda \text{ et } \hat{s} = \hat{\sigma} + \frac{(1 + n_F)(a_F - \lambda) - n_H(a_F + \lambda)}{2n_H(1 + n_F)}.$$

On obtient alors :

**Proposition 3.** *Lorsque le gouvernement utilise les trois instruments à la fois, la taxe optimale sur les importations est supérieure ou égale au prix des permis et égale au dommage marginal de la pollution. Les trois instruments prennent la même valeur à l'optimum lorsque les deux marchés sont en situation concurrentielle ( $n_H$  et  $n_F$  grands). Les exportations dans le pays  $H$  sont nulles à l'équilibre.*

Il faut noter que l'optimum correspond à une situation où les entreprises étrangères n'exportent pas ( $X_F = 0$ ). Ceci vient du fait que les entreprises domestiques et étrangères ont les mêmes coûts de production. Il est alors optimal pour le gouvernement de supprimer les importations domestiques afin de réduire les émissions totales. Lorsque le gouvernement utilise les trois instruments à la fois, la taxe sur les importations est égale au dommage marginal environnemental et donc à la taxe pigouvienne. Le prix des permis est toujours inférieur au dommage marginal environnemental mais tend vers celui-ci lorsque le nombre d'entreprises domestiques augmente<sup>7</sup>. En effet, le prix des permis est utilisé à la fois pour corriger les distorsions de pouvoir de marché dans le pays  $H$  et diminuer la pollution. Dans un contexte de concurrence pure et parfaite, le permis ne corrigeant que l'externalité, son prix est égal au dommage environnemental. De même, la subvention aux exportations corrige deux distorsions, le pouvoir de marché dans le pays  $F$  et la pollution. Si le nombre d'entreprises étrangères est élevé, la subvention aux exportations est alors égale à la taxe pigouvienne.

Regardons à présent quatre cas extrêmes, où le nombre d'entreprises pour chaque marché peut être soit un, soit grand et nous ordonnons les valeurs des trois instruments à l'optimum.

$$\begin{array}{ll} n_H \text{ grand} & n_F \text{ grand} : \quad \hat{\tau} \approx \hat{s} \approx \hat{\sigma}, \\ n_H \text{ grand} & n_F = 1 : \quad \hat{s} < \hat{\tau} \approx \hat{\sigma}, \\ n_H = 1 & n_F \text{ grand} : \quad \hat{\sigma} < \hat{s} < \hat{\tau}, \\ n_H = 1 & n_F = 1 : \quad \begin{array}{l} \hat{\sigma} < \hat{s} < \hat{\tau} \quad \text{si } \lambda < \frac{a_F}{3}, \\ \hat{s} < \hat{\sigma} < \hat{\tau} \quad \text{si } \lambda > \frac{a_F}{3}. \end{array} \end{array}$$

En l'absence de pouvoir de marché, les trois instruments prennent la même valeur. Nous en concluons que dans un contexte de concurrence imparfaite, l'ajustement fiscal au sens

---

<sup>7</sup>Ceci est vrai tant que  $n_H$  et  $n_F$  sont tels que les quantités individuelles sont toujours positives.

classique du terme ne doit pas être utilisé. Nous démontrons en annexe que la subvention aux exportations n'est jamais supérieure à la taxe sur les importations. Subventionner les exportations permet de relâcher la contrainte environnementale pesant sur les entreprises domestiques. La comparaison entre la subvention et le prix des permis dépend du dommage marginal. Un dommage élevé nécessite un prix des permis supérieur à la subvention afin de corriger l'externalité. Il faut cependant noter qu'une subvention aux exportations supérieure au prix des permis correspond à une situation où les entreprises exportatrices ne sont pas soumises à la régulation environnementale et sont subventionnées de surcroît.

