

Politique environnementale unilatérale *versus* politique bilatérale dans un modèle à deux pays

Yolande HIRIART *

RÉSUMÉ. – Dans un cadre de concurrence à deux pays avec une incertitude sur les coûts de production et le résultat de la *R&D*, nous étudions une politique favorable à la recherche de technologie propre. La politique commerciale s'avère un parfait substitut de la politique environnementale dans une concurrence homogène à la *Bertrand*. Lorsque le deuxième pays intervient, un comportement de *passager clandestin* apparaît entre gouvernements dès lors que leurs politiques incitatives ne sont pas coordonnées.

Unilateral *Versus* Bilateral Environmental Policy in a Two-Country Model

ABSTRACT. – In a two-country trade framework with uncertainty on the production costs and *R&D* outcomes, we analyze a unilateral policy aimed at incentivizing a domestic firm to find a clean technology. Under homogeneous *Bertrand* competition, we show that the trade policy is a perfect substitute to the environmental policy. When both countries intervene, a *free-riding* problem appears between governments as soon as they do not choose cooperatively their policies.

* Y. HIRIART: Université de Toulouse (LEERNA-IDEI).

Je remercie vivement Éric MALIN et David MARTIMORT ainsi que les rapporteurs de cet article pour leurs suggestions, et reste responsable pour toute erreur ou omission.

1 Introduction

Une difficulté majeure dans la prévention d'une pollution globale est de susciter la participation de pays pour lesquels cette prévention n'est pas une priorité. Le principe de souveraineté fait qu'aucune institution internationale ne peut obliger un pays à signer un traité ou n'a le pouvoir de réguler les émissions nationales au moyen d'une législation supranationale. Un pays souhaitant réduire le niveau d'une pollution globale ne peut donc agir que sur son territoire. Ceci appelle naturellement l'analyse d'une politique de prévention entreprise de manière unilatérale. Or, lorsque tous les pays sont sources d'émissions, une politique unilatérale ne peut avoir qu'un impact environnemental limité, mais un impact important sur la compétitivité des firmes visées. En effet, dans un contexte de concurrence internationale, les firmes soumises à une politique environnementale peuvent être lésées par rapport à leurs rivales situées dans des pays n'intervenant pas.

Quelle peut être la nature d'une politique environnementale lorsqu'elle est entreprise de façon unilatérale et que les firmes rivales ne sont soumises à aucune politique équivalente ? Quel peut être l'apport d'une politique commerciale ? En quoi la politique environnementale est-elle différente lorsqu'elle est bilatérale ? Quelles sont les conséquences sur la pollution globale d'un manque de coordination entre pays ?

Nous analysons successivement une politique destinée à lutter contre une pollution globale dans les cas où elle est entreprise de manière unilatérale par un pays (le Nord) puis de manière bilatérale par les deux pays formant notre économie (le Nord et le Sud). Nous intégrons à cette fin des variables environnementales dans un cadre duopolistique de commerce international et montrons la politique optimale du premier pays dans les deux situations. En accord avec CARRARO et SINISCALCO [1993b], nous considérons une politique dirigée vers l'innovation¹. Nous introduisons une dimension de risque moral au travers de l'effort de R&D, et de l'incertitude dans les coûts de production et dans le résultat de la R&D. Nous analysons une politique destinée à inciter la firme nationale à rechercher une technologie propre incertaine, dans un contexte où les parts de marché sont aléatoires du fait d'une incertitude sur les coûts de production.

Pour modéliser les interactions commerciales, nous adoptons une concurrence à la Bertrand avec bien homogène. Le consommateur représentatif est situé au Nord². Du fait de la concurrence à la Bertrand, la firme ayant le coût

1. Selon une étude auprès de 200 firmes importantes de pays industriels, rapportée par CARRARO et SINISCALCO [1993b], la réponse première de ces firmes à des mesures de politique environnementale passe par une innovation technologique et organisationnelle ; ensuite viennent les délocalisations, et seulement pour un petit nombre se produisent des substitutions d'intrants et une réduction du volume de production. CARRARO et SINISCALCO préconisent alors l'utilisation d'instruments élaborés spécifiquement pour favoriser l'innovation technologique environnementale.

2. L'absence de marché dans le Sud est une manière assez particulière de représenter l'asymétrie entre pays développés et pays en voie de développement. Cette hypothèse peut aisément se justifier : l'économie des PVD est bien souvent duale, avec un secteur moderne produisant des biens destinés à l'exportation vers les pays industriels, et un secteur traditionnel produisant des biens destinés à une auto-consommation locale. Le bien de consommation finale appartient donc au secteur moderne du Sud.

le plus faible gagne tout le marché³. En normalisant la taille de ce marché à un, nous supprimons tous les effets sur le bien-être liés aux variations du volume de production. Cette simplification permet de traiter l'intervention d'un deuxième gouvernement, analyse difficile lorsque l'on conserve les effets de volume d'une concurrence à la Cournot ou d'une concurrence à la Bertrand différenciée⁴. Avec une telle hypothèse, la politique environnementale est conditionnelle au fait que la production a lieu sur le territoire national, ce qui introduit nécessairement un effet distorsif. Par ailleurs, le caractère aléatoire du coût unitaire de production conditionne pour les firmes la probabilité de gagner ou de perdre le marché. Il existe une double raison à l'introduction de ce type d'incertitude. Elle permet tout d'abord d'élargir la portée de l'analyse en montrant comment est affecté le choix des instruments. La seconde raison est technique : lorsque le régulateur modifie légèrement la taxe environnementale, cela modifie modérément les probabilités de gagner le marché et permet d'éviter, de ce fait, les solutions en coin.

Dans les deux pays, la politique environnementale prend la forme d'une taxe appliquée à toute émission polluante par la firme nationale. La firme peut alors fournir un effort de recherche destiné à faire baisser son coefficient d'émission. Le résultat de cette R&D est aléatoire : un succès permet de faire baisser le coefficient d'émission à sa valeur basse, alors qu'un échec le maintient à sa valeur haute initiale. Le nombre d'instruments n'étant pas restreint, nous proposons un menu de taxes selon le caractère plus ou moins polluant du processus productif, ce qui en fait un instrument incitatif. La politique commerciale prend la forme d'un droit de douane appliqué sur le bien importé en provenance du Sud⁵.

La situation de référence qui nous permet par la suite de faire des analyses de statique comparative est celle où le Nord prend seul l'initiative d'une politique environnementale. Nous déterminons les niveaux de taxes ainsi que le niveau d'effort optimaux du point de vue du gouvernement du Nord, en tenant compte du caractère aléatoire du succès de la R&D et de l'incertitude sur les coûts de production. Nous comparons les politiques optimales selon que l'effort de recherche par la firme est directement observable par le régulateur ou ne l'est pas. Une *contrainte incitative* est prise en compte par le régulateur lorsque l'effort n'est pas observable. Le cas d'information incomplète intègre ainsi un problème de risque moral qui s'apparente aux problèmes développés par HOLMSTRÖM [1979], SHAVELL [1979], et GROSSMAN et HART [1983]. Il s'en distingue dans le sens où la politique environnementale affecte ici directement les profits réalisés, en modifiant la probabilité que la firme soumise à la politique environnementale gagne dans la concurrence en prix⁶.

3. Il y a donc une enchère entre les deux firmes pour obtenir le droit de servir le marché du Nord.

4. Le cas d'une politique environnementale unilatérale est étudié avec une concurrence internationale à la Cournot puis une concurrence à la Bertrand différenciée dans HIRIART [2002a]. Nous y montrons comment des considérations stratégiques amènent un gouvernement à abaisser les normes environnementales.

5. La politique commerciale devient dans cette optique un instrument de la politique environnementale. Un exemple est celui du Protocole de Montréal de 1987 pour la suppression rapide des CFC. Cette pratique est autorisée par l'OMC, qui fixe des règles pour éviter de faire de la protection environnementale un protectionnisme déguisé.

6. Les problèmes classiques de risque moral sont tels que la politique incitative affecte les choix d'efforts qui affectent eux-mêmes les probabilités de réalisation des différents niveaux de profit. Les réalisations de ces profits ne sont, quant à elles, pas affectées par la politique incitative, contrairement à ce qui se passe dans notre modèle. Voir LAFFONT et MARTIMORT [2002].

Notre premier résultat est que la politique optimale dans les deux contextes informationnels implique de subventionner la production de la firme. La raison en est simple et tient à l'interaction stratégique entre les deux firmes : une subvention permet d'augmenter la probabilité pour la firme nationale de gagner la concurrence à la Bertrand et capturer les profits. Nous montrons que la subvention optimale en cas de succès de la R&D doit nécessairement être supérieure à la subvention optimale en cas d'échec. Favorisant une production nationale propre, le gouvernement avantage la firme locale en même temps qu'il réduit les émissions. La prise en compte de la non-vérifiabilité de l'effort de R&D modifie la politique optimale du gouvernement du Nord. Cette perspective le conduit à réduire la subvention optimale en cas d'échec de la R&D, mais à l'augmenter en cas de succès : la différence de subventions est donc accrue, ce qui incite la firme à investir dans une technologie propre et permet de résoudre le problème de risque moral. Néanmoins, le niveau d'effort optimal tend à être réduit.

