Aspects stratégiques d'une politique environnementale incitative

Yolande Hiriart*
*Université de Toulouse (LEERNA-IDEI)***

1 Introduction

Lorsque l'on abandonne le cadre de concurrence parfaite, de nouvelles externalités doivent être prises en compte dans la définition de la politique environnementale au-delà de la simple externalité environnementale. La politique environnementale doit en effet être élaborée en tenant compte à la fois des caractéristiques du marché et du phénomène environnemental qui doit être régulé. Si le niveau de production est sous-optimal du fait de la concurrence imparfaite, la politique environnementale a de bonnes chances de n'internaliser que partiellement le dommage environnemental. En outre, dans un contexte de concurrence internationale, la relation stratégique entre les firmes crée presque toujours une incitation pour le gouvernement à intervenir d'une manière stratégique. La politique environnementale peut ainsi être aussi conçue de façon à conférer délibérément un avantage stratégique aux firmes nationales, aux dépens de leurs concurrentes étrangères. Ceci est particulièrement vrai depuis que les accords commerciaux internationaux tendent à supprimer les taxes et autres barrières à l'importation. En l'absence d'une politique commerciale, la politique environnementale se voit assigner un objectif supplémentaire auparavant dévolu aux politiques commerciales, qui est de défendre la position des firmes nationales sur

* Je remercie les participants aux $3^{ièmes}$ Journées du GREEN-CIRANO (Québec), au Séminaire de Microéconomie (Université de Montréal), au Séminaire du CATT (Université de Pau), ainsi que les rapporteurs anonymes de cet article pour leurs commentaires. Je reste responsable pour toute erreur ou omission.

** Université de Toulouse (LEERNA-IDEI), Manufacture des Tabacs, bât. F, 21 allée de Brienne, 31042 Toulouse Cedex, France. Tél. : 05 61 12 86 32. Fax : 05 61 12 86 37. Courriel : yhiriart@cict.fr.

les marchés internationaux.[1] Quelle peut alors être la nature de la politique environnementale d'un gouvernement soucieux de l'avantage comparatif des firmes nationales ? En particulier, que devient une politique environnementale engagée de manière unilatérale et en quoi diffère-t-elle de la taxe Pigouvienne ?[2]

La mise en œuvre d'une politique environnementale unilatérale soulève un certain nombre de questions que nous examinons dans ce papier. Nous y répondons en mettant l'accent sur les liens entre la politique environnementale et la recherche de technologie propre par les firmes, et sur la possibilité de *dumping écologique* de la part du gouvernement.[3]

La méthode consiste à appliquer les avancées de modélisation du commerce international stratégique à cette problématique environnementale.[4] Nous reprenons le cadre oligopolistique de commerce international utilisé par Bouët (2001) auquel nous intégrons des variables environnementales. Nous considérons une économie à deux pays : le Nord, qui s'engage dans une politique environnementale unilatérale, et le Sud. Dans chaque pays, une firme produit un bien final offert uniquement sur le marché du Nord.[5] Les émissions polluantes résultent de l'activité productive qui peut être localisée soit au Nord, soit au Sud.[6] Cependant, seul le gouvernement du Nord prend l'initiative d'une taxe sur les émissions de sa firme. Les firmes des deux pays sont initialement identiques.[7] La firme du Nord étant la seule soumise à une taxe est aussi la seule à rechercher une technologie plus pro-

---

1 Barrett (1994) rapporte ainsi que la politique environnementale élaborée par l'EPA (Environmental Protection Agency) aux États-Unis a, dans certains cas, été modifiée pour être mise en accord avec les préoccupations exprimées par le Conseil sur la Compétitivité de la Maison Blanche.

2 Par le Protocole de Kyoto de décembre 1997, les pays industrialisés ont accepté des engagements visant la réduction de leurs émissions pour six gaz à effet de serre. Le processus de négociation confirme donc l'engagement des pays industrialisés à mener une politique de réduction des émissions, mais exclut tout engagement contraignant de la part des pays en voie de développement à réduire eux aussi leurs émissions. Cette donnée motive l'analyse d'une politique environnementale menée de façon unilatérale par un pays développé.

3 Nous renvoyons à Rausher (1994) pour les différentes acceptions du *dumping écologique*. Conformément à Brander (1995) qui définit la politique commerciale stratégique comme une politique qui conditionne ou altère la relation stratégique entre les firmes, le *dumping écologique* caractérise une situation dans laquelle un gouvernement adopte des normes environnementales laxistes de façon à soutenir les firmes domestiques sur les marchés internationaux, de faibles exigences environnementales devant leur permettre d'offrir des biens à un prix inférieur. À la différence du dumping habituel, le *dumping écologique* est donc le fait d'un gouvernement et non d'une firme.

4 La littérature sur la politique environnementale stratégique est très proche de celle du commerce international stratégique introduite par Spencer et Brander (1983), et Brander et Spencer (1985). Notre approche se situe en équilibre partiel et le nombre de firmes est fixé.

5 On peut aisément justifier cette hypothèse : l'économie des pays en voie de développement est bien souvent duale, avec un secteur moderne produisant des biens destinés à l'exportation vers les pays industrialisés, et un secteur traditionnel produisant des biens destinés à une auto-consommation locale. Nous considérons donc un bien de consommation finale appartenant au secteur moderne du pays du Sud.

6 Ces émissions peuvent théoriquement aussi bien résulter des processus de production que de la consommation de produits finis : seul le premier type est examiné ici. L'internalisation des externalités de consommation a elle aussi des effets sur les échanges, mais les réglementations à ce sujet ont le même effet sur les producteurs nationaux ou sur les producteurs étrangers (Rauscher (1992)).

7 Les industries pour lesquelles les firmes sont initialement identiques dans les pays du Nord et du Sud, et produisent des biens substituts peuvent être les industries forestières, les industries minières, celles du

pre.[8] Les deux firmes se différencient alors par leurs coûts et par le caractère plus ou moins polluant de leur technologie, lié à l'importance de l'effort de recherche d'une technologie propre au Nord.[9]

Nous montrons tout d'abord qu'une taxe environnementale unilatérale au Nord dans une concurrence à la Cournot entraîne un déplacement d'une partie de la production vers le Sud. Les émissions baissent au Nord mais augmentent au Sud. Malgré ce report de production, la taxe au Nord peut être suffisante pour réduire les émissions globales. Ceci montre l'intérêt d'une politique environnementale unilatérale, même dans un cadre de pollution globale. Nous montrons par ailleurs que la politique environnementale optimale au Nord ne couvre pas le dommage marginal de la pollution. Des considérations stratégiques de la part du gouvernement affaiblissent cette taxe optimale, qui serait plus élevée si elle était choisie par une institution supranationale.

De même que les travaux sur la politique commerciale stratégique ont souligné l'importance du type de concurrence pour les conclusions en termes de politique optimale,[10] les travaux sur la politique environnementale stratégique ont révélé certaines contradictions : une concurrence à la Cournot, cadre usuel des modèles de politique environnementale stratégique, conduit généralement à une norme environnementale moins stricte qu'une norme Pigouvienne, néanmoins Ulph (1994, 1995) montre que, dans une concurrence à la Bertrand, les gouvernements peuvent imposer des normes environnementales plus strictes que des normes Pigouviennes, afin d'amener leurs firmes à pratiquer un prix plus élevé. Conrad (1995) montre cependant que, dans une concurrence à la Bertrand différenciée, la taxe optimale peut être inférieure à la taxe Pigouvienne. Ces contradictions mettraient en doute la validité d'un quelconque résultat sur le *laxisme* en matière environnementale de la part de gouvernements choisissant leur politique de manière stratégique dans un cadre de concurrence internationale.

Pour tester la validité de notre résultat de *dumping écologique*, nous considérons dans un deuxième temps une concurrence par les prix. La concurrence à la Bertrand pour des produits homogènes étant plus rude qu'une concurrence à la Cournot, nous montrons qu'elle conduit inévitablement à une politique environnementale laxiste. Néanmoins, le résultat de *dumping*

gaz, du charbon ou du pétrole. Toutes ces industries ont en commun de libérer du carbone ou des éléments toxiques sources de pollution globale.

8 En l'absence d'une politique environnementale au Sud, l'incitation à investir dans la recherche de technologie propre est aussi absente pour la firme du sud, du fait du coût de cette recherche.

9 Nous savons depuis les travaux de Ulph et Ulph (1995) que l'ajout d'une R&D de *procédé* destinée à faire baisser le coût de production ne modifie en rien les résultats qualitatifs : ce type de R&D évoluera dans le même sens que la R&D *verte* dès lors qu'il existe une politique environnementale.

10 En effet, Eaton et Grossman (1986) dans une version de leur modèle de subvention stratégique avec différenciation du produit, ont montré que la conclusion de Brander et Spencer (1985) pouvait être inversée simplement en changeant le type de concurrence. Brander et Spencer ont montré l'optimalité d'une subvention à l'exportation dans une concurrence en quantités. Or, Eaton et Grossman ont montré l'optimalité d'une taxation à l'exportation en passant simplement à une concurrence en prix. Helpman et Krugman (1992, Chap. 5) expliquent clairement les conséquences du choix du type de concurrence pour la politique commerciale stratégique, dans le cadre d'un marché tiers puis d'un marché national.