## DISCUSSION

En plus du critère de maximisation du bien-être domestique déjà étudié, nous considérons deux critères supplémentaires, le bien-être mondial et les fuites de carbone. Le premier critère mentionné est celui relatif aux instances supranationales. Nous souhaitons analyser dans quelles mesures la taxe sur les importations et la subvention aux exportations sont nécessaires de ce point de vue. Nous souhaitons aussi utiliser un critère strictement environnemental. Les fuites de carbone apparaissent être un des principaux écueils des régulations environnementales unilatérales. De plus, lorsque la politique environnementale est exogène et les seuls instruments disponibles sont les ajustements fiscaux aux frontières, il semble légitime de s'intéresser aux émissions produites dans le pays  $F$  et plus précisément aux fuites de carbone.

**Maximisation du bien-être mondial** Le bien-être mondial  $W_H + W_F$  est la somme des fonctions de bien-être de chaque pays. Le bien-être mondial prend en compte les profits de toutes les entreprises, les surplus des consommateurs des deux marchés, les recettes fiscales et le dommage environnemental pour les deux pays. Nous avons montré auparavant que les fonctions de bien-être de chaque pays pouvaient s'écrire comme la somme de deux fonctions, l'une dépendant de la taxe sur les importations et l'autre de la subvention aux exportations. Ainsi, lorsque le gouvernement prend en compte un critère de bien-être mondial, les deux instruments aux frontières sont toujours indépendants lorsque la politique environnementale est exogène et la fonction du dommage linéaire.

**Elimination des fuites de carbone.** Nous cherchons les taxes sur les importations et les subventions aux exportations permettant de supprimer les fuites de carbone

$$\Delta(E_F) = \Delta(Q_F) + \Delta(X_F) = 0.$$

	Prix des permis $\sigma$		
	Taxe sur les importations $\tau, s = 0$	Subvention aux exportations $\tau = 0, s$	Ajustements fiscaux aux frontières $\tau, s$
$\Delta(E_F) = 0$	$\tau = \frac{2n_H\sigma}{n_H+1}$	$s = 2\sigma$	$\tau = \frac{n_H\sigma}{n_H+1}, s =$
$W_H$	$\tau^* = \frac{(1+2n_H)a_H+(n_H+2n_H^2)\sigma+(n_H+n_F+1)\lambda}{2+4n_H+2n_H^2+n_F}$	$s^* = \sigma + \frac{(1+n_F-n_H)a_F-(n_H+n_F+1)\lambda}{2n_H(1+n_F)}$	$\tau^*, s^*$
$W_H + W_F$	$\tau^{**} = -a_H + \frac{(n_H+n_F+1)\lambda-\sigma}{n_F}$	$s^{**} = \sigma + \frac{a_F-(n_H+n_F+1)\lambda}{n_H}$	$\tau^{**}, s^{**}$

Figure 1: Résultats optimaux en fonction des critères à atteindre à politique environnementale donnée.

Il faut noter que, lorsque la taxe sur les importations et la subvention aux exportations sont utilisées simultanément, une multiplicité de solutions est envisageable. Cependant, nous considérons les niveaux des taxes et des subventions qui annulent respectivement et indépendamment la variation des émissions du pays provenant du marché  $H$  et celles du marché  $F$ .

Nous présentons l'ensemble des résultats dans le tableau 1 et traitons les cas où les taxes sur les importations et les subventions aux exportations sont utilisées indépendamment et simultanément.

Instaurer une taxe sur les importations augmente le pouvoir de marché domestique et réduit les émissions de CO2 étrangères. De manière symétrique, la mise en place d'une subvention aux exportations diminue le pouvoir de marché dans le pays étranger et relâche la contrainte environnementale domestique. Nous remarquons que la taxe optimale peut être négative et ainsi consister en une subvention aux importations auprès des firmes étrangères lorsque l'évaluation du dommage environnemental est faible et le pouvoir de marché des entreprises domestiques important. Lorsque le nombre d'entreprises dans le pays  $F$  est important, la subvention est faible et peut même être négative lorsque le dommage environnemental est très important.