L'existence d'un droit de douane sur le bien importé ne modifie pas qualitativement les résultats précédents, mais conduit à une réduction des subventions optimales : par rapport à leur niveau antérieur, les subventions sont exactement réduites du montant du droit de douane. Il y a donc *substitution parfaite* entre les politiques commerciale et environnementale⁷. Une concurrence à la Bertrand sur des biens homogènes peut être vue comme une enchère entre les firmes nationale et étrangère pour le droit de servir le marché national. Défavoriser la firme étrangère par l'imposition d'un droit de douane ou favoriser la firme nationale par des distorsions des politiques incitatives à la recherche sont deux moyens strictement équivalents de modifier l'issue de cette enchère. En effet, ces deux outils affectent de la même manière le différentiel de coûts entre firme nationale et firme étrangère. De plus, la politique environnementale jouant pleinement son rôle incitatif, la politique commerciale s'avère redondante en la matière. Nous déterminons donc le niveau optimal d'un agrégat entre politiques environnementale et commerciale.

Dans la deuxième partie, le Sud intervient aussi, en réaction à la politique de subventions à la production menée au Nord. Chaque gouvernement est responsable de la politique entreprise sur son territoire⁸. Dans ce cadre de politique environnementale généralisée aux deux pays et en information complète, nous déterminons la politique optimale du point de vue du gouvernement du Nord. Les résultats de statique comparative avec le cas unilatéral sont les suivants :

1. Un motif stratégique conduit le gouvernement du Nord à augmenter les subventions accordées à sa firme du fait de l'existence de subventions à la production à l'étranger et ce, quel que soit le résultat de la R&D .
2. Du fait de l'existence d'une politique environnementale au Sud, la firme du Sud est maintenant susceptible de produire « propre », ce qui conduit le gouvernement du Nord à sanctionner (par une baisse de subvention) la firme du Nord lorsque la technologie de cette dernière est polluante.

7. À volume de consommation fixé et égal à un. Nous ne prétendons pas que cette substituabilité parfaite est maintenue dans le cas où des effets de volume interviennent.

8. Du point de vue théorique, nous avons ici un exemple de concurrence entre hiérarchies principal-agent dans un cadre de risque moral.

3. L'existence d'une politique environnementale au Sud conduit le gouvernement du Nord à relâcher l'effort demandé à sa firme. Nous mettons en évidence un comportement de *passager clandestin* de la part de chaque gouvernement. Cette solution non-coopérative défavorable à l'environnement appelle l'établissement d'une institution supranationale responsable de la politique environnementale des deux pays.

Cet article complète diverses approches utilisées dans la littérature pour discuter des problèmes de coordination entre pays en matière de protection environnementale. CARRARO et SINISCALCO [1993a,c] s'intéressent aux accords volontaires, et explorent les possibilités de coalitions environnementales dans un cadre de jeux répétés. La coopération est alors obtenue comme un équilibre sous-jeu parfait de ces jeux⁹. Le phénomène de passager clandestin apparaît du fait que chaque pays a des incitations individuelles à dévier de cet accord implicite de coopération, incitations qui sont d'autant plus importantes que la coalition regroupe un grand nombre de pays. Dans le présent article, il n'existe à proprement parler aucun accord international ni explicite, ni implicite sur une politique d'adoption de technologie propre. La possibilité d'une innovation environnementale crée néanmoins une externalité positive entre pays puisque tous bénéficient de la mise en œuvre d'une technologie propre par l'une ou l'autre des firmes. Les incitations à dévier en adoptant des politiques laxistes apparaissent donc déjà dans un cadre statique. Contrairement à CARRARO et SINISCALCO [1993a,c] qui se concentrent sur le cas de politiques décidées en information complète, nous analysons aussi le cas où ces politiques sont contraintes par des problèmes de risque moral. Nous montrons alors que le phénomène de passager clandestin est moins important. En effet, les problèmes incitatifs à l'étranger conduisent à adopter dans ces pays des niveaux d'effort insuffisants : les incitations d'un pays à adopter un comportement de passager clandestin diminuent donc en information incomplète. Enfin, une dernière différence de ce travail avec CARRARO et SINISCALCO [1993a,c] provient du fait que ces auteurs ne modélisent pas explicitement les relations d'échange et l'interférence de la politique environnementale avec ces échanges.

La question de savoir si les politiques environnementale et commerciale peuvent être dissociées est au cœur d'autres travaux consacrés au lien entre accords internationaux environnementaux et commerciaux (ZHAO [2000] et COPELAND [2000]). Notre préoccupation dans cet article est d'analyser dans quelle mesure les politiques commerciales sont redondantes et n'ont ni pouvoir stratégique ni rôle incitatif. En ce sens, notre intérêt est proche de celui de WALZ et WELLISCH [1997] qui, en information complète, étendent le modèle de BRANDER et SPENCER pour montrer qu'il est possible d'augmenter le bien-être social avec une libéralisation des échanges et une politique environnementale adéquate, suggérant par là-même que les politiques commerciales peuvent être remplacées par des politiques environnementales choisies de manière stratégique.

La Section 2 présente le modèle. La Section 3 décrit la politique optimale unilatérale en information complète puis en information incomplète. Dans la Section 4, la politique environnementale est généralisée aux deux pays et comparée à la politique unilatérale. Nous concluons dans la Section 5.

9. Se référer à BARRETT [1997] pour une revue des modèles analysant les *self-enforcing agreements*.

2 Le modèle

Le marché : Dans un cadre de concurrence internationale duopolistique, une firme du Nord désignée par F et une firme du Sud désignée par F^* produisent un même bien final. La production des deux firmes est intégralement consommée par le consommateur représentatif du Nord, qui peut indifféremment choisir le bien produit au niveau national ou le bien importé. Le consommateur n'achète qu'une seule unité du bien et V est son consentement à payer pour cette unité. V est suffisamment élevé par rapport au coût unitaire des firmes pour que la demande de bien final puisse toujours être satisfaite. Le consommateur étant servi par la firme qui lui propose le prix le plus bas, l'autre firme ne vend rien et son profit est nul.

La firme du Nord : F produit le bien final selon un coût marginal constant δ qui est incertain et tiré dans une distribution $H(\cdot)$ de densité $h(\cdot)$ connue des deux firmes : $h(\delta)d\delta$ est la probabilité que ce coût soit dans l'intervalle $[\delta, \delta + d\delta]$. Le support de la distribution est $[0, \bar{\delta}]$. Nous supposons que la fonction de répartition H satisfait l'hypothèse de Monotonie du Taux de Hasard (MTH) $d(H/h)/dx > 0$ ¹⁰. Toute production entraîne des émissions selon un coefficient constant β . Si une taxe τ est appliquée à chaque unité de polluant, la firme supporte un coût unitaire et total de production $\delta + \tau\beta$. Pour abaisser ce coût, elle peut fournir un effort e de recherche destiné à réduire β . Cet effort entraîne une *désutilité* $\psi(e)$ pour F , où $\psi(\cdot)$ est une fonction croissante et convexe de l'effort : $\psi'(e) > 0$ et $\psi''(e) > 0$. Nous supposons en outre que les conditions d'Inada suivantes pour l'obtention d'un optimum intérieur sont satisfaites : $\psi'(0) = 0$ et $\psi'(1) = \infty$. Le résultat de cette recherche est aléatoire. Avec une probabilité e , la recherche est un succès et β tombe à sa valeur basse $\underline{\beta}$. Avec une probabilité $(1 - e)$, la recherche est un échec et β reste à sa valeur haute initiale $\bar{\beta}$. Nous supposons que $e \in [0, 1]$ de telle sorte que nous identifions la probabilité de succès avec l'effort de la firme.

La firme du Sud : F^* produit le même bien final avec un coût marginal constant δ^* qui est incertain et tiré dans la même distribution $H(\cdot)$. Le support de la distribution est $[0, \bar{\delta}^*]$. Toute production entraîne des émissions selon un coefficient constant β^* . Lorsqu'une incitation fiscale pour améliorer sa technologie existe, F^* peut elle aussi fournir un effort de recherche e^* qui lui procure une *désutilité* $\psi^*(e^*)$, avec $\psi^{*'}(e^*) > 0$ et $\psi^{*''}(e^*) > 0$. Le résultat de son activité de recherche est aléatoire. Avec une probabilité e^* la recherche est un succès, auquel cas $\beta^* = \underline{\beta}$. Avec une probabilité $(1 - e^*)$, la recherche est un échec, auquel cas $\beta^* = \bar{\beta}$.