écologique peut aussi être obtenu dans une concurrence à la Bertrand avec des substituts imparfaits, dès lors que les élasticités-prix de la demande ne sont pas trop élevées. Finalement, la taxe environnementale optimale au Nord est d'autant plus faible que les biens sont substituables (pour éviter un report de production vers le Sud) et que les élasticités-prix de la demande sont faibles. Le résultat de *laxisme* environnemental ne dépend donc pas du type de concurrence, ce qui va à l'encontre de certains résultats de la littérature évoqués précédemment.[11] Le fait que cette contradiction ne se retrouve pas dans notre analyse ne vient pas de ce que nous considérons une pollution globale alors que c'est une pollution locale qui est généralement étudiée, mais vient plutôt du fait que le marché du bien final est situé dans un pays tiers pour l'essentiel de ces travaux (Barrett (1994), Conrad (1995), et Ulph et Ulph (1995)). Dans le cadre d'un marché tiers, le gouvernement adopte une politique environnementale en tenant seulement compte du préjudice lié à la pollution et de la perte de compétitivité imposée aux firmes nationales. Toute considération de surplus du consommateur est exclue. Or, les biens produits dans un cadre de concurrence imparfaite tendent à être fournis en quantité insuffisante. De ce fait, toute politique qui tend à limiter la production tend aussi à exacerber la distorsion existante.[12] Le problème devient d'autant plus aigu qu'une analyse en termes de surplus du consommateur est intégrée dans l'analyse du bien-être. Cette simple considération peut modifier la politique environnementale optimale et renforcer la présomption de *dumping écologique*. Le bien final étant consommé localement dans notre modèle, une taxe environnementale réduit le surplus du consommateur, ce qui conduit à amoindrir le niveau optimal de la taxe. Moins sensibles qu'ils ne le sont habituellement au type de concurrence envisagée, nos résultats contribueront peut-être à atténuer le doute concernant l'utilité et les implications politiques possibles de la littérature sur la politique environnementale stratégique.

La Section 2 présente le modèle. La Section 3 décrit la résolution du modèle dans une concurrence à la Cournot. Nous comparons la taxe optimale du point de vue du gouvernement local puis d'une institution supranationale avec une taxe Pigouvienne. Nous discutons la validité des résultats dans une concurrence à la Bertrand non différenciée dans la Section 4, et dans une concurrence à la Bertrand différenciée dans la Section 5. Nous concluons dans la Section 6.

---

[11] En effet, nous obtenons seulement une taxe environnementale optimale supérieure à la taxe Pigouvienne dans le cas très particulier de concurrence à la Cournot avec biens complémentaires, sous la condition d'élasticités-prix de la demande très élevées.

[12] Une taxe sur les émissions corrige les externalités négatives associées à l'activité polluante. L'internalisation est complète avec une taxe Pigouvienne qui égalise la taxe au dommage marginal lié à la pollution. Le degré d'internalisation socialement optimal dépend cependant de la structure de marché. En concurrence parfaite, l'internalisation désirée est complète alors qu'en concurrence imparfaite, une internalisation complète imposerait des coûts sociaux additionnels en restreignant davantage un volume de production déjà sous-optimal (voir Ulph (1995)).

2 Le modèle

2.1 La firme du Nord

La firme F produit le bien final en quantité q en supportant un coût marginal constant δ. Toute production entraîne des émissions selon un coefficient constant. Lorsqu'une taxe τ est appliquée sur chaque émission polluante, F supporte un coût additionnel directement lié à son niveau de production. Pour faire baisser le surcoût lié à la taxe environnementale, elle peut modifier de façon déterministe sa technologie en fournissant un effort permettant de réduire le coefficient d'émission, ce qui revient à un choix de technologie plus propre. Nous supposons qu'un effort e permet d'abaisser le coefficient β initial au niveau $\beta - e$. Cet effort e appartient à l'intervalle $[0, \beta]$ de telle façon que le coefficient d'émission $\beta - e$ reste positif, et qu'il puisse atteindre la valeur zéro.[13] Il procure une *désutilité* par unité de production $\psi(e)$ à la firme, où $\psi(.)$ est une fonction strictement croissante et convexe, telle que $\psi'(.) > 0$ et $\psi''(.) > 0$.[14] Nous supposons de surcroît que $\psi(0) = 0$, $\psi'(0) = 0$ et que $\psi'(\beta) = \infty$, ces conditions d'Inada assurant également que l'effort reste dans l'intervalle $[0, \beta]$. La *désutilité* liée à l'effort de recherche de technologie plus propre a pour effet d'augmenter le coût marginal de production qui devient donc $\delta + \tau(\beta - e) + \psi(e)$.

2.2 La firme du Sud

La firme F^* produit le même bien final en quantité q^* avec un coût marginal constant δ^*. La firme F^* n'a aucune incitation à rechercher une technologie plus propre. Sa production entraîne un flux d'émissions selon un coefficient constant qui reste à son niveau initial identique à celui de F.

2.3 La pollution

La fonction de nuisance N du consommateur est linéaire par rapport au flux E des émissions globales, lequel est la somme des flux d'émissions provenant de F et de $F^* : N(E) = \gamma E$, où $E = (\beta - e)q + \beta q^*$ et γ est un

[13] Cavendish et Anderson (1994) étudient la manière dont une politique environnementale affecte l'introduction de nouvelles technologies, et comparent les émissions de pollution qui en résultent avec leur niveau initial. Ils relèvent que dans un grand nombre de cas, la pollution par unité d'output peut être ou a historiquement été réduite d'un facteur 10, 100 et parfois 1000 ou davantage, lorsque le processus de substitution est complet. Même pour le problème en apparence insoluble du réchauffement climatique, des solutions existent qui sont en mesure de ramener les émissions de CO_2 à zéro.

[14] Ce choix de modélisation peut se justifier de la manière suivante. F investit un montant I par unité d'output, dont le résultat $d(I)$ est tel que le coefficient d'émission devient $(\beta - d(I))$, avec $d'(.) > 0$ et $d''(.) < 0$. Le coût unitaire de production est alors $(\delta + I)$. Nous posons $e = d(I)$, et $\psi(e) = I$. Nous avons alors $\psi = d^{-1}$, $\psi'(.) > 0$ et $\psi''(.) > 0$. Cette hypothèse correspond plutôt à une fonction de dépollution puisque le coût total de l'effort dépend de la quantité produite et est égal à $\psi(e)q$.

coefficient de nuisance strictement positif et constant. Les agents sont en effet affectés par le niveau global des émissions, sans considération pour leur origine géographique.

2.4 Le régulateur

La fonction de bien-être social W_g du gouvernement du Nord est la somme du profit π de F, du surplus S du consommateur, de la recette R liée à la taxe et de la nuisance N. Ainsi, $W_g = \pi + S + R - N$. La fonction de bien-être social W_i d'une institution supranationale intègre en plus le profit π^* de F^*. Ainsi, $W_i = \pi + \pi^* + S + R - N$. Le régulateur applique une taxe τ sur les émissions de la firme du Nord.[15]

2.5 Le déroulement du jeu

Le jeu se déroule en deux étapes. Dans la première, le régulateur (le gouvernement du Nord ou l'institution supranationale) choisit le niveau de la taxe appliquée à F. Puis, simultanément, F choisit son niveau d'effort et les deux firmes font leurs choix de production. Nous nous concentrons sur l'équilibre de Nash de cette dernière étape. Nous résolvons le problème de façon récursive et appliquons le concept d'équilibre sous-jeu parfait (Selten (1975)) à l'ensemble du jeu en deux étapes. Notons que F^* n'observe pas la réalisation de l'effort de F, mais l'anticipe parfaitement à l'équilibre.[16]

3 Concurrence à la Cournot

Les deux firmes offrent leur bien sur le marché du Nord en quantités respectives q et q^*. Soit $Q = q + q^*$ la quantité globale offerte. Le consommateur représentatif peut indifféremment choisir, sans coût supplémentaire, le bien produit localement ou le bien importé qui sont supposés parfaitement substituables. Soit p le prix établi sur le marché. Nous ne spécifions pas la fonction de demande inverse mais supposons simplement qu'elle est connue des deux firmes et que $p = p(Q)$ avec $p'(Q) < 0$ et $p''(Q) \leqslant 0$.

[15] Le régulateur n'impose pas une taxe sur le produit importé. La raison pour laquelle on n'introduit pas de droit de douane sur le produit importé, instrument qui permettrait d'inciter la firme étrangère à rechercher elle aussi une technologie propre, est liée aux accords commerciaux internationaux. À L'instar des autres travaux portant sur les aspects stratégiques de la politique environnementale, l'accent est porté sur la manière dont une politique environnementale est modifiée lorsqu'aucun instrument de politique commerciale n'est disponible pour défendre la position de la firme nationale face à sa rivale étrangère.

[16] En ce sens, F^* est dans la même situation de non-observabilité de l'effort de F que le gouvernement national.

La firme F intègre l'expression de demande inverse du consommateur représentatif dans son programme, qui s'écrit :

$$\max_q \pi(q,q^*) = (p(q+q^*) - (\delta + \tau(\beta - e) + \psi(e)))\, q$$

Notons que $\pi_{qq^*} = p''(q+q^*)q + p'(q+q^*) < 0$, puisque $p'(Q) < 0$ et $p''(Q) \leqslant 0$. Le profit marginal est décroissant par rapport à la quantité produite par la firme concurrente, en particulier pour les fonctions de demande linéaires, ce qui est le cadre adopté par la suite pour certaines démonstrations ou exemples.[17] Par ailleurs, du fait de la décroissance de la fonction de demande inverse, le profit marginal de F décroît plus rapidement avec sa propre production qu'avec celle de sa concurrente,[18] ce qui se traduit de la façon suivante :

$$\pi_{qq} < \pi_{qq^*} < 0 \tag{1}$$

La firme F^* intègre l'expression de demande inverse du consommateur représentatif dans son programme qui s'écrit :

$$\max_{q^*} \pi^*(q,q^*) = (p(q+q^*) - \delta^*)\, q^*$$

De la même manière que pour F, le profit marginal de F^* est décroissant par rapport à la production de sa concurrente, et le profit marginal de F^* décroît plus rapidement avec sa propre production qu'avec celle de sa rivale :

$$\pi^*_{q^*q^*} < \pi^*_{q^*q} < 0 \tag{2}$$

3.1 Choix de production et choix technologique

À la deuxième étape du jeu, les firmes choisissent les niveaux de production q et q^* qui maximisent leurs profits respectifs, et la firme F choisit son effort e. Les conditions de premier ordre ($c.p.o.$) correspondant à une optimisation par rapport aux quantités permettent de calculer les fonctions de meilleure réponse $R(q^*)$ et $R^*(q)$:

$$\pi_q = 0 \Leftrightarrow p'(q)q + p(q+q^*) - (\delta + \tau(\beta - e) + \psi(e)) = 0, \tag{3}$$

$$\pi^*_{q^*} = 0 \Leftrightarrow p'(q^*)q^* + p(q+q^*) - \delta^* = 0 \tag{4}$$

Les conditions de second ordre et de stabilité de cet équilibre (voir Dixit (1984)) sont vérifiées puisque du fait des inégalités (1) et (2), nous avons

17 Cette hypothèse est commentée dans Brander (1995). Il n'est pas nécessaire que $p''(.) \leqslant 0$, il suffit que $p(.)$ ne soit pas trop convexe. Par ailleurs, en supposant que les conditions de second ordre soient globalement satisfaites, elle est aussi la condition de Gale-Nikaido assurant l'unicité de l'équilibre de Cournot. Elle permet en outre de bonnes propriétés du modèle à des fins de statique comparative. Elle fait surtout des outputs q et q^* des substituts stratégiques puisque le profit marginal π_q lié à une augmentation de q pour F est réduit lorsque q^* augmente, ce qui se traduit par des fonctions de réaction décroissantes.