Nous remarquons que la subvention peut être supérieure au prix des permis lorsque les structures de marché sont peu concurrentielles. Si les deux structures de marché sont concurrentielles, alors aucune subvention aux exportations ne doit être mise en place, et une taxe sur les importations peut être recommandée si le dommage est important.



Nous utilisons à présent les résultats relatifs à la disparition des fuites de carbone. Le couple taxe-subsidation, qui annule respectivement les fuites de carbone sur le marché domestique et le marché étranger est tel que la valeur de la taxe est comprise entre un demi et une fois le prix d'un permis,  $\tau \in [\frac{\sigma}{2}; \sigma]$ , alors que la subvention est égale au prix des permis. Ainsi, seules les productions vendues localement dans le pays  $H$  sont soumises au marché des permis et à une régulation environnementale. Le coût de la régulation repose seulement sur les entreprises non ouvertes au commerce international.

Toutefois, lorsque le gouvernement n'utilise qu'un seul instrument aux frontières, la valeur de celui-ci est supérieure au prix des permis. La taxe qui annule les fuites de carbone est comprise entre une et deux fois le prix d'un permis,  $\tau \in [\sigma, 2\sigma]$ . En cas de monopole dans la zone  $H$ , la taxe aux importations est égale au prix des permis,  $\tau = \sigma$ . La taxe augmente avec le nombre d'entreprises. La taxe annulant les fuites de carbone est supérieure au prix des permis. Ceci vient du fait que la taxe n'a d'influence que sur les importations alors que le prix des permis est supporté par les entreprises du pays  $H$  tant pour les exportations que pour la production vendue localement. Ainsi, pour compenser les effets générés sur les deux marchés, la taxe doit être plus élevée que le prix des permis. En revanche, utiliser uniquement la subvention nécessite de la fixer à une valeur égale au double du prix des permis. Ceci s'explique de manière symétrique au résultat précédent. Éliminer les fuites de carbone avec comme seul instrument la subvention revient à sacrifier la politique environnementale domestique.

## CONCLUSION

La mise en oeuvre d'une régulation environnementale unilatérale dans un pays engendre une détérioration de la balance commerciale de ce pays et une diminution de la pollution mondiale. Le pays a une incitation stricte à fixer une taxe sur les importations. Cependant, il n'a pas toujours intérêt à fixer une subvention aux exportations. Les structures de marché jouent un rôle important dans ces incitations.

À la suite de la mise en place d'ajustements aux frontières, le gouvernement voudrait renégocier sa politique environnementale et la rendre plus contraignante. Lorsqu'il a tous les instruments à sa disposition, le gouvernement a intérêt à utiliser les ajustements fiscaux au sens classique du terme (c'est-à-dire l'égalité entre taxe aux importations, subvention aux exportations et prix des permis) uniquement dans le cas où il n'existe pas de pouvoir de marché. En présence de pouvoir de marché, la taxe sur les importations devrait toujours être supérieure au prix des permis et à la subvention, ce qui soulève le problème de l'acceptabilité politique d'une telle mesure. Notre travail a illustré que les structures de marché sont importantes pour déterminer les incitations et les effets de la mise en place d'ajustements aux

frontières.

Enfin, l'utilisation d'ajustements fiscaux aux frontières se heurte à de nombreuses difficultés quant à l'applicabilité des règles de l'OMC à ces instruments [Pauwelyn, 2007]. A cette difficulté juridique, viennent s'ajouter les incitations privées des gouvernements à utiliser ces instruments pour maximiser leur bien-être national et non le bien-être mondial.

