

UNIVERSITE DE FRANCHE-COMTE

UFR des sciences Juridiques, Economiques, Politiques et de Gestion

Ecole Doctorale Louis PASTEUR

POLITIQUE STRATEGIQUE ET ENVIRONNEMENT

Thèse pour obtenir le grade de Docteur ès Sciences Economiques
présentée et soutenue par

Julien BUEB

Date de soutenance : le 6 Décembre 2007

Directeur de Thèse :

Madame Florence Naegelen, Professeur à l'Université de Franche-Comté

Membres du Jury :

M. Christian Montet, Professeur à l'Université de la Polynésie Française et à l'Université de Montpellier I – rapporteur

M. Michel Mougeot, Professeur à l'Université de Franche-Comté

M. Lionel Ragot, Professeur à l'Université de Lille I – rapporteur

L'Université de Franche-Comté n'entend donner aucune approbation ni improbation aux opinions émises dans la thèse ; ces opinions doivent être considérées comme propres à leurs auteurs.

Cette thèse a bénéficié de la participation financière du Ministère de l'Éducation Nationale.

REMERCIEMENTS

Je tiens tout d'abord à remercier ma directrice de thèse, Florence Naegelen, pour m'avoir accompagné sur un sujet aussi riche, tant sur le plan théorique que du point de vue de ses applications concrètes en matière d'économie environnementale.

Je lui serai toujours reconnaissant de la qualité de son encadrement, de la pertinence de ses conseils, ainsi que du soutien et de la confiance qu'elle m'a accordé tout au long de ces années.

Je remercie très sincèrement Christian Montet et Lionel Ragot pour m'avoir fait l'honneur d'accepter de rapporter cette thèse. Leurs critiques me permettront sans aucun doute d'améliorer la qualité de mon travail. Mes remerciements s'adressent également à Michel Mougeot pour l'attention qu'il a bien voulu porter à cette thèse.

Je souhaite adresser un merci très particulier à Sonia Schwartz pour m'avoir fait l'honneur de collaborer à mon travail.

La réalisation de cette thèse a été rendue possible grâce à une allocation de recherche financée par le Ministère de l'Education Nationale. Par ailleurs, l'obtention d'un poste de vacataire à l'Université de Franche-Comté m'a permis d'acquérir une expérience solide dans l'enseignement des Sciences Economiques.

J'exprime aussi mes remerciements au CRESE qui m'a accordé toutes les facilités matérielles et financières nécessaires à l'élaboration de ma thèse, ainsi que le personnel administratif et technique de l'UFR SJEFG de Besançon qui m'a permis de réaliser ce travail dans les meilleures conditions.

Enfin, je remercie Estelle, mes parents, mes beaux-parents et mes amis qui m'ont donné la force de faire face aux difficultés liées à la rédaction d'une thèse.

Table des matières

I Synthèses de la littérature	20
1 Politique commerciale stratégique et subventions	23
1.1 Principes de politique commerciale stratégique	26
1.2 Premiers développements et premières critiques	35
1.2.1 Premiers développements	35
1.2.1.1 Le modèle de Brander et Spencer [1985] bilatéral	35
1.2.1.2 Politique commerciale internationale sur un mar- ché oligopolistique : Dixit [1984]	39
1.2.1.3 Politique commerciale et industrielle optimale en oligopole : Eaton et Grossman [1986]	40
1.2.2 Critiques des prémices de la politique commerciale stra- tégique	42
1.3 Les domaines explorés	45
1.3.1 Extensions du modèle de base avec concurrence à la Cournot	45
1.3.1.1 Ripostes et représailles : la concurrence entre gouvernements	45
1.3.1.2 Biens intermédiaires et facteurs de production	49
1.3.1.3 Usage de plusieurs instruments de politique commerciale	52
1.3.1.4 Le coût social des fonds publics	53
1.3.1.5 Firmes asymétriques	56
1.3.2 Subventions stratégiques et changements sectoriels	59