La fonction objectif et les instruments du gouvernement du Nord : Le consommateur du Nord subit une nuisance N liée de façon linéaire au flux E des émissions, lesquelles proviennent soit de F soit de F^* selon l'issue de la concurrence. Les agents sont affectés par le niveau global des émissions, sans

10. Cette hypothèse est bien connue dans la littérature sur l'information incomplète (voir BAGNOLI et BERGSTROM [1989]), et elle est satisfaite par toutes les distributions usuelles (normale, exponentielle, uniforme, etc...).

considération pour leur origine géographique. La fonction de nuisance s'écrit $-N(E) = -\gamma E$, où $\gamma > 0$ est constant. La fonction de bien-être social W du gouvernement du Nord est la somme du profit π de F , du surplus S du consommateur, des recettes R fiscales environnementales, des recettes douanières D , et de la nuisance $-N$, soit $W = \pi + S + R + D - N$. La politique environnementale prend la forme d'une taxe appliquée à chaque émission par F . La taxe est différenciée selon le caractère polluant de la technologie. Soit $\underline{T} = \underline{\tau}\beta$ la taxe lorsque la technologie est propre et $\overline{T} = \overline{\tau}\beta$ la taxe lorsque la technologie est polluante. En plus de ces instruments environnementaux, le gouvernement peut utiliser une politique commerciale qui prend la forme d'un droit de douane d appliqué sur le bien en provenance du Sud. Nous supposons que d est suffisamment faible pour que le consommateur puisse acquérir le bien final, même dans le cas où le coût unitaire de production de la firme du Sud atteint le niveau le plus élevé de la distribution. Cette hypothèse permet de supprimer certains effets de volume et simplifie ainsi l'analyse.

La fonction objectif et les instruments du gouvernement du Sud : La fonction objectif W^* du gouvernement du Sud est la somme du profit π^* de F^* , des recettes environnementales R^* et de la nuisance $-N^* = -\gamma^* E$. Nous désignons par $\underline{T}^* = \underline{\tau}^*\beta^*$ la taxe au Sud lorsque la technologie est propre, et par $\overline{T}^* = \overline{\tau}^*\beta^*$ la taxe lorsque la technologie est polluante.

Le déroulement du jeu : Le gouvernement annonce dans la première étape du jeu les niveaux de taxes environnementales et d'effort applicables à F , et le droit de douane applicable à F^* . Dans la deuxième étape du jeu, si l'effort est observable par son gouvernement, la firme concernée applique l'effort qui lui est imposé comme une norme. Si l'effort n'est pas observable par son gouvernement, la firme décide du niveau d'effort à fournir. Le résultat de la R&D est connu des deux firmes, de même que leur coût unitaire de production. Elles se livrent alors à une concurrence en prix sur le marché du Nord dans la troisième étape du jeu. Nous résolvons l'équilibre sous-jeu parfait de ce jeu de manière récursive. Nous déterminons d'abord l'équilibre de Nash en prix. Les firmes en tiennent compte pour déterminer leur niveau d'effort de recherche. Le planificateur enfin détermine les niveaux optimaux de taxe, de droit de douane et d'effort si ce dernier est observable.

3 Politique unilatérale au Nord

3.1 Optimum avec effort observable

Expression du profit de F : Nous exprimons le profit brut espéré π de F en fonction des coûts unitaires δ et δ^* , de la taxe T et du droit de douane d qui s'applique à F^* . Nous avons

$$\pi(T, d) = \int_0^{\overline{\delta}} \left(\int_{\delta+T-d}^{\overline{\delta}^*} (\delta^* + d - (\delta + T)) h(\delta^*) d\delta^* \right) h(\delta) d\delta.$$

Du fait de la concurrence à la Bertrand avec bien homogène, F ne vend une unité du bien que lorsque le *coût de production* $\delta^* + d$ de F^* est supérieur à son propre coût $\delta + T$. Dans ce cas, F vend cette unité à un prix égal à $\delta^* + d$. La probabilité que F gagne le marché est égale à la probabilité que $\delta + T \leq \delta^* + d$, c'est-à-dire à la probabilité que $T - d \leq \delta^* - \delta$. Nous procédons au changement de variable suivant : soit $z = \delta^* - \delta$ la variable aléatoire de distribution $g(z) = \int_0^{\bar{\delta}} h(\delta + z)h(\delta)d\delta$ et de fonction de répartition $G(\cdot)$. Notons que $\pi(T, d)$ ne dépend alors plus que de la différence $T - d$ et peut s'exprimer à l'aide d'une intégrale simple que nous pouvons écrire $\pi(T - d) = \int_{T-d}^{\bar{\delta}^*} g(z) dz$. En intégrant par parties, nous obtenons

$$\pi(T - d) = \int_{T-d}^{\bar{\delta}^*} (1 - G(z)) dz.$$

Choix des niveaux de taxes, d'effort et de droit de douane par le gouvernement du Nord :

La forme simplifiée du bien-être social peut être obtenue par un raisonnement *ex post*, une fois que les coûts δ et δ^* sont réalisés :

* Lorsque $\delta^* < \delta + T - d$, F^* remporte le marché et vend à un prix égal à $\delta + T$. Le surplus du consommateur est $V - (\delta + T)$. Le profit de F est nul et celui de F^* est $\delta + T - (\delta^* + d)$. La pollution provenant de F^* , la nuisance est égale à $-\gamma\beta^* = -\gamma\bar{\beta}$. Le bien-être brut au Nord est donc égal à $V - (\delta + T) + d - \gamma\bar{\beta}$.

* Lorsque $\delta^* \geq \delta + T - d$, F remporte le marché et vend à un prix égal à $\delta^* + d$. La taxe T est payée par F , par conséquent, le surplus du consommateur est $V - (\delta^* + d) + T$. Le profit brut de F est $\delta^* + d - (\delta + T)$. La pollution provenant de F , la nuisance est égale à $-\gamma\beta$. Le bien-être brut au Nord est donc égal à $V - \delta - \gamma\beta$.

Le bien-être social étant égal à $V - \delta - (T - d) - \gamma\bar{\beta}$ lorsque F^* gagne le marché et à $V - \delta - \gamma\beta$ dans le cas contraire, la taxe optimale sera une subvention. Elle est utile quand F n'obtient pas le marché car elle diminue le prix payé par le consommateur. L'effort étant choisi avant la réalisation des coûts δ et δ^* , F entreprend l'effort par rapport à son profit espéré. La *désutilité* liée à l'effort étant $-\psi(e)$, l'espérance de bien-être est égale à

$$\begin{aligned} W(\beta, T, d) &= G(T - d) \int_0^{\bar{\delta}} (V - \delta - (T - d) - \gamma\bar{\beta}) f(\delta) d\delta \\ &\quad + (1 - G(T - d)) \int_0^{\bar{\delta}} (V - \delta - \gamma\beta) f(\delta) d\delta - \psi(e), \end{aligned}$$

soit

$$W(\beta, T - d) = V - \hat{\delta} - \psi(e) - \gamma\beta - (T - d + \gamma(\bar{\beta} - \beta)) G(T - d),$$

où $\hat{\delta} = \int_0^{\bar{\delta}} \delta f(\delta) d\delta$ est le coût moyen de production de F .

Puisque le bien-être social espéré ne dépend que de $T - d$, nous ne pourrions pas déterminer un droit de douane optimal, car toute taxe positive à l'importation peut être annulée en réduisant les subventions environnementales d'un même montant. Nous déterminons donc un agrégat $T - d$ optimal. Étant donnée cette *substituabilité* parfaite, nous pouvons aussi bien considérer le cas où le droit de douane est nul, soit $d = 0$. Nous faisons par la suite cette hypothèse.

En notant que le bien-être espéré ne dépend alors plus que de T , nous l'écrivons

$$W(\beta, T) = V - \hat{\delta} - \psi(e) - \gamma\beta - (T + \gamma(\bar{\beta} - \beta)) G(T).$$

Par la suite, il sera plus commode de travailler avec la valeur brute du bien-être social espéré $\tilde{W}(\beta, T) = W(\beta, T) + \psi(e)$. En notant $\Delta\beta = \bar{\beta} - \beta$ la différence entre un coefficient d'émission étranger élevé et un coefficient national faible, nous exprimons $\tilde{W}(\beta, T)$ respectivement dans le cas d'un succès puis d'un échec de l'activité de recherche :

$$\tilde{W}(\underline{\beta}, \underline{T}) = V - \hat{\delta} - \gamma\underline{\beta} - (\underline{T} + \gamma\Delta\beta) G(\underline{T}),$$

et

$$\tilde{W}(\bar{\beta}, \bar{T}) = V - \hat{\delta} - \gamma\bar{\beta} - \bar{T}G(\bar{T}).$$

Ces expressions montrent clairement qu'il n'existe aucune raison de fixer les mêmes valeurs à \underline{T} et \bar{T} . L'agrégat de politiques environnementale et commerciale doit être finement adapté au résultat de la R&D puisque ce résultat affecte le coût de la firme nationale.

Le gouvernement du Nord cherche les taxes \underline{T} et \bar{T} ainsi que le niveau d'effort e qui rendent maximum le bien-être social espéré. Nous supposons que l'effort de recherche est parfaitement contrôlable par le gouvernement qui, implicitement, est en mesure de punir sévèrement tout comportement différent de celui indiqué par lui-même. Le programme du gouvernement est donc

$$\max_{\{\underline{T}, \bar{T}, e\}} ; E_{\beta} (\tilde{W}(\beta, T)) = e \tilde{W}(\underline{\beta}, \underline{T}) + (1 - e) \tilde{W}(\bar{\beta}, \bar{T}) - \psi(e),$$

où $E_{\beta}(\cdot)$ représente l'espérance par rapport au résultat de la recherche. Après simplification, ce programme devient

$$\left\{ \max_{\{\bar{T}, \underline{T}, e\}} \underbrace{V - \hat{\delta} - \psi(e) - \gamma\bar{\beta}}_{(A_0)} + \underbrace{e\gamma\Delta\beta(1 - G(\underline{T}))}_{(A_1)} - \underbrace{e\underline{T}G(\underline{T}) - (1 - e)\bar{T}G(\bar{T})}_{(A_2)} \right\}$$

Dans cette expression du bien-être social espéré, nous avons finalement :

- Un terme de surplus (A_0) sans considération pour les termes de l'échange.
- Un terme de réduction de nuisance (A_1), lié au fait que F gagne le marché et que sa technologie est propre.
- Un terme stratégique (A_2), lié à la perte du marché par F , qui dépend de la différence espérée entre la recette environnementale et la recette douanière. Lorsque F perd le marché, il n'y a pas de recette fiscale environnementale mais il reste la recette douanière.