18 En effet, $\frac{\partial(p'q+p)}{\partial q}(= p''q + 2p') < \frac{\partial(p'q+p)}{\partial q^*}(= p''q + p') < 0$.

$\pi_{qq} < 0$ et $\pi^*_{q^*q^*} < 0$ et $\Delta = \pi_{qq}\pi^*_{q^*q^*} - \pi_{qq^*}\pi^*_{q^*q} > 0$. Nous déterminons le sens de variation des quantités produites à l'équilibre.[19] La taxe déplace la fonction de réaction de la firme du Nord. Puisque les quantités produites par les deux firmes sont des substituts stratégiques, lorsque le niveau de la taxe augmente, la production au Nord diminue au bénéfice de celle du Sud qui augmente, et la production globale est réduite.

La firme F choisit aussi le niveau d'effort e qui rend son profit maximum. Notons que du fait de la modélisation adoptée, il y a dichotomie entre le problème d'incitation (le choix technologique) et celui de la concurrence : la détermination de e est ici indépendante de celle de q.[20] Cette dichotomie simplifie bien entendu l'analyse, tout en préservant les principales intuitions. La *c.p.o.* nous donne alors le niveau d'effort optimal :

$$\pi_e = 0 \Leftrightarrow \psi'(e) = \tau \Leftrightarrow e = \psi'^{-1}(\tau) \tag{5}$$

Le niveau d'effort optimal pour la firme égalise la *désutilité* marginale d'un effort supplémentaire au coût marginal d'une unité de pollution. La fonction $\psi(.)$ étant supposée strictement croissante et convexe, e augmente avec τ. Dès lors, nous pouvons étudier indifféremment l'évolution des variables par rapport à τ ou par rapport à e. Par ailleurs, d'après l'hypothèse $\psi'(0) = 0$, même une taxe très petite entraîne un effort strictement positif. De ce fait, aucun problème de discontinuité ne se pose. Ces résultats sont résumés dans le Lemme 1.

Lemme 1 *$e = e(\tau)$ est une fonction continue et croissante telle que $e(0) = 0$.*

Nous insérons (5) dans l'expression du profit qui devient $\pi = (p(q) - (\delta + \phi(e)))\,q$, où $\phi(e) = \psi(e) + \psi'(e)(\beta - e)$ est le terme du coût lié à l'effort de recherche. Notons que $\phi(0) = 0$ et que $\phi'(e) = \psi''(e)(\beta - e) > 0$. Le niveau d'effort, et par conséquent le coût, augmentent donc pour F lorsque τ augmente. Par conséquent, lorsque la taxe τ augmente au Nord, la production et donc les émissions du Nord diminuent, la production et donc les émissions du Sud augmentent, la production globale et donc le surplus du consommateur diminuent.[21] Les émissions du Nord et du Sud évoluant en sens contraire, nous précisons dans la Proposition 1 les conditions sous lesquelles la pollution globale est réduite.

Proposition 1 *Soit $\varepsilon_{qe} = -eq_e/q$ l'élasticité de la production du Nord q par rapport à l'effort e. Les émissions globales décroissent avec la taxe environnementale τ lorsque $\varepsilon_{qe} < 1 - \beta Q_e/q$, et augmentent lorsque $\varepsilon_{qe} > 1 - \beta Q_e/q$. Une condition suffisante pour que les émissions globales diminuent avec τ est $\varepsilon_{qe} < 1$.*

---

19 Nous reportons la démonstration dans l'Annexe A.1.

20 Cette propriété d'indépendance n'existerait pas dans le cas d'une taxation non linéaire plus générale, par exemple.

21 Nous reportons la démonstration dans l'Annexe A.2.

En effet, en exprimant la variation du niveau des émissions globales par rapport à l'effort de F, $E_e = (\beta - e)q_e - q + \beta q_e^*$, nous identifions trois termes. Le 1^{er} terme $(\beta - e)q_e$ exprime la réduction des émissions au Nord du fait d'une baisse de production au Nord à technologie inchangée. Le 2^{nd} terme $-q$ exprime la baisse des émissions au Nord par amélioration technologique à niveau de production inchangé. Le $3^{ième}$ terme βq_e^* exprime la hausse des émissions au Sud du fait d'une hausse de production et de l'absence d'amélioration technologique. En réécrivant Les conditions de la Proposition 1 déterminant $E_e = \beta Q_e - q(1 - \varepsilon_{qe})$, nous avons bien $E_e < 0$ si $0 < \varepsilon_{qe} < 1$, puisque $Q_e < 0$.

Interprétation : pour une faible élasticité ε_{qe}, la production du Nord est peu réduite en réaction à la taxe, et le report de production vers le Sud est faible. La baisse de production et des émissions au Nord est plus forte que la hausse de production et des émissions au Sud. Alors que la taxe n'est appliquée qu'au Nord, les émissions globales sont réduites. En revanche, lorsque cette élasticité est forte, la production au Nord est fortement réduite en réaction à la taxe, et celle du Sud augmente en conséquence. Comme F^* ne fait aucun effort technologique, la hausse de ses émissions est plus forte que la baisse des émissions de F. Les émissions globales augmentent donc. Il y a là un effet pervers d'une politique environnementale unilatérale dans un cadre de concurrence à la Cournot.

Nous pouvons faire trois remarques :

1. Cet effet pervers n'existerait pas si le bien était offert par un monopole situé au Nord. Il n'y aurait alors pas de possibilité de report de la production vers un pays plus laxiste en matière environnementale, et une taxe aurait pour seuls effets de réduire la production du monopole et d'inciter à un meilleur choix technologique. Une taxe réduirait donc sans ambiguïté les émissions.

2. En notant que $q_e^* = (\partial R^*/\partial q)q_e$, où $\partial R^*/\partial q$ est la pente de la fonction de réaction de F^* et $\varepsilon_{q(\beta-e)} = -(\beta - e)q_e/q$, nous avons $E_e = (\beta - e)q_e \left(1 + \frac{1}{\varepsilon_{q(\beta-e)}} + \frac{\beta}{\beta-e}\left(\frac{\partial R^*}{\partial q}\right)\right)$. Le dernier terme entre parenthèses représente l'augmentation des émissions au Sud résultant d'une baisse de production au Nord. Si l'on rompt la symétrie du duopole en rendant la fonction de réaction de F^* plus "réactive", on peut avoir $E_e > 0$. Ceci est possible avec une fonction de demande inverse linéaire $p(Q) = a - Q$, où $a > 0$, et une fonction de coûts non linéaires pour F^*. Ainsi, nous avons $\partial R^*/\partial q = -1/2$ pour une fonction de coûts linéaire $C^*(q^*) = \delta^* q^*$, et $\partial R^*/\partial q = -1/(2 - \delta^*)$ pour une fonction de coûts concave $C^*(q^*) = \lambda q^* - \frac{\delta^* q^{*2}}{2}$. Dans ce dernier cas, plus δ^* est grand (avec $\delta^* < 2$), plus la production de F^* augmente en réaction à la baisse de production de F : les émissions globales peuvent alors augmenter.

3. Pour comparer ε_{qe} à 1, nous l'exprimons à l'équilibre de production et de choix technologique. En spécifiant $p(Q) = a - Q$ et $\psi(e) = e^2/2$, nous obtenons $\varepsilon_{qe} = 2e(\beta - e)/3q$ où q est le niveau de production à

l'équilibre de Nash. Nous montrons que $\varepsilon_{qe} < 1$ si $a + \delta^* - 2\delta > \frac{3\beta^2}{2}$.[22] Par conséquent, pour une taille de marché a suffisamment grande par rapport au coefficient d'émission β, les émissions globales sont strictement décroissantes avec le niveau de l'effort et donc, de la taxe.

3.2 Taxes optimales

À l'étape 1 du jeu, le régulateur établit le niveau de la taxe τ en étant pleinement conscient de la manière dont elle affectera le choix technologique de F ainsi que les choix de production des deux firmes à l'étape 2. Nous comparons les niveaux de taxes optimales selon les points de vue du gouvernement du Nord et de l'institution supranationale. Cette dernière détermine la politique environnementale du pays du Nord optimale du point de vue de l'ensemble des deux pays. Nous comparons les taxes optimales obtenues avec une taxe Pigouvienne, égale au dommage marginal, soit γ dans notre modèle.

Remarque : comme l'effort est strictement croissant avec la taxe (Lemme 1), le régulateur peut indifféremment optimiser par rapport au niveau de l'effort ou de la taxe qui commande cet effort. Nous choisissons la première option pour une présentation plus claire.