1.3.2.1	Concurrence à la Bertrand	59
1.3.2.2	Mode de concurrence endogène	60
1.3.2.3	Subventions à la recherche-développement	61
1.3.2.4	La différenciation des produits	64
1.3.3	Délégation du gouvernement	66
1.3.4	Synchronisation des politiques gouvernementales	67
1.3.4.1	Position dans le séquençage du jeu	68
1.3.4.2	La non-intervention comme choix stratégique	70
1.3.5	Asymétrie d'information	72
1.3.6	Jeux répétés	75
1.3.7	Analyses additionnelles	76
1.3.7.1	Actionnariat et politique commerciale stratégique	76
1.3.7.2	Subventions ciblées	78
1.3.7.3	Protection des importations comme encouragement aux exportations	80
1.3.7.4	Les enjeux du lobbying	81
2	Politique environnementale stratégique	84
2.1	Externalités environnementales et concurrence imparfaite : deux distorsions pour la politique commerciale stratégique	84
2.2	Politique commerciale stratégique et externalités	87
2.3	La politique environnementale stratégique	90
2.3.1	Définition	90
2.3.2	Politique environnementale stratégique et taxes	92
2.3.2.1	Les modèles de base	92
2.3.2.2	Coopération internationale	98
2.3.2.3	Recherche-développement et politique environnementale stratégique	100
2.3.2.4	Changement structurel	102

2.3.2.5	Multiplicité des instruments et régulation environnementale	103
2.3.2.6	Politique environnementale et ouverture des frontières	106
2.3.2.7	Localisation endogène	108
2.3.2.8	Asymétries	108
2.3.2.9	Autres développements	111
2.3.3	Politique environnementale stratégique et permis d'émission négociables	113

II Développements de la politique environnementale stratégique **119**

3	Influence des groupes de pression dans le choix d'une taxe environnementale	122
3.1	Description du modèle	126
3.2	Seul le gouvernement domestique intervient	129
3.3	Evaluation de la taxe stratégique optimale aux émissions	137
3.3.1	Le gouvernement a connaissance du lobbying de l'entreprise	138
3.3.2	Le gouvernement n'anticipe pas l'action des lobbies	143
3.4	Intervention étrangère	145
3.5	Politiques environnementales et coopération	148
3.6	Un Exemple d'une taxe environnementale stratégique en présence de groupes de pression	155
3.6.1	Politique environnementale unilatérale	156
3.6.2	Interventions bilatérales	159
3.6.3	Coopération	162
3.7	Appendices mathématiques du chapitre 3	169
3.7.1	Appendice A	169
3.7.2	Appendice B	175

3.7.3	Appendice C	180
4	Permis d'émission négociables politiques stratégiques	193
4.1	Description du modèle	197
4.2	Marché des permis d'émission négociables concurrentiel et politique environnementale domestique	200
4.2.1	Impact des permis d'émission négociables domestiques sur la production et les abattements	203
4.2.2	Equilibre sur le marché domestique des permis négociables	205
4.2.3	Effets sur le bien-être domestique	209
4.3	Politique environnementale bilatérale avec marché des PEN concurrentiel	216
4.4	Politiques environnementales bilatérales, coopération et marché de permis d'émission négociables concurrentiel	220
4.5	Politique environnementale et marché de permis d'émission non concurrentiel	227
4.5.1	Troisième étape	227
4.5.2	Deuxième étape	230
4.5.3	Première étape : Comportement des pouvoirs publics	232
4.5.4	Comparaison des situations	234
4.6	Exemple : permis d'émission négociables et politique stratégique	244
4.6.1	Politique environnementale unilatérale	244
4.6.2	Interventions bilatérales	246
4.6.3	Coopération	249
4.6.4	Marché des PEN non concurrentiels	250
4.7	Appendices mathématiques du chapitre 4	259
4.7.1	Appendice D	259
4.7.2	Appendice E	261
4.7.2.1	Appendice E1	261
4.7.2.2	Appendice E2	265
4.7.2.3	Appendice E3	267