L'optimum en information complète est désigné par l'indice c . L'exposant u désigne le cas d'une politique unilatérale. Les conditions de premier ordre sont alors : ¹¹

$$(1) \quad (cpo/\bar{T}) \Leftrightarrow \bar{T}_c^u = -\frac{G(\bar{T}_c^u)}{g(\bar{T}_c^u)} < 0,$$

en cas d'échec de l'activité de recherche.

$$(2) \quad (cpo/\underline{T}) \Leftrightarrow \underline{T}_c^u = -\frac{G(\underline{T}_c^u)}{g(\underline{T}_c^u)} - \gamma \Delta\beta < 0,$$

en cas de succès de l'activité de recherche.

Dans les deux cas concernant le résultat de la R&D, la taxe optimale est négative pour $d_c^u = 0$. L'agrégat de politiques environnementale et commerciale est donc une subvention à la production nationale.

Quel que soit le résultat de la R&D, la subvention correspondante est liée à la probabilité que F perde le marché. Pour comprendre intuitivement l'origine de la subvention lorsque la R&D est un échec (état β), on peut observer que réduire le paiement \bar{T} à F d'un petit montant $d\bar{T}$ augmente de $g(\bar{T}) d\bar{T}$ la probabilité que F perde le marché. $\bar{T} g(\bar{T}) d\bar{T}$ représente donc la réduction de bien-être social due à l'augmentation de la probabilité d'une production à l'étranger. En même temps, et conditionnellement au fait que F perde le marché, diminuer le paiement \bar{T} de $d\bar{T}$ augmente aussi la recette gouvernementale de $G(\bar{T}) d\bar{T}$. La subvention optimale est un arbitrage entre ces deux effets. Lorsque la recherche aboutit à un succès (état β), la perte du marché par la firme locale engendre un nouveau coût social $\gamma \Delta\beta g(\underline{T}) d\underline{T}$ provenant du fait que la production a alors lieu à l'étranger et que la firme étrangère présente un coefficient d'émission supérieur.

Finalement, on peut se demander si une technologie plus propre entraîne une subvention supérieure. Nous avons $\bar{T}_c^u + \frac{G(\bar{T}_c^u)}{g(\bar{T}_c^u)} = 0$, et $\underline{T}_c^u + \frac{G(\underline{T}_c^u)}{g(\underline{T}_c^u)} = -\gamma \Delta\beta < 0$. Si l'hypothèse MTH est vérifiée, $1 + d(F/f)/dx > 0$. Par conséquent, $x + \frac{G(x)}{g(x)}$ est croissante en x et $\underline{T}_c^u < \bar{T}_c^u$.

Il existe deux raisons à ces subventions. Lorsque la R&D est un échec, il n'y a pas d'amélioration possible de l'environnement. Ainsi \bar{T}_c^u est un pur instrument de politique commerciale : cette politique protectionniste déplace les profits vers F aux dépens de F^* . Il reste ensuite à interpréter le fait que $\underline{T}_c^u < \bar{T}_c^u$. En information complète, le niveau d'effort technologique est imposé par le gouvernement à F qui n'a donc pas besoin d'incitations. La raison pour laquelle la subvention est supérieure lorsque F a trouvé une technologie propre est que le bénéfice social à faire gagner le marché par F est

11. L'hypothèse MTH assure que les conditions de premier ordre ci-dessous sont également suffisantes pour caractériser le maximum du bien-être. En effet, $\frac{\partial E_\beta(\tilde{W}(\beta, T))}{\partial \bar{T}} \frac{1}{g(\bar{T})} = -(1-e) \left(\bar{T} + \frac{G(\bar{T})}{g(\bar{T})} \right)$. Par conséquent, l'hypothèse MTH assure que $\frac{\partial E_\beta(\tilde{W}(\beta, T))}{\partial \bar{T}} > 0$ (respectivement = 0, < 0) pour $\bar{T} < \bar{T}_c^u$ (respectivement =, >). Ainsi, \bar{T}_c^u est bien un maximum pour $E_\beta(\tilde{W}(\beta, T))$. Un même raisonnement montre que \underline{T}_c^u est aussi un maximum de $E_\beta(\tilde{W}(\beta, T))$.

supérieur puisque la nuisance est réduite. En effet, l'unique moyen de réduire la nuisance est que la production ait lieu au Nord et que la technologie soit propre. \underline{T}_c^u est à la fois un instrument de politique commerciale et un instrument de protection de l'environnement.

Enfin, en optimisant par rapport à l'effort e , nous obtenons

$$(c) \quad (c) \Leftrightarrow \psi'(e_c^u) = \tilde{W}(\underline{\beta}, \underline{T}_c^u) - \tilde{W}(\bar{\beta}, \bar{T}_c^u)$$

$$(3) \quad \Leftrightarrow \psi'(e_c^u) = \gamma \Delta \beta (1 - G(\underline{T}_c^u)) + \bar{T}_c^u G(\bar{T}_c^u) - \underline{T}_c^u G(\underline{T}_c^u).$$

L'effort optimal est tel que le coût marginal privé (et social) $\psi'(e_c^u)$ de l'activité de recherche est égal à la différence de bien-être social obtenu en cas de succès et d'échec de cette activité. Le coût marginal social est donc égal au bénéfice marginal social d'un effort de recherche supplémentaire. Ce bénéfice marginal a deux composantes. La première est liée au terme (A_1) de la fonction de bien-être espéré et représente la réduction de nuisance obtenue lorsque l'activité productive est moins polluante. Elle n'est possible que lorsque à la fois F réussit sa R&D et qu'elle réussit à gagner la concurrence à la Bertrand, un événement qui arrive avec une probabilité $1 - G(\underline{T}_c^u)$. Plus la réduction de nuisance espérée $\gamma \Delta \beta$ est grande et plus le niveau optimal d'effort e_c^u est grand. Le second terme de droite de (3) représente les gains pour le gouvernement liés à la perte du marché par la firme nationale, gains en termes de recettes douanières et de subventions non versées. Ces recettes sont supérieures lorsque la firme locale a réussi dans sa recherche puisque, dans ce cas, elle aurait reçu davantage de subventions. En effet, $xG(x)$ est décroissante en x sur $]-\infty, \bar{T}_c^u]$. Puisque $\bar{T}_c^u > \underline{T}_c^u$, alors $\bar{T}_c^u G(\bar{T}_c^u) - \underline{T}_c^u G(\underline{T}_c^u) < 0$. Ce deuxième terme tend donc à réduire le niveau optimal d'effort requis de la firme nationale.

Nous résumons les résultats précédents par la proposition suivante.

PROPOSITION 1. *L'optimum avec effort observable dans une concurrence à la Bertrand homogène¹² est caractérisé par :*

i) Des subventions à la production domestique. Sous l'hypothèse MTH, la subvention est supérieure lorsque le processus de production est plus propre.

ii) Un droit de douane qui est un substitut parfait aux subventions à la production domestique qui sont exactement réduites du montant du droit de douane (le profit de la firme étrangère n'est pas modifié)¹³. Il n'existe pas de droit de douane optimal.

12. L'adoption d'une concurrence à la Bertrand non différenciée permet de supprimer tous les effets de volume mis en évidence avec une concurrence à la Cournot dans HIRIART [2002a] et avec une concurrence à la Bertrand différenciée dans HIRIART [2002a,b]. Dans une concurrence à la Bertrand différenciée, nous montrons que la politique commerciale n'est plus un parfait substitut de la politique environnementale.

13. Avec un droit de douane élevé, la politique optimale consisterait à taxer la production de la firme nationale mais cela n'affecterait la probabilité de gagner d'aucune des firmes.

3.2 Optimum avec effort non observable

L'expression du profit des firmes étant la même qu'en information complète, il nous reste à examiner le choix du niveau d'effort par la firme dans la deuxième étape du jeu, et les politiques environnementale et commerciale par le gouvernement dans la première étape du jeu.

Choix du niveau d'effort technologique : F maximise son profit espéré $e\pi(\underline{T} - d) + (1 - e)\pi(\bar{T} - d) - \psi(e)$ par rapport au niveau d'effort e . La condition de premier ordre, à la fois nécessaire et suffisante, de ce programme strictement concave est alors ¹⁴

$$(4) \quad \psi'(e) = \pi(\underline{T} - d) - \pi(\bar{T} - d) = \int_{\underline{T}-d}^{\bar{T}-d} (1 - G(z)) dz.$$

Le niveau d'effort optimal du point de vue de la firme est tel que le coût marginal d'un effort supplémentaire est égal à son gain marginal, lequel est la différence de profit espéré en cas de succès ou d'échec de la R&D. Notons que la contrainte incitative (4) ne dépend que des différences $\underline{T} - d$ et $\bar{T} - d$. Droit de douane et subventions sont donc ici encore de parfaits substituts du point de vue des incitations. Cette observation nous permet d'agrèger les politiques environnementale et commerciale même en second rang et donc, de considérer seulement le cas où $d = 0$ par la suite.