3.2.1 Le gouvernement du Nord

Il recherche le niveau d'effort e_g qui rend maximum la fonction de bien-être social $W_g(e) = \pi(e) + S(e) + R(e) - N(e)$. Son programme s'écrit :

$$\begin{aligned}\max_e W_g(e) =& \left(p\left(q(e) + q^*(e)\right) - \left(\delta + \psi(e) + (\beta - e)\psi'(e)\right)\right)q(e)\\ &+ S\left(q(e) + q^*(e)\right) - p\left(q(e) + q^*(e)\right)\left(q(e) + q^*(e)\right)\\ &+ (\beta - e)\psi'(e)q(e) - \gamma\left((\beta - e)q(e) + \beta q^*(e)\right),\end{aligned}$$

où q et q^* sont définies par (3) et (4) et où on a utilisé le fait que τ est définie par (5). En simplifiant, la fonction objectif devient

$$-\left(\delta + \psi(e) + \gamma(\beta - e)\right)q(e) + S\left(q(e) + q^*(e)\right) - \left(p\left(q(e) + q^*(e)\right) + \gamma\beta\right)q^*(e)$$

La $c.p.o.$ de ce programme de maximisation est alors :

$$\begin{aligned}\frac{dW_g(e)}{de} =& \left(p(Q) - (\delta + \psi(e) + \gamma(\beta - e)) - p'(Q)q^*\right)q_e\\ &- \left(p'(Q)q^* + \gamma\beta\right)q_e^* - (\psi'(e) - \gamma)q = 0\end{aligned} \tag{6}$$

En utilisant (3), nous réécrivons (6) afin d'isoler les termes environnementaux, qui sont le dommage marginal γ et la taxe optimale $\psi'(e_g)$:

$$\gamma - \psi'(e_g) = -\frac{p'(Q)Qq_e + \left(p'(Q)q^* + \gamma\beta\right)q_e^*}{(\beta - e)q_e - q} \tag{7}$$

[22] Nous reportons la démonstration en Annexe B.1.

Interprétation :

1. Le terme de gauche de (7) mesure l'écart entre le bénéfice social marginal γ et le coût social marginal $\psi'(e_g)$ d'une augmentation de e : c'est donc le bénéfice social marginal net d'une augmentation de l'effort de recherche de technologie propre. Ce terme mesure aussi l'écart entre la taxe Pigouvienne, égale à γ, et la taxe optimale $\psi'(e_g)$ du gouvernement du Nord.
2. Le terme $(\beta - e)q_e - q$ est négatif et mesure la baisse des émissions du Nord du fait d'une baisse de production au Nord et du fait d'une technologie plus propre. Plus il est important, plus les émissions de F baissent avec son effort de recherche, et plus la taxe optimale $\psi'(e_g)$ se rapproche de la taxe Pigouvienne γ. Si l'effort de recherche permet de réduire substantiellement les émissions de F, alors le niveau d'effort optimal, et celui de taxe environnementale optimale, sont supérieurs.
3. Le terme $p'(Q)Qq_e$ du numérateur est lié à l'effet positif sur le bien-être social de la production du Nord, via le profit de F et le surplus du consommateur. Lorsque le gouvernement choisit un niveau d'effort plus élevé, la réduction de production au Nord qui en découle affecte négativement le bien-être social. Cet effet conduit à réduire la taxe optimale du point de vue du gouvernement du Nord.
4. Le terme $(p'(Q)q^* + \gamma\beta)\, q_e^*$ décrit comment une hausse de production au Sud consécutive à une hausse de e affecte la taxe optimale. La production du Sud a deux effets de signes opposés sur le bien-être : un effet positif lié à l'augmentation du surplus net du consommateur, et un effet négatif lié à l'augmentation de la nuisance. La taxe optimale se rapproche d'autant plus de la taxe Pigouvienne que le terme de surplus est important relativement au terme de nuisance.

Du fait de termes de signes opposés au numérateur, l'expression (7) ne nous permet donc pas de connaître le signe de $\gamma - \psi'(e_g)$. En rappelant que $q_e^* = (\partial R^*/\partial q)q_e$ et que $\varepsilon_{q(\beta-e)} > 0$, nous réécrivons (7) de manière à obtenir le signe de $\gamma - \psi'(e_g)$:

$$\gamma - \psi'(e_g) = -\frac{p'(Q)\left(q + q^*\left(1 + \frac{\partial R^*}{\partial q}\right)\right) + \gamma\beta\left(\frac{\partial R^*}{\partial q}\right)}{(\beta - e_g)\left(1 + \frac{1}{\varepsilon_{q(\beta-e_g)}}\right)}$$

Comme $1 + \partial R^*/\partial q > 0$ du fait de (2), le numérateur est négatif. Par ailleurs, le dénominateur est positif. Nous avons donc $\gamma - \psi'(e_g) > 0$.

Proposition 2 *Dans une concurrence à la Cournot homogène sur le marché local, la taxe environnementale optimale du point de vue du gouvernement du Nord est toujours strictement inférieure à la taxe Pigouvienne.*

Remarques :

1. Le fait que la taxe optimale pour le gouvernement du Nord soit inférieure à la taxe Pigouvienne ne tient pas seulement à des considérations

stratégiques. Lorsqu'on les supprime en examinant le cas d'un monopole sur le marché du Nord, la taxe optimale s'avère elle aussi inférieure à la taxe Pigouvienne. Nous avons $\psi'(e) < \gamma$ si et seulement si $0 < \varepsilon_{qe} < 1$, puisque $\gamma - \psi'(e) = -\frac{p'(q)q}{\beta + e\left(\frac{1}{\varepsilon_{qe}} - 1\right)}$.

2. Lorsque les biens offerts par les deux firmes ne sont plus de parfaits substituts, le résultat de *dumping écologique* ne peut être obtenu clairement. Nous montrons, dans le cas particulier de biens complémentaires et à condition que les élasticités-prix de la demande soient suffisamment élevées, que la taxe environnementale optimale fixée par le gouvernement du Nord devient supérieure à la taxe Pigouvienne.[23]

3.2.2 L'institution supranationale

Elle recherche le niveau d'effort e_i qui rend maximum le bien-être social $W_i(e) = \pi(e) + \pi^*(e) + S(e) + R(e) - N(e)$. Son programme s'écrit :

$$\begin{aligned}\max_e W_i(e) = &\left(p\left(Q(e)\right) - \left(\delta + \psi(e) + (\beta - e)\psi'(e)\right)\right) q(e) \\ &+ \left(p\left(Q(e)\right) - \delta^*\right) q^*(e) + S\left(Q(e)\right) - p\left(Q(e)\right)\left(q(e) + q^*(e)\right) \\ &+ (\beta - e)\psi'(e) q(e) - \gamma\left((\beta - e) q(e) + \beta q^*(e)\right),\end{aligned}$$

où q et q^* sont définies par (3) et (4) et la taxe τ définie par (5). En simplifiant, nous obtenons

$$W_i(e) = -\left(\delta + \psi(e) + \gamma(\beta - e)\right) q(e) + S\left(q(e) + q^*(e)\right) - (\delta^* + \gamma\beta) q^*(e)$$

La *c.p.o.* de ce programme est alors :

$$\left(p(Q) - \left(\delta + \psi(e) + \gamma(\beta - e)\right)\right) q_e + \left(p(Q) - \delta^* - \gamma\beta\right) q_e^* - \left(\psi'(e) - \gamma\right) q = 0 \tag{8}$$

En utilisant (3), nous réécrivons (8) afin d'isoler les termes environnementaux γ et $\psi'(e_i)$:

$$\gamma - \psi'(e_i) = -\frac{p'(Q) q q_e + \left(p'(Q) q^* + \gamma\beta\right) q_e^*}{(\beta - e) q_e - q} \tag{9}$$

L'interprétation reste la même que précédemment. L'écart entre la taxe Pigouvienne γ et la taxe optimale $\psi'(e_i)$ est d'autant plus grand que la baisse de production au Nord consécutive à une augmentation de la taxe optimale réduit le profit de F et le surplus du consommateur. Tous les termes de (9) sont identiques à ceux de (7), à l'exception du premier terme du numérateur. En effet, comme l'institution supranationale intègre le profit du Sud dans l'expression du bien-être social, elle tient davantage compte de la production de F^*. Or, une taxe au Nord réduit q mais augmente q^*, ce

[23] Voir la démonstration dans l'Annexe C.

qui compense partiellement la baisse de q. La taxe est ainsi d'autant plus grande et se rapproche d'une taxe Pigouvienne que le régulateur pondère la production de F^* dans sa fonction objectif.

Tous les autres termes étant strictement identiques, la taxe optimale de l'institution supranationale est plus proche d'une taxe Pigouvienne que ne l'est celle du gouvernement du Nord. Ainsi, $\psi'(e_i) > \psi'(e_g)$. Le niveau d'effort imposé à F par une institution supranationale sera donc plus important que celui imposé par le gouvernement du Nord. En rappelant que $q_e^* = (\partial R^*/\partial q)q_e$ et que $\varepsilon_{q(\beta-e)} > 0$, nous réécrivons l'équation (9) :

$$\gamma - \psi'(e_i) = -\frac{p'(Q)\left(q + q^*\left(\frac{\partial R^*}{\partial q}\right)\right) + \gamma\beta\left(\frac{\partial R^*}{\partial q}\right)}{(\beta - e_i)\left(1 + \frac{1}{\varepsilon_{q(\beta-e_i)}}\right)}$$

À condition que $q + q^*(\partial R^*/\partial q) > 0$, nous avons bien $\gamma - \psi'(e_i) > 0$. Nous synthétisons les résultats de cette section dans la Proposition 3.