4.7.3	Appendice F	267
4.7.4	Appendice G	277
4.7.5	Appendice H	282
4.7.5.1	Appendice H1	282
4.7.5.2	Appendice H2	286

Bibliographie		295
----------------------	--	------------

Introduction générale

Depuis quatre décennies, la protection de l'environnement est devenue une des préoccupations fondamentales des populations des pays développés. Tant par les drames écologiques – ce sont, par exemple, les marées noires provoquées par les transporteurs pétroliers comme l'Exxon Valdez en mars 1989 ou l'Erika en décembre 1999, les accidents dans des centrales nucléaires telle que l'explosion d'un réacteur à Tchernobyl en avril 1986 – que par les enjeux climatiques – comme le trou dans la couche d'ozone, conséquence de l'utilisation intempestive de gaz Chlorofluorocarbones (CFC) apparus en 1938 et les dérèglements climatiques – sans oublier les considérations sanitaires et phytosanitaires – les consommateurs ont été particulièrement sensibles à la crise de la vache folle à la fin des années 1990, à l'interdiction d'importation de bœuf élevés aux hormones de croissance dans l'Union Européenne, ou, plus proche de nous, à l'épidémie de grippe aviaire –, les citoyens des pays industrialisés demandent une protection accrue de l'environnement et des ressources naturelles. Aucun gouvernement ne devrait donc pouvoir ignorer les problèmes écologiques. Cependant, une étude récente¹ réalisée auprès de parlementaires français montre un décalage entre l'opinion publique et celle des représentants politiques. Ce sondage souligne « le fait que malgré l'augmentation des discours portant sur « le développement durable » ou sur « l'environnement », ces préoccupations restent très en retrait pour les parlementaires par rapport aux questions économiques notamment ». Suite à la dernière campagne électo-

¹Voir A. Goxe [2005], Les parlementaires et l'environnement, *Développement durable et Territoires*. Cet article est consultable sur le site Internet <http://developpementdurable.revues.org/document1007.html>.

rale française, le nouveau gouvernement s'est doté d'un ministère de l'Ecologie, du Développement et de l'Aménagement durables. Faut-il y voir une évolution des considérations environnementales de la part des hommes politiques ?

Décalage ne signifie par pour autant ignorance. Les politiciens ont tout d'abord mis en place des instruments de contrôle direct, à caractère juridique ou réglementaire : les normes et les standards². Désormais, ils recourent plus fréquemment à des instruments de nature économique qu'ils soient en prix ou en quantité. Les taxes environnementales et les marchés de permis d'émission négociables appartiennent à cette famille d'instruments (tarifaires) de régulation au même titre que les subventions. Les économistes de l'environnement se réjouissent de cette nouvelle orientation des autorités. Leurs travaux empiriques et théoriques montrent que l'usage des instruments économiques s'avère moins coûteux pour la collectivité.

Afin de réduire la pollution et les impacts environnementaux qui sont liés aux activités économiques et aux modes de consommation, l'utilisation de la fiscalité dans les politiques environnementales s'est fortement développée dans les pays de l'OCDE durant les années 90. Amorcée par les pays d'Europe du nord, la mise en œuvre de taxe environnementale s'est généralisée dans les pays industrialisés. En 1999, la France introduit la TGAP, Taxe Générale sur les Activités Polluantes. Cette taxe porte sur huit catégories d'activités polluantes dont l'émission dans l'atmosphère de substances polluantes³. En 2001, elle a rapporté à l'Etat français 492 millions d'euros⁴ ce qui semble peu,

²Il ne faut pas confondre norme et standard quand bien même ces termes sont souvent utilisés l'un pour l'autre. Une norme, de fait, est le plus souvent d'origine industrielle. Contrairement à une norme, un standard ne fait pas l'objet d'une publication qui en détaille le contenu. Par exemple, il existe le standard IBM PC et le standard Unix.