Remarque : en toute généralité, nous pourrions utiliser des droits de douane contingents à l'issue de la recherche. Autoriser des droits de douane (\underline{d}, \bar{d}) ne permettrait néanmoins pas d'améliorer le bien-être. En effet, l'optimisation du bien-être ne détermine que les transferts nets $\underline{T} - \underline{d}$ et $\bar{T} - \bar{d}$. Cette remarque s'applique également au cas où l'effort de recherche n'est pas observable.

L'équation (4) montre que nous devons nécessairement avoir $\bar{T} > \underline{T}$ pour que l'effort soit positif. La contrainte incitative impose donc plus de structure sur la nature des paiements à la firme. Dans le cas où l'effort était observable, cette monotonie n'était pas imposée *a priori* mais découlait de l'optimisation.

Choix des taxes et de l'effort : Le gouvernement du Nord cherche les niveaux de taxes et d'effort qui rendent maximum le bien-être social espéré, sous la contrainte du comportement *opportuniste* de F en matière d'effort de recherche. En effet, en l'absence d'une politique environnementale, aucune recherche n'est entreprise. Une incitation appropriée doit être mise en œuvre afin d'induire le bon niveau d'effort par F . Ainsi, le gouvernement prend en compte la façon dont F détermine son effort lorsqu'elle est soumise à une politique environnementale. Sachant que F choisit e de telle sorte que $\psi'(e) = \pi(\underline{T}) - \pi(\bar{T})$, le programme du gouvernement est donc

$$\left\{ \begin{array}{l} \max_{\{\bar{T}, \underline{T}, e\}} e \tilde{W}(\underline{\beta}, \underline{T}) + (1 - e) \tilde{W}(\bar{\beta}, \bar{T}) - \psi(e) \\ s.c. \quad \psi'(e) = \pi(\underline{T}) - \pi(\bar{T}). \end{array} \right.$$

14. La condition de second ordre est vérifiée puisque $\psi(e)$ est strictement convexe.

Le Lagrangien associé à ce programme s'écrit

$$\begin{aligned} \mathcal{L}(\underline{T}, \bar{T}, e, \lambda) = & V - \hat{\delta} - \psi(e) - \gamma \bar{\beta} + e\gamma \Delta\beta (1 - G(\underline{T})) - e\underline{T}G(\underline{T}) \\ & - (1 - e)\bar{T}G(\bar{T}) + \lambda (-\psi'(e) + \pi(\underline{T}) - \pi(\bar{T})). \end{aligned}$$

Les subventions de premier rang ne sont pas adéquates pour induire le niveau d'effort de premier rang par la firme. En effet, nous montrons que les subventions $(\underline{T}_c^u, \bar{T}_c^u)$ de premier rang ne peuvent inciter la firme à fournir le niveau d'effort e_c^u de premier rang lorsque cet effort n'est pas observable, puisque dans ce cas $\pi(\underline{T}_c^u) - \pi(\bar{T}_c^u) < \psi'(e_c^u)$ ¹⁵. Par conséquent, les incitations privées de la firme nationale à exercer un effort lorsqu'elle reçoit les subventions $(\underline{T}_c^u, \bar{T}_c^u)$ sont insuffisantes du point de vue social. L'objet des distorsions sur les transferts $(\underline{T}_i^u, \bar{T}_i^u)$ que nous mettons en évidence ci-dessous est d'aligner ces incitations privées avec les incitations sociales.

En outre, nous montrons que le multiplicateur de Lagrange λ de la contrainte à l'égalité (4) est strictement positif¹⁶.

L'optimum en information incomplète étant désigné par l'indice i , les conditions de premier ordre s'écrivent :

$$(5) \quad (cpo/\bar{T}) \Leftrightarrow \bar{T}_i^u = \underbrace{-\frac{G(\bar{T}_i^u)}{g(\bar{T}_i^u)}}_{(e \text{ observable})} + \underbrace{\frac{\lambda(1 - G(\bar{T}_i^u))}{(1 - e_i^u)g(\bar{T}_i^u)}}_{> 0}.$$

Notons que le premier terme à droite de (5) est la subvention en information parfaite lorsque la R&D échoue. Puisque le second terme à droite de (5) est strictement positif, nous avons $\bar{T}_i^u > \bar{T}_c^u$. Lorsque la technologie est polluante, la subvention avec risque moral est donc inférieure à la subvention en information complète.

$$(6) \quad (cpo/\underline{T}) \Leftrightarrow \underline{T}_i^u = \underbrace{-\frac{G(\underline{T}_i^u)}{g(\underline{T}_i^u)} - \gamma \Delta\beta}_{(e \text{ observable})} - \underbrace{\frac{\lambda(1 - G(\underline{T}_i^u))}{e_i^u g(\underline{T}_i^u)}}_{< 0}.$$

Le premier terme à droite de (6) est la subvention en information parfaite lorsque la R&D est un succès. Puisque le second terme à droite de (6) est strictement négatif, nous avons $\underline{T}_i^u < \underline{T}_c^u < 0$. Lorsque la technologie est propre, la subvention avec risque moral est donc supérieure à la subvention en information complète. Nous avons ainsi $\underline{T}_i^u < \bar{T}_i^u$. En outre, $\underline{T}_i^u - \bar{T}_i^u < \underline{T}_c^u - \bar{T}_c^u < 0$. Ce résultat est un résultat standard des problèmes de risque moral :

15. Nous reportons la démonstration dans l'Annexe A.

16. Voir la démonstration dans l'Annexe B.

lorsque le régulateur tient compte du comportement optimal de la firme en ce qui concerne l'effort de recherche, il doit augmenter le bénéfice marginal pour la firme d'un effort de recherche supplémentaire pour l'inciter à améliorer sa technologie. Les subventions dans les deux états de la nature sont utilisées comme punition et récompense pour promouvoir la R&D. En particulier, on ne peut rejeter *a priori* la possibilité que \bar{T}_i^u devienne positive, ce qui signifierait que la politique en second-rang appelle à une taxe pour une technologie polluante. Les considérations incitatives amènent alors à renverser le signe des transferts effectués vers la firme.

D'un autre côté, \underline{T}_i^u est forcément négative, ce qui signifie que le risque moral renforce l'incitation pour le gouvernement à subventionner les firmes ayant une technologie propre. Ainsi, le gouvernement doit augmenter le différentiel de subvention en cas de succès ou d'échec de l'activité de recherche.

Enfin, la condition de premier ordre par rapport au niveau d'effort s'écrit

$$(7) \quad (c_{po}/e) \Leftrightarrow \psi'(e_i^u) = \tilde{W}(\underline{\beta}, \underline{T}_i^u) - \tilde{W}(\bar{\beta}, \bar{T}_i^u) \underbrace{\frac{-\lambda \psi''(e_i^u)}{}}_{< 0}.$$

Pour un niveau donné de subventions \underline{T}_i^u et \bar{T}_i^u , la contrainte incitative tend à réduire le niveau d'effort socialement optimal au-dessous du niveau e_c^u qui serait optimal lorsque l'effort est observable par le gouvernement. Bien entendu, ce raisonnement suggère seulement le sens des distorsions. Comme souvent dans les problèmes de risque moral, il est difficile de comparer les efforts de premier et de second rang.

Nous résumons les résultats dans la proposition suivante.

PROPOSITION 2. L'optimum avec effort non-observable dans une concurrence à la Bertrand est caractérisé par :

i) Une subvention inférieure à la subvention en information complète lorsque la technologie reste polluante, et une subvention supérieure lorsque la technologie est propre. Le bénéfice marginal d'un effort de recherche est donc accru.

ii) Un multiplicateur de la contrainte incitative positif.

4 Politique environnementale bilatérale

Même en l'absence d'un quelconque effet de nuisance au Sud, il existe une incitation à intervenir en matière environnementale pour le gouvernement du Sud. Cette incitation provient du fait que le gouvernement du Nord subven-

tionne la production de sa firme au travers de la politique environnementale. Nous considérons donc maintenant le cas où une politique environnementale est mise en œuvre dans chacun des deux pays. Chaque gouvernement étant responsable de la politique menée sur son territoire, nous étudions un équilibre de Nash entre pays munis de leurs propres politiques environnementales.

Les politiques environnementales de chaque gouvernement sont choisies avant la réalisation des coûts unitaires δ et δ^* . Nous avons donc maintenant une incertitude sur les coûts unitaires δ de la firme du Nord et δ^* de la firme du Sud, ainsi que sur les résultats β et β^* des activités de recherche de la part des deux firmes.

Le gouvernement du Nord détermine donc les niveaux de taxes et d'effort conditionnellement au résultat de l'activité de recherche de sa firme. Pour simplifier, nous supposons que les résultats de la recherche à l'étranger ne sont pas observables par le gouvernement local, qui continue à offrir deux niveaux de transferts \underline{T} et \bar{T} conditionnellement au résultat de la recherche de sa firme.