Proposition 3 *Dans une concurrence à la Cournot homogène sur le marché local, la taxe environnementale optimale du point de vue d'une institution supranationale est supérieure à celle du gouvernement local. Elle reste néanmoins inférieure à une taxe Pigouvienne.*

4 Concurrence à la Bertrand non différenciée

La littérature sur le commerce international stratégique a souligné les différences entre la concurrence à la Cournot et la concurrence à la Bertrand.[24] Or, la concurrence en prix est aussi pertinente que la concurrence en quantités. Dans le court terme, le prix étant la variable la plus flexible, on est amené à considérer une concurrence à la Bertrand, alors que dans le long terme, les firmes peuvent modifier leurs capacités et peuvent alors se concurrencer en quantités (voir Tirole (1988, Chapitre 4)). Nous envisageons donc une concurrence à la Bertrand homogène entre les deux firmes afin d'examiner si les résultats que nous avons obtenus avec une concurrence à la Cournot restent valides en changeant de forme de concurrence. Le cas de produits homogènes dans une concurrence à la Bertrand est analytiquement moins commode que le cas de produits différenciés. Selon Brander (1995), le cas de produits homogènes en concurrence à la Bertrand ne pose pas de problème de cohérence mais de discontinuité de la demande et du profit au prix d'équilibre, ce qui rend compliquée toute analyse à l'aide de dérivées. Nous contournons cette difficulté par l'introduction d'une incertitude sur l'issue de la concurrence.

Dans cette Section, le consommateur n'achète qu'une seule unité du bien. Son consentement à payer V pour cette unité est suffisamment élevé

[24] Voir la note 10.

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, la firme rivale ne vend rien et son profit est nul. Implicitement, le coût marginal δ de production de F est inférieur au coût marginal δ^* de F^*. Avec une probabilité ν, nous avons $\delta^* < \delta+\tau(\beta-e)+\psi(e)$ et F^* gagne le marché. Avec une probabilité $1-\nu$, $\delta^* \geqslant \delta+\tau(\beta-e)+\psi(e)$ et F gagne le marché. Les émissions polluantes proviennent soit de F soit de F^* selon l'issue de la concurrence.

Les expressions des profits et du bien-être au Nord peuvent être obtenues par un raisonnement ex post, conditionnellement à l'issue de la concurrence en prix :

- Lorsque $\delta^* < \delta + \tau(\beta - e) + \psi(e)$, F^* remporte le marché et vend à un prix p^* égal à $\delta + \tau(\beta - e) + \psi(e)$. Le surplus du consommateur est $V - (\delta + \tau(\beta - e) + \psi(e))$, le profit de F est nul. La pollution provenant de F^*, la nuisance est égale à $-\gamma\beta$. Le bien-être au Nord est donc égal à $V - (\delta + \tau(\beta - e) + \psi(e)) - \gamma\beta$.
- Lorsque $\delta^* \geqslant \delta + \tau(\beta - e) + \psi(e)$, F remporte le marché et vend à un prix p égal à δ^*. La taxe $\tau(\beta - e)$ est payée par F, par conséquent, le surplus du consommateur est $V - \delta^* + \tau(\beta - e)$. Le profit de F est $\delta^* - (\delta + \tau(\beta - e) + \psi(e))$. La pollution provenant de F, la nuisance est égale à $-\gamma(\beta - e)$. Le bien-être au Nord est donc égal à $V - \delta - \gamma(\beta - e) - \psi(e)$.

L'espérance de bien-être au Nord est égale à

$$W = \nu (V - (\delta + \tau(\beta - e) + \psi(e)) - \gamma\beta) + (1 - \nu)(V - \delta - \gamma(\beta - e) - \psi(e))$$

4.1 Profit de F et choix technologique

Le profit de F est nul lorsque F perd le marché. Lorsque F gagne le marché, nous avons

$$\pi(\tau, e) = \delta^* - (\delta + \tau(\beta - e) + \psi(e))$$

F choisit son effort e de manière à rendre maximum son profit $\pi(\tau, e)$. La *c.p.o.* de ce programme est alors

$$\psi'(e) = \tau$$

La règle de détermination par la firme de son niveau d'effort est donc strictement la même que celle obtenue dans une concurrence à la Cournot. Nous retrouvons donc le Lemme 1. De ce fait, le régulateur peut optimiser directement par rapport au niveau d'effort.

Nous décrivons l'effet de la taxe environnementale sur le bien-être social une fois prise en compte la manière dont la firme fait son choix technologique. Lorsque F^* remporte le marché, le prix p^* est égal à $\delta + \psi'(e)(\beta - e) + \psi(e)$. En reprenant la notation $\phi(e) = \psi(e) + \psi'(e)(\beta - e)$, nous avons $p^*_e = \phi'(e) > 0$. Le prix pratiqué par la firme étrangère augmente donc avec le niveau de la taxe environnementale appliquée aux émissions nationales. Le seul effet de la taxe sur le bien-être social au Nord passe par une réduction du surplus du consommateur dans le cas où la firme du Sud sert le marché. Lorsque $\delta^* \geqslant \delta + \tau(\beta - e) + \psi(e)$, F remporte le marché et vend à un prix p égal à δ^*. Ce prix ne varie pas avec le niveau de la taxe environnementale. L'effet de la taxe environnementale au Nord sur le bien-être social au Nord passe par une réduction du profit de la firme du Nord et une réduction de l'effet de nuisance.

4.2 Choix de la taxe par le gouvernement du Nord

Dans sa détermination de la politique optimale, le gouvernement du Nord intègre la manière dont F fait son choix technologique à l'étape 2. La fonction objectif du gouvernement du Nord devient donc

$$W_g(e) = V - \delta - \psi(e) - \gamma\beta - \nu\psi'(e)(\beta - e) + (1 - \nu)\gamma e,$$

et ne dépend donc plus que du niveau d'effort e. Le gouvernement du Nord cherche donc le niveau d'effort e_g qui rend maximum la fonction de bien-être social $W_g(e)$. La condition de premier ordre de ce programme de maximisation est alors

$$(cpo/e) \Leftrightarrow \psi'(e_g) = \gamma - \frac{\nu}{1-\nu}(\beta - e_g)\psi''(e_g) \tag{10}$$

Nous voyons dans (10) que la taxe optimale donnée par $\psi'(e_g)$ est inférieure au dommage marginal donné par γ. L'effet d'un durcissement de la concurrence par un passage à une concurrence en prix est donc clair : la taxe optimale est inférieure à une taxe Pigouvienne du fait de la possibilité pour la firme nationale de perdre le marché. En effet, la taxe optimale est décroissante par rapport à la probabilité ν que F perde le marché. Si la firme nationale était assurée de gagner le marché, nous aurions $\nu = 0$ et $\psi'(e_g) = \gamma$. La taxe optimale serait alors égale à la taxe Pigouvienne.

Proposition 4 *Dans une concurrence à la Bertrand non différenciée sur le marché local, la taxe environnementale optimale du point de vue du gouvernement local est strictement inférieure à la taxe Pigouvienne. La taxe optimale est d'autant plus faible que la probabilité pour la firme locale de perdre le marché est importante.*

5 Concurrence à la Bertrand différenciée

Nous complétons l'analyse en considérant maintenant une concurrence à la Bertrand dans laquelle les deux firmes offrent des produits légèrement différenciés. Soit p le prix du bien offert par F en quantité q, et p^* le prix du bien offert F^* en quantité q^*. Reprenant un cadre proposé par Bouët (1999), nous spécifions les fonctions de demande suivantes, avec $0 < b < 1$ et $a > 0$:

$$q(p,p^*) = a - p + bp^*,$$
$$q^*(p,p^*) = a - p^* + bp$$

Avec l'hypothèse $b \in]0,1[$, les biens offerts par les deux firmes sont des substituts imparfaits. Le cas de biens complémentaires est néanmoins concevable en faisant l'hypothèse que $b \in]-1,0[$, et nous reportons cette analyse dans les notes de bas de page.

5.1 Choix de production et choix technologique

La fime F cherche à déterminer le prix p rendant maximum son profit, lequel est égal à $\pi(p,p^*) = (p - (\delta + \tau(\beta - e) + \psi(e)))\, q(p,p^*)$. La *c.p.o.* de maximisation de ce programme est alors :

$$q(p,p^*) + (p - (\delta + \tau(\beta - e) + \psi(e)))\frac{\partial q(p,p^*)}{\partial p} = 0 \qquad (11)$$

La firme F^* cherche le prix p^* qui rend maximum son profit qui s'écrit $\pi^*(p,p^*) = (p^* - \delta^*)\, q^*(p,p^*)$. La *c.p.o.* de ce programme est alors : [25]

$$q^*(p,p^*) + (p^* - \delta^*)\frac{\partial q^*(p,p^*)}{\partial p^*} = 0 \qquad (12)$$

Notons que $\pi_{pp^*} = \pi^*_{p^*p} = b$.[26] L'exposant B (pour Bertrand) indiquant les valeurs à l'équilibre de Nash, les quantités et profits à l'équilibre sont alors[27] :

$$q^B = \tfrac{(2+b)a+(b^2-2)(\delta+\tau(\beta-e)+\psi(e))+b\delta^*}{4-b^2} \quad et \quad \pi^B = \left(q^B\right)^2,$$
$$q^{*B} = \tfrac{(2+b)a+b(\delta+\tau(\beta-e)+\psi(e))+(b^2-2)\delta^*}{4-b^2} \quad et \quad \pi^{*B} = \left(q^{*B}\right)^2,$$
$$Q^B = \tfrac{2a+(b-1)(\delta+\tau(\beta-e)+\psi(e))+(b-1)\delta^*}{2-b}$$

Nous avons $q^B_\tau < 0$, $q^{*B}_\tau > 0$ et $Q^B_\tau < 0$. Par conséquent, pour des biens substituts, une taxe au Nord réduit le profit de la firme du Nord et le

25 Les conditions de second ordre sont vérifiées puisque $\pi_{pp} = \pi^*_{p^*p^*} = -2$.

26 Lorsque $b > 0$, les variables de choix p et p^* sont des compléments stratégiques au lieu de substituts stratégiques comme dans une concurrence à la Cournot (voir Tirole (1988, Chapitre 8) ou Bulow et alii (1985)). Lorsque $b > 0$, le prix de chaque firme décroît avec sa production aussi bien qu'avec la production de sa concurrente. Lorsque la taxe augmente, la fonction de réaction de F se déplace vers la droite.