³Les sept autres activités concernées sont :

- le stockage et l'élimination des déchets ;
- le décollage d'aéronefs sur les aérodromes recevant du trafic public ;
- la production d'huile usagée ;
- les préparations pour lessives et les produits adoucissants et assouplissants pour le linge ;
- les matériaux d'extraction ;
- les produits antiparasitaires à usage agricole et les produits assimilés ;
- l'autorisation d'exploitation et l'exploitation des établissements industriels et commerciaux qui présentent des risques particuliers pour l'environnement.

⁴Source : http://www.ecologie.gouv.fr/article.php3?id_article=1379.

en comparaison des taxes imposées par la Suède ou la Suisse⁵.

Comme le suggère la théorie pigouvienne, les instruments économiques sont prescrits dans le but d'internaliser les coûts liés aux dommages environnementaux. En France, le domaine des transports constitue l'approche la plus probante de l'internalisation de la pollution par la mise en place d'une taxe. Celle-ci demeure imparfaite, car l'objectif environnemental des mesures fiscales environnementales reste la modification des comportements des entreprises et des ménages en augmentant les prix relatifs des ressources naturelles, des biens et des services à l'origine de pollutions.

La taxation française n'est pas un cas isolé. Dans d'autres pays européens, le niveau des taxes environnementales demeure relativement faible. L'argument principal avancé est la compétitivité des entreprises. Elles ne pourraient supporter un accroissement trop rapide d'une taxe environnementale. A l'image des cotisations sociales, une taxe jugée trop élevée, fixée à hauteur des dommages environnementaux, inciterait les firmes à délocaliser leur centre de production. Outre la perte commerciale, une délocalisation ne résout aucunement les problèmes environnementaux dès lors que la pollution est transfrontalière, c'est-à-dire d'échelle régionale ou mondiale. Il existe également d'autres obstacles liés à l'acceptabilité des taxes environnementales. Ces dernières ont généralement un caractère anti-redistributif (comme tout régime de taxation indirecte). De plus, elles sont souvent affectées au budget de l'Etat plutôt qu'à des fins de protection de l'environnement.

Malgré ces points négatifs, les taxes ont la particularité de cibler correctement les pollueurs, lesquels sont les plus qualifiés pour réduire leur pollution. Elles minimisent ainsi les coûts sociaux. Par ailleurs, les taxes incitent, entre autres avantages, au progrès technique et au développement de nouvelles technologies plus propres ainsi qu'à la diminution de l'asymétrie d'information

⁵Les taux français sont de 38,11 €/tonnes pour les SO_x, le HCl (chlorure d'hydrogène) et les COV (composés organiques volatils), de 45,73 €/tonnes pour les NO_x et de 57,17 €/tonnes pour le N₂O. Comparativement, les taxes suédoises sont de l'ordre de plusieurs milliers d'euros par tonne de SO₂ ou de NO_x, les taxes helvétiques de l'ordre de 1,4 k€/tonnes de COV. Il faut noter cependant que toutes ces taxes n'ont pas forcément les mêmes objectifs.

entre les autorités et les entreprises sur les coûts de dépollution.

Les permis d'émission négociables, autre instrument économique, ont eux aussi des atouts à faire valoir. Texte fondateur de la politique américaine en matière de pollution atmosphérique, le Clean Air Act adopté en 1970 prévoit, lors de sa révision en 1977, la mise en place de permis d'émission négociables. Par exemple, pour le SO₂ que les centrales électriques émettent, le CAAA (Clean Air Act Amendment) annonce un objectif de réduction de 50% des émissions en l'an 2000⁶, soit une diminution de neuf millions de tonnes, grâce à l'utilisation des droits à polluer. Au premier janvier 2005, dans le cadre du protocole de Kyoto, un système international de permis négociables a été mis en œuvre. Cet instrument a été suggéré par l'Union Européenne pour atteindre les objectifs de Kyoto⁷. L'instauration des permis d'émission négociables doit participer à un développement durable de l'économie en maintenant un stock de capital, la pollution, constant ou en régression. Elle doit permettre de répondre au besoin du présent sans compromettre la capacité des générations futures à répondre à leurs propres besoins. Ces marchés ont pour but de susciter des actions de prévention de la pollution et d'autres comportements responsables vis-à-vis de l'environnement de la part des pollueurs. Ils ont un caractère incitatif.