## ANNEXES

### Preuve de la Proposition 1

Nous souhaitons montrer qu'un gouvernement instaurant une régulation unilatérale a une incitation stricte à mettre en oeuvre une taxe sur les importations. Nous signons les effets stratégiques de la taxe sur les importations sur les différentes composantes de la fonction de bien-être.

$$\begin{aligned}\frac{\partial SC_H^*}{\partial \tau} &= -\frac{n_F}{n_H + n_F + 1}(Q_H + X_F) < 0, \\ \frac{\partial [P_H(Q_H^* + X_F^*)Q_H^*]}{\partial \tau} &= \frac{n_F}{n_H + n_F + 1}(P_H(Q_H^* + X_F^*) + Q_H^*) > 0, \\ \frac{\partial (Q_H^* + X_F^*)}{\partial \tau} &= -\frac{n_F}{n_H + n_F + 1} < 0, \\ \frac{\partial \tau X_F^*}{\partial \tau} &= n_F \frac{a_H - 2(n_H + 1)\tau + n_H\sigma}{n_H + n_F + 1}.\end{aligned}$$

Le dernier effet dépend de la valeur de la taxe. Cependant, pour une valeur très faible de cette dernière, l'effet est positif. Nous en déduisons

$$\begin{aligned}\frac{\partial W_H}{\partial \tau}\Big|_{\tau=0} &= \frac{\partial SC_H^*}{\partial \tau}\Big|_{\tau=0} + \frac{\partial [P_H(Q_H^* + X_F^*)Q_H^*]}{\partial \tau}\Big|_{\tau=0} - \lambda \frac{\partial (Q_H^* + X_F^*)}{\partial \tau}\Big|_{\tau=0} + \frac{\partial \tau X_F^*}{\partial \tau}\Big|_{\tau=0} \\ &= n_F \frac{(1 + 2n_H)a_H + (n_H + 2n_H^2)\sigma + (n_F + n_H + 1)\lambda}{(1 + n_H + n_F)^2} > 0.\end{aligned}$$

Nous en concluons que le gouvernement a une incitation stricte à introduire une taxe sur les importations.

### Preuve de la Proposition 2

Nous souhaitons montrer qu'un gouvernement instaurant une régulation unilatérale n'est pas toujours incité à mettre en oeuvre une subvention aux exportations. Nous présentons les

effets stratégiques de la subvention aux exportations sur la fonction de bien-être.

$$\frac{\partial [P_F(Q_F^* + X_H^*)X_H^*]}{\partial s} = \frac{(n_F + 1 - n_H)a + 2n_H(n_F + 1)(\sigma - s)}{(n_H + n_F + 1)^2},$$

$$\frac{\partial(Q_F^* + X_H^*)}{\partial s} = \frac{n_H}{n_H + n_F + 1} > 0.$$

L'effet sur les recettes dépend, comme nous l'avons vu dans la Section relative à la régulation unilatérale des émissions, des structures de marché et de la valeur de la subvention et du prix du permis. Lorsque la subvention aux exportations prend une valeur faible voire nulle, l'effet dépend toujours des structures de marché de chaque pays. Ainsi, même pour une valeur faible de la subvention, la première dérivée du bien-être par rapport à la subvention n'est pas forcément positive.

### Preuve de la Proposition 3

Nous souhaitons démontrer que la taxe sur les importations est toujours supérieure au prix des permis et à la subvention aux exportations. Nous savons que

$$\hat{\sigma} = \lambda + \frac{\lambda - a_H}{n_H},$$

$$\hat{s} = \lambda + \hat{\sigma} + \frac{(1 + n_F)(a_F - \lambda) - n_H(a_F + \lambda)}{2n_H(1 + n_F)},$$

$$\hat{\tau} = \lambda.$$

Ainsi,  $\hat{\sigma} = \hat{\tau} + \frac{\lambda - a_H}{n_H}$ . Or, nous savons que  $\lambda < a_F$ . Nous en concluons que  $\hat{\tau} > \hat{\sigma}$ . De plus, nous pouvons écrire la subvention optimale aux exportations comme une fonction de la taxe optimale sur les importations

$$\hat{s} = \hat{\tau} + \frac{(1 + n_F)(a_F + \lambda - 2a_H) - n_H(a_F + \lambda)}{2n_H(1 + n_F)}.$$

Or, par hypothèse, nous avons  $\lambda < a_F < a_H$ . Nous en déduisons que la subvention aux exportations est toujours inférieure à la taxe sur les importations.