27 Les prix à l'équilibre sont $p^B = \left((2+b)a + 2(\delta + \tau(\beta - e) + \psi(e)) + b\delta^*\right) / \left(4 - b^2\right)$, et $p^{*B} = \left((2+b)a + b(\delta + \tau(\beta - e) + \psi(e)) + 2\delta^*\right) / \left(4 - b^2\right)$.

surplus du consommateur, et augmente le profit de la firme du Sud. Lorsque les biens sont substituts, les variations des quantités produites à l'équilibre de Nash en réaction à une augmentation de la taxe environnementale au Nord sont qualitativement les mêmes dans une concurrence à la Bertrand ou dans une concurrence à la Cournot.[28]

La firme F choisit le niveau d'effort e qui rend maximum son profit. Il y a ici aussi dichotomie entre le problème d'incitation et celui de la concurrence. La *c.p.o.* suivante nous donne alors la règle de détermination par la firme de son niveau d'effort : [29]

$$\pi_e^B = 0 \Leftrightarrow \psi'(e^B) = \tau \Leftrightarrow e^B = \psi'^{-1}(\tau)$$

Cette règle de détermination du niveau d'effort est donc strictement la même que celle obtenue dans une concurrence à la Cournot ou dans une concurrence à la Bertrand homogène. Nous retrouvons donc le Lemme 1 et, le gouvernement peut optimiser directement par rapport au niveau de l'effort.

Lorsque le niveau d'effort varie et toujours en notant $\phi(e) = \psi(e) + \psi'(e)(\beta - e)$, les variations des quantités produites à l'équilibre deviennent : $q_e^B = \frac{(b^2-2)\phi'(e^B)}{4-b^2} < 0$, $q_e^{*B} = \frac{b\phi'(e^B)}{4-b^2}$, et $Q_e^B = \frac{(b^2+b-2)\phi'(e^B)}{4-b^2} < 0$. La taxe τ augmente l'effort de recherche d'une technologie propre et donc le coût marginal de production pour F. Elle réduit la production et le profit de F, et réduit la production globale et le surplus du consommateur. Lorsque $0 < b < 1$, la taxe τ augmente la production et le profit de F^*. Par ailleurs, la taxe a pour effet d'augmenter les prix. Le prix p^B augmente davantage avec le niveau de la taxe que le prix p^{*B} puisque $p_e^B = \frac{2\phi'(e^B)}{4-b^2}$ et $p_e^{*B} = \frac{b\phi'(e^B)}{4-b^2}$.

Nous rappelons que $E = (\beta - e)q + \beta q^*$, d'où $E_e = \beta Q_e - q(1 - \varepsilon_{qe})$, où ε_{qe} est l'élasticité de la quantité produite par F par rapport à son niveau d'effort. L'expression de E_e étant strictement la même que dans une concurrence à la Cournot, nous renvoyons à la Section 3.1 pour l'interprétation de ses composantes et pour l'analyse de son signe. Lorsque les biens sont substituts, une condition suffisante pour $E_e < 0$ est que $0 < \varepsilon_{qe} < 1$. Pour $\psi(e) = e^2/2$, nous obtenons $\varepsilon_{qe} = -e(b^2 - 2)(\beta - e)/\left(q(4 - b^2)\right)$, où q est la production à l'équilibre de Nash. Nous montrons que $\varepsilon_{qe} < 1$ si $a(2 + b) + b\delta^* + (b^2 - 2)\delta > (b^2 - 2)\frac{\beta^2}{4}$.[30] Par conséquent, pour une taille de marché a suffisamment grande, les émissions globales sont strictement décroissantes avec le niveau d'effort et donc de la taxe.[31]

28 Que les biens soient complémentaires ou substituts, nous avons $q_\tau^B < 0$ et $Q_\tau^B < 0$. La variation de la production au Sud en réponse à une variation de la taxe environnementale au Nord dépend du signe du paramètre b. Ainsi, lorsque les biens sont complémentaires, la production au Sud et donc le profit de la firme du Sud diminuent avec la taxe environnementale au Nord.

29 La condition de second ordre est vérifiée puisque $\pi_{ee}^B = \frac{(b^2-2)\psi''(e)}{4-b^2} q^B < 0$.

30 Nous reportons la démonstration en Annexe B.2. Pour des fonctions de ***désutilité*** plus convexes, ce résultat s'obtient pour une taille de marché encore plus grande.

31 Puisqu'une taxe environnementale au Nord réduit à la fois la production de la firme du Nord et celle de la firme du Sud lorsque les biens sont complémentaires, les émissions globales sont forcément réduites, même en l'absence d'une amélioration technologique au Nord.

5.2 Choix de la taxe par le régulateur

5.2.1 Le gouvernement du Nord

Il cherche le niveau d'effort e_g qui rend maximum la fonction de bien-être social $W_g(e) = \pi(e) + S(e) + R(e) - N(e)$. Son programme s'écrit :

$$\begin{aligned}\max_e W_g(e) = &\left(p(e) - \left(\delta + \psi(e) + \psi'(e)(\beta - e)\right)\right) q\left(p(e), p^*(e)\right)\\ &+ S\left(p(e), p^*(e)\right) - p(e) q\left(p(e), p^*(e)\right) - p^*(e) q^*\left(p(e), p^*(e)\right)\\ &+ \psi'(e)(\beta - e) q\left(p(e), p^*(e)\right)\\ &- \gamma\left((\beta - e) q\left(p(e), p^*(e)\right) + \beta q^*\left(p(e), p^*(e)\right)\right)\end{aligned}$$

Après simplification, la fonction objectif devient

$$-\left(\delta + \psi(e) + \gamma(\beta - e)\right) q\left(p(e), p^*(e)\right) + S\left(p(e), p^*(e)\right) - \left(p^*(e) + \gamma\beta\right) q^*\left(p(e), p^*(e)\right)$$

En utilisant (11) et en isolant le terme $\gamma - \psi'(e_g)$, nous réécrivons la *c.p.o.* de ce programme :

$$\begin{aligned}\gamma - \psi'(e_g) = &\frac{1}{q - (\beta - e)\left(\frac{\partial q}{\partial p}\right) p_e} \left\{\left(2q + p\left(\frac{\partial q}{\partial p}\right) + (p^* + \gamma\beta)\left(\frac{\partial q^*}{\partial p}\right)\right) p_e\right. \quad (13)\\ &\left.+ \left(2q^* + (p^* + \gamma\beta)\left(\frac{\partial q^*}{\partial p^*}\right) + \left(\delta + \psi(e) + \gamma(\beta - e)\right)\left(\frac{\partial q}{\partial p^*}\right)\right) p_e^*\right\}\end{aligned}$$

Interprétation :

1. Le terme de gauche de (13) a la même interprétation que dans (7) et (9). Il mesure donc à la fois le bénéfice social marginal net d'une augmentation de l'effort de recherche de technologie propre et l'écart entre la taxe Pigouvienne γ et la taxe optimale $\tau_g = \psi'(e_g)$ du gouvernement du Nord.
2. Le terme $q - (\beta - e)(\partial q/\partial p)p_e$ mesure la baisse des émissions du Nord du fait d'une technologie plus propre à production constante (terme q), et du fait d'une baisse de production au Nord consécutive à une augmentation du prix, et ce, à technologie donnée (terme $-(\beta - e)(\partial q/\partial p)p_e$). Plus ce terme est important, plus les émissions de F baissent avec l'effort de recherche, et plus la taxe optimale se rapproche de la taxe Pigouvienne.
3. L'analyse des termes du numérateur est plus complexe que dans le cas de concurrence en quantités car l'augmentation du prix p (ou du prix p^*) a des effets opposés sur les productions au Nord et au Sud. Notons d'abord que tous les termes positifs (négatifs) ont pour effet d'augmenter (de réduire) l'écart entre $\psi'(e_g)$ et γ, et ont donc pour effet de réduire (d'augmenter) la taxe optimale. Une augmentation de la taxe environnementale ayant pour effet d'augmenter le niveau d'effort e conduit à :
   (a) Une augmentation du prix p (premier terme, facteur de p_e), qui réduit la production et le profit de F ainsi que le surplus du consommateur.

Ces effets négatifs sur le bien-être social réduisent le niveau de la taxe optimale.

(b) Une augmentation du prix p^* (deuxième terme, facteur de p_e^*). L'amélioration des termes de l'échange pour F^* réduit le bien-être au Nord, ce qui le conduit à réduire le niveau de la taxe optimale. La réduction conséquente de la production q^* a un effet négatif sur le bien-être social via le surplus du consommateur et un effet positif via l'effet de nuisance.

L'expression obtenue de $\gamma - \psi'(e_g)$ ne nous permet donc pas d'en connaître le signe puisque nous trouvons des termes de signes opposés au numérateur. Notons cependant que, si les termes négatifs $(\partial q/\partial p)$ et $(\partial q^*/\partial p^*)$ sont faibles en valeur absolue, alors le numérateur est positif et $\gamma - \psi'(e_g) > 0$. Pour une sensibilité *faible* des demandes adressées aux firmes, la taxe optimale est inférieure à la taxe Pigouvienne. En notant ε_{qp} et $\varepsilon_{q^*p^*}$ les élasticités des demandes par rapport aux prix, nous réécrivons cette expression :

$$\gamma - \psi'(e_g) = \frac{1}{q-(\beta-e)(\frac{\partial q}{\partial p})p_e}\left\{\left(2-\varepsilon_{qp}+\left(\frac{p^*+\gamma\beta}{q}\right)\left(\frac{\partial q^*}{\partial p}\right)\right)qp_e \right.$$
$$\left. +\left(\left(2-\varepsilon_{q^*p^*}\left(1+\frac{\gamma\beta}{p^*}\right)\right)q^*+(\delta+\psi(e)+\gamma(\beta-e))\left(\frac{\partial q}{\partial p^*}\right)\right)p_e^*\right\}$$

Nous avons alors deux conditions suffisantes $\varepsilon_{qp} < 2$ et $\varepsilon_{q^*p^*}(1+\gamma\beta/p^*) < 2$ pour que γ soit supérieur à $\psi'(e_g)$.