Le fait d'être négociables (dans le cas contraire, les permis seraient des quotas, instrument de commande et de contrôle) distribue de manière optimale les efforts de dépollution. Ainsi, une entreprise dont l'effort (ou le coût) de dépollution est faible, peut polluer moins que ses permis ne lui autorisent et vendre ses permis. A l'inverse, une firme dont les coûts de réduction d'émission sont élevés, peut vouloir les lui acheter. Une entreprise vend ses permis si leur prix est supérieur au coût marginal de réduction de ses émissions. Une firme

⁶ Année de référence : 1980.

⁷ Les états les plus riches, responsables des émissions les plus importantes, ont pris l'engagement de stabiliser en 2000 leurs émissions au niveau de 1990. De plus, les pays signataires dits « de l'annexe » (les pays développés ou en transition vers une économie de marché comme la Russie) ont accepté globalement de réduire de 5,5% leurs émissions de gaz à effet de serre sur la période 2008-2012 par rapport au niveau atteint en 1990. Parmi ces pays, le Japon a accepté une réduction de 6% et l'Union Européenne de 8%. A la suite de cet engagement, l'Union Européenne a estimé nécessaire de procéder à une répartition de la charge de cet objectif entre les quinze États membres. A l'horizon 2008-2012, la France devra donc stabiliser ses émissions de gaz à effet de serre à leur niveau de 1990.

les achète si le prix des permis est inférieur au coût marginal de réduction de ses émissions. En conséquence, la création de tels marchés aboutit à un partage efficace des coûts environnementaux. Elle encourage économiquement les firmes à changer leur comportement.

L'attribution des permis s'effectue, principalement, de deux manières. La première consiste en l'allocation gratuite de droits. Ce système est dénommé « grandfathering ». Les permis, qui couvrent une période donnée, sont distribués aux firmes émettrices de polluants selon l'historique des émissions. Elles peuvent, par la suite, les vendre ou en acheter sur le marché en fonction de leur besoin et de leur technologie de réduction de la pollution. La seconde règle d'attribution des permis est la vente aux enchères. Les entreprises, ou les pays, font des offres en prix et en quantités pour acquérir un certain nombre de permis. Les échanges sur le marché s'opèrent une fois les enchères réalisées. Ce type d'allocation peut générer un « double dividende » : d'une part, la mise en œuvre d'un marché de permis d'émission négociables permet l'intégration des effets externes environnementaux et, d'autre part, la vente des droits génère des ressources exploitables par les autorités. Ces revenus supplémentaires peuvent servir, par exemple, à la protection de l'environnement ou bien à l'allègement des charges fiscales sur le travail.

Les bénéfices mentionnés ci-dessus ont menés les pays signataires du Protocole de Kyoto à préférer les permis d'émission plutôt que les autres instruments afin de lutter contre les changements climatiques. Cependant, le degré de négociabilité des permis a ouvert de nombreuses discussions : l'Union Européenne souhaite que ses membres puissent négocier entre eux tandis que les Etats-Unis, avant leur retrait du Protocole en 2001, préféraient un mécanisme de négociation plus global. Ce dernier génère théoriquement de moindres coûts. De plus, les champs d'émission que couvrent les permis demeurent problématiques. Certaines sources d'émission de gaz à effet de serre comme les émanations du bétail ou les petites sources, sont difficiles à quantifier. Il est donc improbable de les inclure dans les permis, mais elles n'en restent pas moins un souci préoccupant. Ainsi, certaines sources devraient être visées par d'autres politiques.

Le fait que les pays en développement ne soient pas inclus dans le processus du Protocole de Kyoto pose un problème supplémentaire. Ces pays, de part leur retard dans le développement, ne sont pas contraints par des obligations d'émission. A terme, si leur croissance le leur permet, ils devront se plier aux exigences environnementales internationales. Toutefois, n'est-il pas préférable d'investir dans des structures de développement durable plutôt que d'attendre un stade donné de développement accompagné de ses conséquences néfastes pour l'environnement ?