Pour des taxes T et T^* données, le profit brut de F s'écrit

$$\int_0^{\delta^* + T^* - T} \left(\int_{\delta + T - T^*}^{\delta^*} \left(\delta^* + T^* - (\delta + T) \right) f(\delta^*) d\delta^* \right) f(\delta) d\delta,$$

qui devient, après le changement de variable $z = \delta^* - \delta$ et une intégration par parties,

$$\pi(T - T^*) = \int_{T - T^*}^{\delta^*} (1 - G(z)) dz.$$

L'exposant g désigne le cas d'une politique généralisée. Nous dérivons l'ensemble des résultats pour une forme assez générale de la fonction $G(\cdot)$.

Meilleure réponse du gouvernement du Nord lorsque l'effort est observable : Le gouvernement du Nord cherche les taxes $(\underline{T}_C^g, \bar{T}_C^g)$ et le niveau d'effort e_C^g qui maximisent le bien-être espéré du Nord conditionnellement aux niveaux de taxes $(\underline{T}^*, \bar{T}^*)$ fixées par le gouvernement du Sud. Le programme du gouvernement du Nord devient

$$\left\{ \begin{array}{l} \max_{\{\underline{T}^g, \bar{T}^g, e^g\}} -\gamma \Delta \beta \\ +V - \hat{\delta} - \psi(e) - \gamma E(\beta) \end{array} \right\} \underbrace{\left\{ \begin{array}{l} e(1 - e^*) G(\underline{T} - \bar{T}^*) \\ (B_1) \end{array} \right\}}_{(B_2)} - \underbrace{(1 - e)e^* G(\bar{T} - \underline{T}^*)}_{(B_1')} - \underbrace{(1 - e)\bar{T}E_{T^*}(G(\bar{T} - T^*))}_{(B_2)}$$

où $E(\cdot)$ désigne l'espérance. Le terme (B_2) est un terme stratégique comparable au terme (A_2) décrit dans le cas d'une politique unilatérale, à la différence que les probabilités de gagner ou de perdre le marché sont maintenant conditionnelles aux niveaux de taxes \bar{T}^* et \underline{T}^* établis par le gouvernement du Sud. Pour un niveau de donné T^* de subvention à l'étranger, la probabilité que la firme rivale emporte le marché décroît avec les subventions \underline{T} et \bar{T} à la firme F . Le bien-être espéré au Nord augmente avec le terme (B_2) , et donc avec les subventions \underline{T} et \bar{T} . Nous retrouvons le terme

(A₁) lié à la variation de l'effet de nuisance, avec maintenant deux composantes (B'_1) et (B''_1). Cette nouvelle expression tient compte du fait que, soumise elle aussi à une politique environnementale, F^* fait un effort de recherche e^* et qu'elle peut réduire son coefficient d'émission de $\bar{\beta}$ à $\underline{\beta}$. Ainsi, (B'_1) correspond à la situation où F est propre, F^* est polluante, mais où cette dernière gagne le marché. Cette possibilité réduit le bien-être espéré. (B''_1) correspond à la situation contraire et nouvelle, où F est polluante alors que F^* est propre et que cette dernière gagne le marché. Ce nouveau terme (B''_1) augmente le bien-être espéré et modifie les niveaux optimaux de taxe \bar{T} et d'effort e du Nord.

La meilleure réponse du gouvernement du Nord dans un cas de politique généralisée avec effort observable, est un triplet $(\underline{T}_c^g, \bar{T}_c^g, e_c^g)$ tel que :

$$(8) \quad \underline{T}_c^g + \underbrace{\frac{E_{T^*}(G(\underline{T}_c^g - T^*))}{E_{T^*}(g(\underline{T}_c^g - T^*))}}_{(C_2)} = \underbrace{-\gamma \Delta \beta (1 - e^*) \frac{g(\underline{T}_c^g - \bar{T}^*)}{E_{T^*}(g(\underline{T}_c^g - T^*))}}_{(C'_1)}$$

L'expression de \underline{T}_c^g donnée par (8) est équivalente à celle de \underline{T}_c^u donnée par (2), avec des probabilités de gagner ou de perdre le marché qui sont maintenant conditionnelles à la politique menée par le Sud. Le terme (C'_1) de (8) est issu du terme (B'_1) et représente le fait que la nuisance augmente lorsque F perd le marché et qu'elle est la seule à produire propre. Ceci devrait conduire à augmenter la subvention \underline{T}_c^g par rapport à la subvention \underline{T}_c^u accordée en l'absence d'une politique environnementale au Sud. Il reste à déterminer le sens de variation du terme (C_2) de (8), qui est un terme stratégique issu de (B_2). Les problèmes des deux gouvernements étant similaires, la politique optimale pour le gouvernement du Sud doit également consister à subventionner la production de sa firme. Si $T^* < 0$, alors $\underline{T} - T^* > \underline{T}$. Sous l'hypothèse MTH selon laquelle la fonction $\frac{G(\cdot)}{g(\cdot)}$ est croissante, nous avons $\frac{G(\underline{T} - T^*)}{g(\underline{T} - T^*)} > \frac{G(\underline{T})}{g(\underline{T})}$. La politique environnementale à l'étranger, en modifiant le coût de production de sa firme nationale, conduit le gouvernement domestique à modifier sa propre politique environnementale, en y introduisant un terme stratégique. Tout comme le terme de nuisance, ce terme stratégique tend à augmenter la subvention \underline{T}_c^g par rapport à la subvention \underline{T}_c^u accordée en l'absence d'une politique environnementale au Sud. En conclusion, du fait de l'existence d'une subvention réduisant le coût de production de la firme étrangère, la subvention optimale en cas de succès de la R&D est supérieure. Le résultat est une subvention accrue au niveau national.

$$(9) \quad \bar{T}_c^g + \underbrace{\frac{E_{T^*}(G(\bar{T}_c^g - T^*))}{E_{T^*}(g(\bar{T}_c^g - T^*))}}_{(D_2)} = \underbrace{\gamma \Delta \beta e^* \frac{g(\bar{T}_c^g - \underline{T}^*)}{E_{T^*}(g(\bar{T}_c^g - T^*))}}_{(D'_1)}$$

En fixant les valeurs de T^* et e^* à zéro dans (9), nous retrouvons strictement l'équation (1). L'expression de \overline{T}_c^g donnée par (9) est équivalente à celle de \overline{T}_c^u donnée par (1), avec des probabilités de gagner ou de perdre le marché qui sont maintenant conditionnelles à la politique menée par le Sud. Dès lors que $T^* \neq 0$ apparaît un nouveau terme (D_1') dans (9), issu du terme (B_1') du bien-être social. Le terme (D_1') traduit la baisse de l'effet de nuisance dans le cas où F^* a une technologie propre et qu'elle gagne le marché. Ce terme agit comme une sanction à l'encontre de F , dans le cas où sa technologie est polluante, en réduisant la subvention qui lui est accordée.

Cependant, le terme stratégique mis en évidence pour la subvention \underline{T}_c^g existe également pour \overline{T}_c^g . Il est représenté par le terme (D_2) issu de (B_2). Le fait que la firme rivale soit subventionnée conduit le gouvernement du Nord à augmenter la subvention de sa firme, même lorsqu'elle reste polluante. Deux effets de sens contraire, qui n'existent pas pour \overline{T}_c^u , jouent donc dans la détermination de \overline{T}_c^g . Le sens de variation de la subvention en cas d'échec de la R&D est donc *a priori* indéterminé.

$$(10) \quad \psi'(e_c^g) = \gamma \Delta \beta \left\{ 1 - (1 - e^*) G(\underline{T}_c^g - \overline{T}^*) - \underbrace{e^* G(\overline{T}_c^g - \underline{T}^*)}_{(E_1')} \right\} \\ + \overline{T}_c^g E_{T^*} (G(\overline{T}_c^g - T^*)) - \underline{T}_c^g E_{T^*} (G(\underline{T}_c^g - T^*)).$$

Lorsque nous fixons les valeurs de T^* et e^* à zéro dans (10), nous retrouvons strictement l'expression du niveau d'effort donnée par l'équation (3). Dès lors qu'existe une politique environnementale au Sud, et donc que cela entraîne un effort de recherche positif de la part de F^* , apparaît un nouveau terme dans (10). Ce terme (E_1') est issu du terme (B_1') du bien-être social, et représente la réduction de nuisance liée au fait que F^* gagne le marché et qu'elle possède une technologie propre. Ce terme, négatif dans l'équation (10), conduit à réduire l'effort e_c^g demandé par le régulateur du Nord à sa propre firme. Ceci correspond à un comportement de *passager clandestin* sur l'effort de recherche technologique des firmes.

En résumé, dans le cas d'une politique généralisée et en information complète :

1. Il existe un terme stratégique dans les expressions des subventions optimales \underline{T}_c^g et \overline{T}_c^g . Le fait que la firme du Sud soit elle aussi subventionnée augmente la probabilité que la firme du Nord perde le marché. Cet *effet stratégique* conduit le régulateur du Nord à augmenter la subvention accordée à sa firme.
2. Il existe un *effet de sanction* qui agit en sens contraire. Il correspond au fait que, lorsque la firme du Sud est soumise à une politique environnementale, elle est susceptible de produire « propre », ce qui était exclu dans le cas de politique unilatérale. Ainsi, lorsqu'elle gagne le marché et que son processus productif est propre, la nuisance est réduite. Dans le

cas où la firme du Nord est au contraire polluante, ceci conduit son gouvernement à la sanctionner en réduisant la subvention qui lui est accordée.