<u>Conclusion</u> : dans une concurrence à la Bertrand sur le marché national avec biens substituts, sous certaines conditions fixant des bornes supérieures aux élasticités-prix de la demande, la taxe optimale du point de vue du gouvernement local est inférieure à une taxe Pigouvienne.[32]

5.2.2 L'institution supranationale

Elle cherche le niveau d'effort e_i qui rend maximum la fonction de bien-être social $W_i(e) = \pi(e) + \pi^*(e) + S(e) + R(e) - N(e)$, qui devient, après simplification :

$$-(\delta+\psi(e)+\gamma(\beta-e))\,q\,(p(e),p^*(e)) + S\,(p(e),p^*(e)) - (\delta^*+\gamma\beta)\,q^*\,(p(e),p^*(e))$$

En utilisant (11) et en isolant le terme $\gamma - \psi'(e_i)$, nous réécrivons la *c.p.o.* de ce programme :

$$\gamma - \psi'(e_i) = \frac{1}{q-(\beta-e_i)\left(\frac{\partial q}{\partial p}\right)p_e}\left\{\left(2q+p\left(\frac{\partial q}{\partial p}\right)+(\delta^*+\gamma\beta)\left(\frac{\partial q^*}{\partial p}\right)\right)p_e \right.$$
$$\left. +\left(q^*+(\delta^*+\gamma\beta)\left(\frac{\partial q^*}{\partial p^*}\right)+(\delta+\psi(e_i)+\gamma(\beta-e_i))\left(\frac{\partial q}{\partial p^*}\right)\right)p_e^*\right\}$$

32 Lorsque les biens sont complémentaires, aucune conclusion quant au signe de $\gamma - \psi'(e_g)$ ne peut être tirée du fait de variations en sens contraire du prix national et du prix étranger par rapport aux quantités produites, et ceci dans tous les cas possibles concernant les élasticités-prix de la demande.

Nous retrouvons deux conditions suffisantes $\varepsilon_{qp} < 2$ et $\varepsilon_{q^*p^*} < \frac{p^*}{\delta^*+\gamma\beta}$ pour que $\gamma > \psi'(e_i)$. Pour des élasticités-prix de la demande modérées, la taxe optimale est inférieure au dommage marginal.

Conclusion : dans une concurrence à la Bertrand différenciée sur le marché local et pour des élasticités-prix modérées, la taxe optimale du point de vue de l'institution supranationale est inférieure à une taxe Pigouvienne.

Remarquons que les expressions des écarts $\gamma - \psi'(e_g)$ et $\gamma - \psi'(e_i)$ sont presque identiques, car la seule différence dans la détermination du niveau d'effort optimal pour le gouvernement local ou l'institution supranationale est l'intégration du profit π^* dans la fonction objectif de l'institution. Dans la forme simplifiée du bien-être social, q^* n'entre que via les coûts (le coût de production et l'effet de nuisance). Le poids accordé à q^* est $p^* + \gamma\beta$ pour le gouvernement local et $\delta^* + \gamma\beta$ pour l'institution supranationale. En conséquence, puisque $\delta^* < p^*$, l'institution accorde relativement moins d'importance aux effets négatifs de la production au Sud. Le résultat est que $\psi'(e_i) > \psi'(e_g)$. L'institution supranationale fixe un niveau de taxe supérieur et plus proche du niveau d'une taxe Pigouvienne.

Nous résumons l'ensemble de ces résultats dans la Proposition 5.

Proposition 5 *Dans le cas d'une concurrence à la Bertrand différenciée sur le marché local, pour des élasticités-prix modérées, la taxe environnementale optimale du point de vue d'une institution supranationale est supérieure à celle du gouvernement local. Elle reste néanmoins inférieure à une taxe Pigouvienne.*

6 Conclusion

Nous avons étudié divers aspects d'une politique destinée à lutter contre une pollution globale. Dans un modèle à deux pays, cette politique prend la forme d'une taxe appliquée à toute émission polluante liée à l'activité productive locale. Nous avons montré l'intérêt d'une politique unilatérale puisqu'elle peut être suffisante pour réduire le niveau des émissions globales. Nous avons montré par ailleurs que la politique optimale menée dans un cadre de concurrence à la Cournot ne couvre pas le dommage marginal de la pollution. Des considérations stratégiques de la part du gouvernement affaiblissent la taxe optimale, laquelle serait plus élevée si elle était choisie par une institution supranationale. Pour tester la validité de ce résultat de *dumping écologique*, nous avons considéré dans un deuxième temps une concurrence par les prix. Nous avons montré qu'une concurrence à la Bertrand pour des produits homogènes conduit inévitablement à une politique environnementale laxiste. Néanmoins, le résultat de *dumping écologique* peut aussi être obtenu dans une concurrence à la Bertrand avec des substituts imparfaits, dès lors que les élasticités-prix de la demande ne sont pas trop élevées. Nous résumons nos principaux résultats dans le tableau ci-dessous.

	Cournot	Bertrand
Bien homogène	$\psi'(e_g) < \gamma$	$\psi'(e_g) < \gamma$ si incertitude
Biens différenciés		
- Substituts	- Pas de conclusion possible	- $\psi'(e_g) < \gamma$ si élasticités-prix de la demande faibles
- Complémentaires	- $\psi'(e_g) > \gamma$ si élasticités-prix de la demande fortes	- Pas de conclusion possible

L'observation des résultats permet de dire que la taxe environnementale optimale au Nord est d'autant plus faible que les biens sont substituables (pour éviter un report de production vers le Sud) et que les élasticités-prix de la demande sont faibles. Les résultats obtenus de politique environnementale optimale *laxiste* ne dépendent donc pas du type de concurrence adoptée, ce qui va à l'encontre de certains résultats obtenus dans la littérature.

Nous avons examiné un cas relativement simple où le coût pour la firme lié à la recherche de technologie propre ne dépend que de la quantité d'effort fournie e. Nous pouvons imaginer qu'il dépend aussi de l'état initial β de la technologie. Une fonction de ***désutilité*** $\psi(e, \beta)$ pose de nouveaux problèmes pour fixer le niveau optimal de la taxe si le régulateur ne peut vérifier ni e ni β, connus de la seule firme. Dans Hiriart (2002), nous déterminons la politique optimale dans le cadre d'information asymétrique avec du risque moral sur l'effort et de la sélection adverse sur le caractère polluant de la technologie.

Par ailleurs, un aspect qui ressort de l'analyse du *dumping écologique* est qu'il peut y avoir diverses raisons de maintenir un faible niveau de régulation environnementale. Ainsi, lorsque la pollution est liée à l'activité productive, l'existence de lobbies de producteurs plus influents que les lobbies de consommateurs peut conduire à une régulation insuffisante. Ceci peut se produire en économie fermée : il peut être difficile d'identifier ce qui ressort purement du *dumping écologique*. L'analyse de la politique optimale en présence de lobbies est une autre extension naturelle que nous réservons pour de futurs travaux.

7 Annexes

A.1. En différentiant les *c.p.o.* du programme des firmes à l'étape 2, nous avons :

$$\begin{pmatrix} \pi_{qq} & \pi_{qq^*} \\ \pi^*_{q^*q} & \pi^*_{q^*q^*} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \frac{dq}{d\tau} \\ \frac{dq^*}{d\tau} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -\pi_{q\tau} \\ -\pi^*_{q^*\tau} \end{pmatrix}$$

Par le déterminant de Cramer, $\frac{dq}{d\tau} = \frac{(\beta-e)\pi^*_{q^*q^*}}{\Delta} < 0$, $\frac{dq^*}{d\tau} = -\frac{(\beta-e)\pi^*_{q^*q}}{\Delta} > 0$, et $\frac{dQ}{d\tau} = \frac{(\beta-e)(\pi^*_{q^*q^*} - \pi^*_{q^*q})}{\Delta} < 0$, où $\Delta = \pi_{qq}\pi^*_{q^*q^*} - \pi_{qq^*}\pi^*_{q^*q}$, et $\Delta > 0$ du fait de (1) et (2).

A.2. Nous utilisons la même méthode qu'en **A.1** en intégrant la règle de décision $\tau = \psi'(e)$ pour l'effort. Or, $\pi_{qe} = -\phi'(e)$, et $\pi^*_{q^*e} = 0$, d'où $\frac{dq}{de} = \frac{\phi'(e)\pi^*_{q^*q^*}}{\Delta} < 0$, $\frac{dq^*}{de} = -\frac{\phi'(e)\pi^*_{q^*q}}{\Delta} > 0$, et $\frac{dQ}{de} = \frac{\phi'(e)(\pi^*_{q^*q^*} - \pi^*_{q^*q})}{\Delta} < 0$.

B.1. Pour $p(Q) = a - Q$ et $\psi(e) = e^2/2$, nous avons $\varepsilon_{qe} = \frac{2e(\beta-e)}{K-2e(\beta-e/2)}$, avec $K = a - 2\delta + \delta^*$. Or $e(\beta - e)$ est maximum en $e = \frac{\beta}{2}$, d'où $e(\beta - e) \leqslant \beta^2/4$, $\forall e \in [0, \beta]$. Ainsi $2e(\beta - e) \leqslant \beta^2/2$. De plus, $e(\beta - e/2)$ est maximum en $e = \beta$, d'où $e(\beta - e/2) \leqslant \beta^2/2$, $\forall e \in [0, \beta]$. Ainsi $K - 2e(\beta - e/2) \geqslant K - \beta^2$. D'où $\varepsilon_{qe} < 1$ si $K > (3/2)\beta^2$, et donc si a est suffisamment grand par rapport à β. Les exemples numériques montrent que pour toutes les valeurs des paramètres, ε_{qe} est en forme de U inversé avec un maximum toujours très inférieur à 1.