Les décisions environnementales prises par les gouvernements ne sont pas sans conséquences sur les échanges internationaux. De fait, avec la prise de conscience grandissante des risques écologiques, l'environnement devient une question centrale pour l'Organisation Mondiale du Commerce (OMC). Les accords multilatéraux sur l'environnement – environ 200 accords internationaux pris en dehors du cadre de l'OMC traitant de diverses questions environnementales sont actuellement en vigueur, dont une vingtaine comportant des dispositions qui peuvent affecter les échanges – ont des conséquences commerciales qui peuvent entrer en conflit avec les principes fondamentaux de l'organisation. Par exemple, le Protocole de Montréal relatif aux substances qui appauvrissent la couche d'ozone indique que les pays signataires doivent éliminer progressivement l'utilisation des produits de type gaz CFC. La Convention de Bâle propose le contrôle des mouvements transfrontières de déchets dangereux et le suivi de leur élimination. La Convention sur le commerce international des espèces de faune et de flore sauvages menacées d'extinction (CITES), connue sous le nom de Convention de Washington, veille à ce que le commerce international des spécimens d'animaux et de plantes sauvages ne menace pas la survie des espèces auxquelles ils appartiennent. Par ailleurs, les échanges commerciaux ont des répercussions sur l'environnement, mais aussi sur la santé et sur le vivant dont les nations paraissent vouloir se protéger. Les Etats souhaitent se prémunir des risques éventuels, mais l'OMC n'accepte de telles mesures seulement si elles ne sont pas jugées protectionnistes. Principalement lorsque l'on

parle de principe de précaution, la frontière entre protection et protectionnisme est difficilement lisible.

Il n'existe pas, dans le cadre de l'OMC, d'accord portant spécifiquement sur l'environnement, mais plusieurs des Accords de l'OMC contiennent des dispositions portant sur des préoccupations environnementales. Le développement durable et la protection de l'environnement sont des objectifs inscrits dans le préambule de l'Accord instituant l'OMC. De plus, l'examen de l'effet des mesures environnementales sur l'accès au marché était inscrit à l'agenda du cycle de négociations ouvert à Doha.

L'importance croissante de la question environnementale a poussé l'OMC à s'y intéresser. Au départ, la question du protectionnisme – donc du libre-échange – était centrale. La plupart des aides directes, comme les subventions aux exportations, ont été prohibées lors de l'Uruguay Round, dernier cycle du GATT, General Accord on Tariff and Trade. Les gouvernements ont été invités à « laissez-faire » afin de ne pas déséquilibrer les échanges et d'influencer négativement le jeu de la concurrence.

Ce désengagement progressif des autorités de la vie économique imposées par les négociations multilatérales au sein de l'OMC soulève des craintes. Les difficultés récentes à trouver des accords dans les cycles de discussions en sont le révélateur. Aucun gouvernement ne souhaite ne plus avoir un contrôle total de sa politique économique. Ainsi, les pays développés, les pays en cours d'industrialisation ne pouvant opérer de la même manière faute de ressources financières, cherchent à contourner les textes internationaux en vigueur ou à se servir des lacunes des Accords afin de conserver le contrôle de leur économie et donc de donner un avantage à leurs entreprises. Les sociétés de ventes à l'étranger ou « Foreign Sales Corporation Programs » (FSC) sont un bon exemple d'un comportement frauduleux d'un Etat qui cherche à soutenir ses firmes de manière déguisée⁸.