3. Il existe un comportement de *passager clandestin* de la part du gouvernement du Nord, lequel profite de l'effort fourni dans le Sud pour réduire l'effort demandé à sa propre firme. Ce comportement pourrait être internalisé par l'établissement d'une institution supranationale chargée de la politique environnementale pour les deux pays.

Remarque : le surplus du consommateur n'entre pas dans la détermination des taxes optimales ni de l'effort. Ceci est dû au fait que le consentement à payer V est, par hypothèse, suffisamment grand pour que le consommateur veuille toujours se procurer une unité du bien, quelle que soit son origine ou la technologie qui a permis de le produire. Cette remarque nous permet immédiatement de déduire que le gouvernement étranger aura une fonction de meilleure réponse qui sera l'analogue du triplet défini par (8), (9) et (10). Ceci nous conduit naturellement à l'étude de l'équilibre symétrique en transferts et niveaux d'efforts.

Équilibre de Nash lorsque l'effort est observable : Supposons que la variable aléatoire $z = \delta^* - \delta$ soit distribuée uniformément sur $\left[-\frac{1}{2}, \frac{1}{2}\right]$, avec une fonction de répartition $G(z) = z + \frac{1}{2}$. Nous procédons à une comparaison des politiques unilatérale et bilatérale telles que choisies par le gouvernement du Nord lorsqu'il est en mesure de vérifier le niveau de recherche entrepris par la firme nationale.

Cas unilatéral : les conditions (1) et (2) nous donnent $\underline{T}_c^u = -\frac{1}{4} - \frac{\gamma\Delta\beta}{2}$ et $\overline{T}_c^u = -\frac{1}{4}$, d'où $\overline{T}_c^u - \underline{T}_c^u = \frac{\gamma\Delta\beta}{2}$. En insérant ces valeurs dans (3), nous obtenons le niveau d'effort choisi par le gouvernement du Nord dans le cas d'une politique unilatérale :

$$\psi'(e_c^u) = \frac{\gamma\Delta\beta}{2} \left(\frac{3}{2} + \frac{\gamma\Delta\beta}{2} \right).$$

Cas bilatéral : dans le cas symétrique où $e_c^{*g} = e_c^g$, $\underline{T}_c^g = \underline{T}_c^{*g}$ et $\overline{T}_c^g = \overline{T}_c^{*g}$, les conditions (8) et (9) deviennent :

$$\begin{aligned} \underline{T}_c^g + \frac{1}{2} + (1 - e_c^g) \left(\underline{T}_c^g - \overline{T}_c^g \right) &= -\gamma\Delta\beta (1 - e_c^g), \\ \overline{T}_c^g + \frac{1}{2} + e_c^g \left(\overline{T}_c^g - \underline{T}_c^g \right) &= \gamma\Delta\beta e_c^g. \end{aligned}$$

D'où l'on déduit que $\overline{T}_c^g - \underline{T}_c^g = \frac{\gamma\Delta\beta}{2}$, soit le même écart que dans le cas d'une politique unilatérale. Finalement,

$$\begin{aligned} \underline{T}_c^g &= -\frac{\gamma\Delta\beta(1 - e_c^g)}{2} - \frac{1}{2}, \\ \overline{T}_c^g &= \frac{\gamma\Delta\beta e_c^g}{2} - \frac{1}{2}. \end{aligned}$$

La réécriture de (10) avec ces valeurs pour T_c^g et \bar{T}_c^g nous donne :

$$\psi'(e_c^g) = \frac{\gamma \Delta \beta}{2} \left(1 + \frac{\gamma \Delta \beta}{2} (1 - 2e_c^g) \right).$$

Puisque, par hypothèse, le niveau d'effort reste dans l'intervalle $[0, 1]$, nous voyons aisément que $\psi'(e_c^u) > \psi'(e_c^g)$. La fonction $\psi(\cdot)$ étant croissante et convexe, nous avons $e_c^u > e_c^g$. Pour une distribution uniforme de l'écart de coûts z , le niveau d'effort requis de la firme nationale par le gouvernement du Nord dans le cas d'une politique bilatérale est toujours inférieur au niveau d'effort requis par le même gouvernement dans le cas d'une politique unilatérale.

Nous résumons l'ensemble des résultats dans la proposition suivante.

PROPOSITION 3. Lorsque la politique environnementale est généralisée et les efforts des firmes observables par leurs gouvernements respectifs, la meilleure réponse du gouvernement du Nord est caractérisée par :

- i) Une subvention supérieure à la subvention accordée dans le cas d'une politique unilatérale, lorsque la technologie est propre (effet stratégique).*
- ii) Un effort de recherche inférieur par rapport au cas d'une politique unilatérale (comportement de passager clandestin) pour une distribution $G(\cdot)$ uniforme.*

5 Conclusion

Dans cet article, nous avons analysé la politique environnementale optimale du gouvernement du Nord dans un contexte où cette politique est entreprise de manière unilatérale puis dans un contexte où une politique environnementale est entreprise dans les deux pays formant notre économie. Dans un cadre de concurrence à la Bertrand avec bien homogène, la politique environnementale devient un instrument stratégique, ce qui se traduit par l'optimalité d'une subvention à la production domestique. Du fait que l'environnement ne s'améliore que lorsque la firme du Nord est non-polluante et qu'elle gagne le marché, la politique optimale au Nord consiste à lui donner une subvention supérieure lorsque sa technologie est propre. Lorsque l'effort de recherche d'une technologie propre par la firme n'est pas observable par son gouvernement, nous avons montré que la politique optimale consiste à augmenter la subvention lorsque la R&D est un succès, et à réduire la subvention lorsque la R&D est un échec. Nous avons surtout montré l'inefficacité d'une politique tarifaire puisque, dans une concurrence à la Bertrand avec bien homogène, les subventions environnementales jouent le même rôle stratégique qu'un droit de douane.

Lorsque la politique environnementale est bilatérale, nous mettons en évidence un comportement de *passager clandestin* de la part de chaque gouvernement. Ce comportement les conduit à relâcher l'effort de recherche demandé à leur firme, puisque la firme rivale est susceptible de moins polluer. Ce comportement de *passager clandestin* est défavorable à l'environnement et appelle à l'établissement d'une institution supranationale chargée de déterminer la politique environnementale de chacun des pays.

Nous avons montré qu'un droit de douane unique ne joue aucun rôle incitatif à l'égard d'aucune des deux firmes. Nous aurions pu envisager une politique commerciale plus sophistiquée, de manière à lui attribuer le rôle incitatif dont elle est dépourvue dans notre analyse. Le gouvernement du Nord pourrait élaborer une politique commerciale qui altère le résultat de la concurrence et qui puisse inciter la firme du Sud à réaliser elle aussi un effort pour améliorer sa technologie. Il suffirait pour cela que le droit de douane appliqué par le gouvernement du Nord à l'égard du bien importé en provenance de la firme du Sud soit différencié selon le caractère plus ou moins polluant de la technologie de cette dernière. Nous laissons ce développement pour de futurs travaux.

Nous avons étudié dans cet article la politique environnementale optimale dans un cadre de risque moral. Une extension consiste à considérer des problèmes de sélection adverse. Par exemple, si le coût de recherche d'une technologie propre dépend à la fois de l'effort fourni et du caractère polluant initial de l'activité productive, le gouvernement doit connaître ce dernier paramètre pour déterminer sa politique environnementale optimale. Dans HIRIART [2002b], nous étudions ainsi la politique environnementale optimale lorsque seule la firme connaît le caractère polluant de sa technologie.

• Références bibliographiques

- BAGNOLI M., BERGSTROM T. (1989). – *Log-Concavity Probability and its Applications*, University of Michigan, mimeo.
- BARRETT S. (1997). – *Toward a Theory of International Environmental Cooperation*, dans *New Directions in the Economic Theory of the Environment*, C.Carraro (ed.), Cambridge University Press, Cambridge, p. 239-280.
- CARRARO C., SINISCALCO D. (1993a). – *Strategies for the International Protection of the Environment*, *Journal of Public Economics*, 52, p. 309-328.
- CARRARO C., SINISCALCO D. (1993b). – *Environmental Policy Reconsidered: the Role of Technological Innovation*, Nota di lavoro, Fondazione Eni Enrico Mattei, 62.93.
- CARRARO C., SINISCALCO D. (1993c). – *Policy Coordination for Sustainability: Commitments, Transfers, and Linked Negotiations*, dans *The Economics of Sustainable Development*, I. Goldin and A. Winters (eds), Cambridge University Press.
- COPELAND B.R. (2000). – *Trade and Environment: policy linkages*, Special Issue on Trade and Environment, *Environment and Development Economics*, p. 405-432.
- GROSSMAN S., HART O. (1983). – *An Analysis of the Principal-Agent's Problem*, *Econometrica*, 51, p. 7-45.
- HIRIART Y. (2002a). – *Aspects stratégiques d'une politique environnementale incitative*, à paraître dans *Recherches Économiques de Louvain*.
- HIRIART Y. (2002b). – *Global Pollution Control: moral hazard and adverse selection in international trade context*, miméo, Université de Toulouse.
- HOLMSTRÖM B. (1979). – *Moral Hazard and Observability*, *Bell Journal of Economics*, 10, p. 74-91.
- LAFFONT J.J., MARTIMORT D. (2002). – *The Theory of Incentives: The Principal-Agent Model*, Princeton University Press, volume 1.
- SHAVELL S. (1979). – *Risk Sharing and Incentives in the Principal and Agent Relationship*, *Bell Journal of Economics*, 10, p. 55-73.
- WALZ U., WELLISCH D. (1997). – *Is Free Trade in the Interest of Exporting Countries when there is Ecological Dumping?*, *Journal of Public Economics*, 66(2): p. 275-291.
- ZHAO J. (2000). – *Trade and Environment Distorsions: Coordinated Intervention*, *Environment and Development Economics*, p. 361-375.