B.2. Pour $p(Q) = a - Q$ et $\psi(e) = e^2/2$, nous avons $\varepsilon_{qe} = -\frac{e(b^2-2)(\beta-e)}{K+(b^2-2)e(\beta-e/2)}$, avec $K = (2 + b)a + (b^2 - 2)\delta + b\delta^*$. Nous avons $e(\beta - e) \leqslant \beta^2/4$, $\forall e \in [0, \beta]$ d'où $-e(b^2 - 2)(\beta - e) \leqslant -(b^2 - 2)\beta^2/4$. De plus, $e(\beta - e/2) \leqslant \beta^2/2$, $\forall e \in [0, \beta]$, d'où $K + e(b^2 - 2)(\beta - e/2) \leqslant K + (b^2 - 2)\beta^2/2$. Une condition suffisante pour que $\varepsilon_{qe} < 1$ est donc $-\frac{(b^2-2)\beta^2/4}{K+(b^2-2)\beta^2/2} < 1$, soit $K > -(3/4)(b^2 - 2)\beta^2$. Ainsi, lorsque a est suffisamment grand par rapport à β, $\varepsilon_{qe} < 1$.

C. Soient $p(q, q^*) = a - q - bq^*$ et $p^*(q, q^*) = a - q^* - bq$. La taxe environnementale optimale du point de vue du gouvernement du Nord est donnée par l'expression suivante :

$$\begin{aligned}\left(\gamma - \psi'(e)\right)(q - (\beta - e)q_e) &= \left(2q\frac{\partial p}{\partial q} + 2q^*\frac{\partial p^*}{\partial q} + p\right)q_e + \left(q\frac{\partial p}{\partial q^*} + 2q^*\frac{\partial p^*}{\partial q^*} + p^* + \gamma\beta\right)q^*_e \\ &= \left(p(1 - 2\varepsilon_{pq}) + 2q^*\frac{\partial p^*}{\partial q}\right)q_e \\ &\quad + \left(p^*\left(1 - 2\varepsilon_{p^*q^*}\right) + q\frac{\partial p}{\partial q^*} + \gamma\beta\right)q^*_e\end{aligned}$$

Lorsque $0 < b < 1$, les firmes offrent des substituts imparfaits et nous avons $q_e < 0$, $q^*_e > 0$, $p_{q^*} < 0$ et $p^*_q < 0$. Il n'y a alors pas de conclusion possible sur le signe de $\gamma - \psi'(e_g)$. Lorsque $-1 < b < 0$, les firmes offrent des biens complémentaires et nous avons $q_e < 0$, $q^*_e < 0$, $p_{q^*} > 0$, $p^*_q > 0$. Ainsi, $\psi'(e_g) > \gamma$ à condition que $\varepsilon_{qp} > 2$ et $\varepsilon_{q^*p^*} > 2$. Dans le cas particulier de biens complémentaires, la taxe optimale du point de vue du gouvernement du Nord est supérieure à la taxe Pigouvienne si les élasticités-prix de la demande ε_{qp} et $\varepsilon_{q^*p^*}$ sont supérieures à 2.

D. Les formes des fonctions d'utilité conduisant aux expressions des fonctions de demande utilisées dans l'article sont les suivantes :

1. Dans le cas d'une concurrence homogène à la Cournot, les résultats sont obtenus avec une fonction de demande inverse $p = p(Q)$ non spécifiée, telle que $p'(Q) < 0$ et $p''(Q) \leqslant 0$. La fonction de demande inverse linéaire utilisée dans certaines remarques provient d'une fonction d'utilité quadratique du type $u(Q) = aQ - \frac{Q^2}{2}$, avec $a > 0$. La condition $u'(Q) = p$ donne alors la fonction de demande $p(Q) = a - Q$.
2. Dans le cas d'une concurrence à la Bertrand homogène, le consommateur achète une seule unité du bien à la firme offrant le prix le plus bas. La fonction d'utilité dont on dérive une telle fonction de demande est telle que

$$u(q) = \begin{cases} -\infty & \text{si } q < 1, \\ cte & \text{si } q \geqslant 1. \end{cases}$$

La fonction de demande est alors

$$q(p) = \begin{cases} 1 & \text{si } p < V, \\ 0 & \text{si } p \geqslant V, \end{cases}$$

où V est le consentement à payer.

3. Dans le cas d'une concurrence à la Bertrand différenciée, la fonction d'utilité du consommateur représentatif est donnée par

$$u(q, q^*) = \alpha q + \alpha^* q^* - \frac{1}{2}\left(\beta q^2 + 2\eta q q^* + \beta^* q^{*2}\right),$$

avec tous les paramètres positifs à l'exception de η qui peut être négatif, et $\beta\beta^* > \eta^2$. Ces hypothèses nous assurent que u est strictement concave. De plus, nous supposons que $\alpha\beta > \alpha^*\eta$ et $\alpha^*\beta^* > \alpha\eta$. Les biens sont substituts, indépendants ou complémentaires selon que $\eta > 0$(resp. $<, =$). Lorsque $\alpha = \alpha^*$ et $\beta = \beta^* = \eta$, les biens sont de parfaits substituts. Lorsque $\alpha = \alpha^*$, $\frac{\eta^2}{\beta\beta^*}$ exprime le degré de différenciation des biens, allant de 0 pour des biens indépendants jusqu'à 1 pour de parfaits substituts. Le système de demande inverse est donné par

$$p = \alpha - \beta q - \eta q^*,$$
$$p^* = \alpha^* - \beta^* q^* - \eta q,$$

pour $q \geqslant 0$, $q^* \geqslant 0$, $\alpha - \beta q - \eta q^* > 0$, $\alpha^* - \beta^* q^* - \eta q > 0$. Les fonctions de demande directes sont alors données par

$$q = a - bp + cp^*,$$
$$q^* = a^* - b^* p^* + cp,$$

pour $p \geqslant 0, p^* \geqslant 0, a - bp - cp^* > 0, a^* - b^* p^* - cp > 0$, avec $a = (\alpha\beta^* - \alpha^*\eta)/\Delta$, $b = \beta^*/\Delta$, $c = \eta/\Delta$, $\Delta = \beta\beta^* - \eta^2$, et de même pour a^* et b^*. Voir X.Vives (1999), Oligopoly Pricing, MIT Press, pages 145-146.

Bibliographie

Barrett S. (1994), "Strategic environmental policy and international trade", *Journal of Public Economics*, 54, pp.325-338.

Bouët A. (2001), "Tariffs, voluntary export restraints and research and development", *European Economic Review*, 45(2), pp.323-336, February.

Bouët A. (1999), « O.M.C. et accords de prix : quelques enseignements d'un modèle oligopolistique avec recherche et développement », *Globalisation et politiques économiques : les marges de manœuvre*, Bouët A. et J. Le Cacheux (éds), Economica, Paris.

Brander J.A. (1995), "Strategic trade policy", *Handbook of International Economics*, vol. III, Grossman G. and K. Rogoff (eds), Elsevier Science B.V., Chapter 27.

Brander J.A. and B.J. Spencer (1985), "Export subsidies and market share rivalry", *Journal of International Economics*, 18, pp.83-100.

Bulow J.I., J.D. Geanakoplos and P.D. Klemperer (1985), "Multimarket oligopoly : strategic substitutes and complements, *Journal of Political Economy*, 93, pp.488-511.

Cavendish W. and D. Anderson (1994), "Efficiency and substitution in pollution abatement, *Oxford Economic Papers*, 46, pp.774-799.

Conrad K. (1995), "Choosing emission taxes under international price competition", *Environmental Policy and Market Structure*, Carraro C., Katsoulacos Y. and A. Xepapadeas (eds), Kluwer Academic Publishers, pp.85-98.

Dixit A.K. (1984), "International trade policy for oligopolistic industries", *Economic Journal Conference Papers*, 94, pp.1-16.

Eaton J. and G.M. Grossman (1986), "Optimal trade and industrial policy under oligopoly", *Quaterly Journal of Economics*, 101, pp.383-406.

Helpman E. and P.R. Krugman (1992), *Trade policy and market structure*, MIT Press, Cambridge.

Hiriart Y. (2002), "Global pollution control : moral hazard and adverse selection in international trade context", miméo, Université de Toulouse.

Rauscher M. (1992), « Intégration économique internationale et environnement : le cas de l'Europe », dans *Commerce mondial et environnement*, Anderson K. et R. Blackhurst (éds), Economica, Paris.

Rauscher M. (1994), "On ecological dumping", *Oxford Economic Papers*, 46, pp.822-840.

Selten R. (1975), "Re-examination of the perfectness concept for equilibrium points in extensive games", *International Journal of Game Theory*, 4, pp.25-55.

Spencer B.J. and J.A. Brander (1983), "International R&D rivalry and industrial strategy", *Review of Economic Studies*, 50, pp.707-722.

Tirole J. (1988), *Theory of Industrial Organization*, MIT Press, Cambridge, Massachusetts.

Ulph A. (1994), "Environmental policy and international trade - A survey of recent economic analysis", *Nota di lavoro 53.94*, Fondazione Eni Enrico Mattei.

Ulph A. (1995), "Strategic environmental policy and international trade: the role of market conduct", *Environmental Policy and Market Structure*, Carraro C., Y. Katsoulacos and A. Xepapadeas (eds), Kluwer Academic Publishers, pp.99-130.

Ulph A. and D. Ulph (1995), "Trade, strategic innovation and strategic environmental policy - A general analysis", *Environmental Policy and Market Structure*, Carraro C., Katsoulacos Y. and A. Xepapadeas (eds), Kluwer Academic Publishers, pp.181-208.

Vives X. (1999), *Oligopoly Pricing*, MIT Press, Cambridge.