⁸Au départ, les FSC ont été créées pour faciliter les exportations des producteurs américains en offrant une alternative de financement. L'Union Européenne qui a porté cette affaire devant l'Organe de Règlements des Différends de l'OMC, estime que, par le biais des FSC, les Etats-Unis accordent des subventions à l'exportation et des subventions au remplacement

Les Etats-Unis et l'Union Européenne sont régulièrement poursuivis pour cause de subventions illicites déguisées. Les aides découplées de la Politique Agricole Commune sont souvent désignées comme étant des subventions à la production ou à l'exportation. Lorsque tel n'est pas le cas, ces subsides accordés par les autorités de ces pays développés, sont coûteux. Seuls les pays les plus avancés peuvent se permettre d'octroyer ces aides ce qui crée des distorsions de prix, souvent de manière très subtile, sur le marché international.

L'affaire du bœuf aux hormones est plus délicate, car elle n'a pas qu'un caractère commercial. Bien que l'Union Européenne ait été condamnée par l'ORD à verser 116 millions de dollars aux Etats-Unis au titre de réparation des dommages subis, elle avait mis en avant le caractère éventuellement dangereux de cette viande sur la santé. Elle a fait appel au principe de précaution. Les enjeux sur les Organismes Génétiquement Modifiés (OGM) sont de même nature. Le moratoire décidé par l'Union Européenne en 1997 sur les OGM a-t-il été décidé pour protéger l'environnement et les consommateurs d'éventuels risques futurs ou bien a-t-il été mis en place pour venir en aide aux agriculteurs européens ?

Cette volonté d'intervenir sans cesse ne tarit pas. La multiplication des Accords environnementaux peut laisser présager des tentatives de récupérations des projets à des fins commerciales. Par exemple, des subventions préposées à la préservation du cadre environnemental peuvent servir des desseins productivistes. De même, une taxe environnementale décidée après des négociations multilatérales peut être diminuée dans un pays afin d'octroyer un avantage en termes de coûts par rapport aux parties contractantes de l'accord. Cependant, n'y a-t-il pas des inconvénients à adopter de tels comportements ? Une attitude déviante permet-elle toujours d'obtenir des gains ? Des pertes sont-elles

d'importations prohibées en violation des accords sur l'Agriculture. En février 2000, l'OMC confirme la condamnation formulée à l'encontre des Etats-Unis en septembre 1999 : l'ORD demande de mettre fin à ce système qui nuit au multilatéralisme. De plus, l'ORD condamne la pratique des FSC au niveau de l'agriculture puisque « ce système applique des subventions à l'exportation d'une manière qui entraîne, ou menace d'entraîner, un contournement de leurs obligations en matière de subventions à l'exportation ». Ce contentieux porte sur une somme considérable estimée entre 4 et 5 milliards de dollars par an. Les différends traités par l'ORD sont consultables sur le site <http://www.wto.org>.

à envisager ? Il devient alors important pour l'OMC, mais également pour la préservation de l'environnement, de contrôler les membres des organisations ou signataires des accords. La surveillance est-elle réaliste ? N'est-il pas préférable que des coopérations formelles et fidèles soient créées ?

Dans un monde imparfait, l'affectation des rentes commerciales et environnementales a des implications considérables pour l'efficacité économique des politiques. Les hommes politiques font face à des choix difficiles. Ils doivent mesurer l'ensemble des conséquences de leurs décisions, car les rentes suscitent des transferts élevés de ressources. Il est alors nécessaire d'envisager les choix publics en intégrant les coûts et les bénéfices de tout instrument de politiques commerciales et/ou environnementales.

La politique environnementale dans une situation de concurrence imparfaite et internationale a été développée dans les années 1990. Les études réalisées (Conrad [1993a], Ulph [1992], Kennedy [1994] ou Barrett [1994]) montrent que les pouvoirs publics sont toujours incités à utiliser une norme ou une taxe environnementale dans le but de soutenir les firmes nationales. La pratique d'un tel dumping écologique est condamnable tant du point de vue environnemental – les dommages environnementaux sont élevés – que du point de vue des accords commerciaux internationaux – une telle intervention des autorités fausse la concurrence. Toutefois, ces travaux ne sont consacrés qu'à l'usage de certains instruments de politique environnementale. De plus, ils ne couvrent pas largement les problèmes liés aux décisions politiques. Ils n'abordent pas, par exemple, les effets des groupes de pression sur les décisions du régulateur. Nous définirons donc la notion de dumping écologique afin de correctement cerner le problème. C'est pourquoi, en utilisant le bien-être comme dénominateur commun pour évaluer les choix des politiques environnementales, nous comparons, dans cette thèse, les effets de différents instruments de politique environnementale. Notre travail s'attache donc à approfondir les conséquences des politiques environnementales lorsque la concurrence est imparfaite. Cette thèse propose donc un apport original en étudiant formellement trois incidences : celle des groupes de pression sur le choix de la politique environne-