### Valeur des instruments aux frontières qui annulent les fuites de carbone

Les fuites de carbone sont définies par

$$\Delta(E_F) = \Delta(Q_F) + \Delta(X_F) = 0.$$

De plus les émissions initiales du pays  $F$  sont égales à  $\frac{n_F(a_H+a_F)}{n_H+n_F+1}$ . Ainsi les fuites de carbone sont égales à

$$\begin{aligned}\Delta(E_F) &= n_F \frac{a_F + n_H(\sigma - s)}{n_H + n_F + 1} + n_F \frac{a_H - (n_H + 1)\tau + n_H\sigma}{n_H + n_F + 1} - \frac{n_F(a_H + a_F)}{n_H + n_F + 1}, \\ &= n_F \frac{2n_H\sigma - (n_H + 1)\tau - n_Hs}{n_H + n_F + 1}.\end{aligned}$$

Ainsi, lorsque seule la taxe sur les importations est utilisée, la taxe qui annule les fuites de carbone est égale à  $\frac{2n_H\sigma}{n_H+1}$ . Lorsque seule la subvention aux exportations est utilisée, la subvention annulant les fuites de carbone est égale à  $2\sigma$ . Un continuum de couples taxes et subventions peuvent annuler les fuites de carbone. Toutefois, nous retenons le couple  $s$  et  $\tau$  respectivement tels que  $\Delta(Q_F) = 0$  et  $\Delta(X_F) = 0$ . Nous trouvons alors  $\tau = \frac{n_H\sigma}{n_H+1}$  et  $s = \sigma$ .

## BIBLIOGRAPHIE

- Barnett, A.H. [1980], "The Pigouvian tax rule under monopoly," *American Economic Review*, 70, p. 1037-1041.
- Barrett, S. [1994], "Strategic Environmental Policy and International Trade," *Journal of Public Economics*, 54, p. 325-338.
- Brander, J. et Spencer, D. [1985], "Export Subsidies and International Market Share Rivalry," *Journal of International Economics*, 18, p. 83-100.
- Demaily, D. et Quirion, Ph. [2005], "The Competitiveness Impact of CO<sub>2</sub> Emissions Reduction in the Cement Sector," Report to OECD Environment Directorate – Center for tax policy and administration, 16 November 2005.
- Fisher, C. et A.K. Fox. [2009], "Comparing Policies to Combat Emissions Leakage: Border Tax Adjustments versus Rebates," *Resources for the future*, DP 09-02.
- Kennedy, P. W. [1994], "Equilibrium Pollution Taxes in Open Economies with Imperfect Competition," *Journal of Environmental Economics and Management*, 27, p. 49-63.
- Pauwelyn, J. [2007], U.S. Federal Climate Policy and Competitiveness Concerns: The Limits and Options of International Trade Law. Nicholas Institute for Environmental Policy Solutions. Working paper 07-02. Durham, NC: Duke University.
- Ponssard, J.P. et Walker, N. [2008], "EU Emissions Trading and the Cement Sector: A Spatial Competition Analysis," *Climate Policy*, 8, p. 467-493.
- Smale, R., Hartley, M., Hepburn, C., Ward, J. et Grubb, M. [2006], "The Impact of CO<sub>2</sub> Emissions Trading on Firm Profits and Market Prices," *Climate Policy*, 6, p. 29-46.
- Straume O. R. [2006], "Product Market Integration and Environmental Policy Coordination in an International Duopoly", *Environmental and Resource Economics*, 34, p. 535-564.
- Ulph, A. [1996], "International Trade and the Environment: A Survey of Recent Economic Analysis", in H. Folmer and T. Tietenberg (eds), *The International Yearbook of Environmental and Resource Economics 1997/98*, Edward Elgar, p. 205-242.
- Weitzman, M. [1974], Prices vs. quantities. *Review of Economic Studies* 41, p. 477-491.