ANNEXE

A. Nous commençons par prouver que les subventions $(\underline{T}_c^u, \overline{T}_c^u)$ de premier rang ne donnent pas d'incitations suffisantes à la firme pour investir dans la recherche lorsque cet effort ne peut être vérifié par son gouvernement. Rappelons que le niveau d'effort de premier rang est tel que $\psi'(e_c^u) = \widetilde{W}(\underline{T}_c^u) - \widetilde{W}(\overline{T}_c^u)$. Pour prouver que les incitations à investir sont insuffisantes, considérons la solution $(\underline{T}_c^u, \overline{T}_c^u)$ et vérifions que, pour les profits correspondants $\pi(\underline{T}_c^u)$ et $\pi(\overline{T}_c^u)$, la firme choisira un niveau d'effort inférieur à e_c^u . Si c'est le cas, nous devons avoir

$$\pi(\underline{T}_c^u) - \pi(\overline{T}_c^u) < \widetilde{W}(\underline{\beta}, \underline{T}_c^u) - \widetilde{W}(\overline{\beta}, \overline{T}_c^u).$$

$$\text{Or, } \pi(\underline{T}_c^u) - \pi(\overline{T}_c^u) = \int_{\underline{T}_c^u}^{\overline{T}_c^u} (1 - G(z)) dz = \overline{T}_c^u - \underline{T}_c^u - \int_{\underline{T}_c^u}^{\overline{T}_c^u} G(z) dz.$$

En utilisant les définitions de \underline{T}_c^u et \overline{T}_c^u , la fonction de bien-être social en cas de succès de la R&D s'écrit $\widetilde{W}(\underline{\beta}, \underline{T}_c^u) = -\gamma\underline{\beta} + \frac{G^2}{g}(\underline{T}_c^u)$, et en cas d'échec $\widetilde{W}(\overline{\beta}, \overline{T}_c^u) = -\gamma\overline{\beta} + \frac{G^2}{g}(\overline{T}_c^u)$.

Ainsi,

$$\begin{aligned} \widetilde{W}(\underline{\beta}, \underline{T}_c^u) - \widetilde{W}(\overline{\beta}, \overline{T}_c^u) &= \\ \gamma\Delta\beta + \frac{G^2}{g}(\underline{T}_c^u) - \frac{G^2}{g}(\overline{T}_c^u) &= \gamma\Delta\beta + \int_{\overline{T}_c^u}^{\underline{T}_c^u} \frac{d}{dz} \left(\frac{G^2}{g}(z) \right) dz. \end{aligned}$$

Nous devons alors prouver que

$$\overline{T}_c^u - \underline{T}_c^u + \int_{\underline{T}_c^u}^{\overline{T}_c^u} G(z) dz < \gamma\Delta\beta + \int_{\overline{T}_c^u}^{\underline{T}_c^u} \frac{d}{dz} \left(\frac{G^2}{g}(z) \right) dz,$$

soit

$$\overline{T}_c^u - \underline{T}_c^u + \int_{\underline{T}_c^u}^{\overline{T}_c^u} G(z) dz < \gamma\Delta\beta + \int_{\overline{T}_c^u}^{\underline{T}_c^u} \left(2G(z) - \frac{G^2(z)g'(z)}{g^2(z)} \right) dz,$$

que l'on simplifie de telle sorte que

$$\begin{aligned} \overline{T}_c^u - \underline{T}_c^u &< \gamma\Delta\beta + \int_{\overline{T}_c^u}^{\underline{T}_c^u} G(z) \left(1 - \frac{G(z)g'(z)}{g^2(z)} \right) dz = \\ (11) \quad &\gamma\Delta\beta + \int_{\overline{T}_c^u}^{\underline{T}_c^u} G(z) \frac{d}{dz} \left(\frac{G(z)}{g(z)} \right) dz. \end{aligned}$$

Nous utilisons les définitions de \overline{T}_c^u et \underline{T}_c^u pour réécrire $\overline{T}_c^u - \underline{T}_c^u = \gamma\Delta\beta + \int_{\overline{T}_c^u}^{\underline{T}_c^u} \frac{d}{dz} \left(\frac{G(z)}{g(z)} \right) dz$. La condition (11) devient donc

$$\int_{\overline{T}_c^u}^{\underline{T}_c^u} (1 - G(z)) \frac{d}{dz} \left(\frac{G(z)}{g(z)} \right) dz < 0,$$

condition qui est vérifiée puisque $G(z) < 1$, $\frac{d}{dz} \left(\frac{G(z)}{g(z)} \right) > 0$, et $\underline{T}_c^u < \overline{T}_c^u < 0$.

B. Nous montrons que le multiplicateur λ de la contrainte incitative (4) est strictement positif. En utilisant la condition (4) décrivant le choix du niveau d'effort par la firme et la condition (7) définissant le niveau socialement optimal de l'effort, nous avons :

$$(12) \quad \lambda\psi''(e_i^u) = \widetilde{W}(\underline{\beta}, \underline{T}_i^u) - \widetilde{W}(\overline{\beta}, \overline{T}_i^u) - \left(\pi(\underline{T}_i^u) - \pi(\overline{T}_i^u) \right).$$

Or,

$$\Delta\widetilde{W}_i = \widetilde{W}(\underline{\beta}, \underline{T}_i^u) - \widetilde{W}(\overline{\beta}, \overline{T}_i^u) = \gamma\Delta\beta + \overline{T}_i^u G(\overline{T}_i^u) - (\underline{T}_i^u + \gamma\Delta\beta) G(\underline{T}_i^u).$$

En utilisant les conditions (5) et (6) définissant \overline{T}_i^u et \underline{T}_i^u , nous obtenons

$$\begin{aligned} \Delta\widetilde{W}_i = & \gamma\Delta\beta + \frac{G^2(\underline{T}_i^u)}{g(\underline{T}_i^u)} - \frac{G^2(\overline{T}_i^u)}{g(\overline{T}_i^u)} \\ & + \lambda \left(\frac{G(\overline{T}_i^u) (1 - G(\overline{T}_i^u))}{(1 - e_i) g(\overline{T}_i^u)} + \frac{G(\underline{T}_i^u) (1 - G(\underline{T}_i^u))}{e_i g(\underline{T}_i^u)} \right). \end{aligned}$$

D'où (12) devient

$$\begin{aligned} & \lambda \left(\psi''(e_i^u) - \frac{G(\overline{T}_i^u) (1 - G(\overline{T}_i^u))}{(1 - e_i) g(\overline{T}_i^u)} - \frac{G(\underline{T}_i^u) (1 - G(\underline{T}_i^u))}{e_i g(\underline{T}_i^u)} \right) \\ = & \gamma\Delta\beta + \int_{\overline{T}_i^u}^{\underline{T}_i^u} \left(2G(z) - \frac{G^2(z) g'(z)}{g^2(z)} \right) dz + \int_{\overline{T}_i^u}^{\underline{T}_i^u} (1 - G(z)) dz \\ = & \gamma\Delta\beta + \int_{\overline{T}_i^u}^{\underline{T}_i^u} \left(G(z) + 1 - \frac{G^2(z) g'(z)}{g^2(z)} \right) dz \\ = & \gamma\Delta\beta + \underline{T}_i^u - \overline{T}_i^u + \int_{\overline{T}_i^u}^{\underline{T}_i^u} G(z) \left(\frac{d}{dz} \left(\frac{G(z)}{g(z)} \right) \right) dz. \end{aligned}$$

En utilisant à nouveau les expressions (5) et (6) définissant \overline{T}_i^u et \underline{T}_i^u , nous obtenons

$$\lambda \left(\psi''(e_i^u) + \frac{(1 - G(\bar{T}_i^u))^2}{(1 - e_i)g(\bar{T}_i^u)} + \frac{(1 - G(\underline{T}_i^u))^2}{e_i g(\underline{T}_i^u)} \right) = \int_{\underline{T}_i^u}^{\bar{T}_i^u} (1 - G(z)) \frac{d}{dz} \left(\frac{G(z)}{g(z)} \right) dz > 0.$$

Nous avons bien $\lambda > 0$ puisque $G(z) < 1$, et du fait de l'hypothèse MTH, $\frac{d}{dz} \left(\frac{G(z)}{g(z)} \right) > 0$ et $\underline{T}_i^u < \bar{T}_i^u$.