mentale, celle du nombre de pays concurrents intervenant sur les marchés des permis nationaux et celle de l'imperfection de la concurrence à la fois sur le marché des produits et sur le marché des permis. Ainsi, nous consacrons une première partie à la littérature sur l'analyse des politiques commerciales et environnementales en présence de concurrence imparfaite. Dans une seconde partie, nous proposons une discussion autour de travaux théoriques.

Le premier chapitre de la thèse est dédié à la littérature sur la politique commerciale stratégique. Une première section commente un article fondateur de la politique commerciale stratégique : les travaux de Brander et Spencer [1985]. Est entendu par « stratégique », toutes interactions gouvernementales en vue de profiter d'une imperfection sur le marché des produits à l'aide d'instruments tels que : les subventions aux exportations, les taxes environnementales ou les permis d'émission négociables. L'article de Brander et Spencer [1985], à la conjonction de deux domaines de l'économie, le commerce international et l'économie industrielle, a ouvert un large champ de publication. Son principe fondateur repose sur le fait que des subventions octroyées à une firme nationale peuvent donner un avantage, en termes de bien-être, à l'économie locale. Dans le cadre de la concurrence pure et parfaite, un tel phénomène n'aurait pu aboutir. Un déséquilibre du prix sur le marché aurait été la seule conséquence. Le gouvernement qui aurait mis en œuvre cette décision n'aurait pu en bénéficier. Dans le jeu de Brander et Spencer [1985], les gouvernements choisissent le niveau de subventions aux exportations destiné à une firme locale dans un premier temps. Puis, dans un second temps et compte tenu de la subvention accordée, les entreprises se livrent concurrence sur un marché international. Les auteurs montrent qu'un Etat a toujours intérêt à intervenir sur un marché afin de soutenir la firme nationale dès lors que la concurrence sur le marché des produits est imparfaite.

Cependant, des critiques ont rapidement été adressées à l'encontre de la thèse de Brander et Spencer [1985]. Nous les développons dans une seconde section. La robustesse de cette analyse en équilibre partiel ne résiste pas correctement à la modification de certaines hypothèses : la subvention se transforme

en taxe lorsque la concurrence s'exerce sous conjecture de Bertrand et elle perd de sa crédibilité quand le nombre d'entreprises, dans le pays souhaitant mettre en place une telle politique, augmente. De plus, si d'autres nations décident d'intervenir également sur le marché en soutenant leurs firmes, le bien-être des Etats diminue. Ces derniers ont tout intérêt à coopérer afin de corriger au mieux la distorsion due à l'imperfection de la concurrence.

Nous achevons ce chapitre par la présentation de différentes analyses qui approfondissent le modèle de base initial. Nous présentons, entre autres, Collie [2002] qui étudie la conséquence du coût social des fonds publics sur le montant de la subvention.

Puisque l'OMC interdit l'usage de nombreux types de subventions, les gouvernements cherchent désormais d'autres moyens d'intervention. L'environnement est une cible privilégiée. Il est ainsi tout à fait naturel que les économistes se soient intéressés aux instruments de politiques environnementales. A la suite de Brander et Spencer [1985], Conrad [1993a], Ulph [1992], Kennedy [1994] ou Barrett [1994], pour ne citer que ces principaux auteurs, se consacrent à l'étude de la politique environnementale lorsque seul un type d'instrument est utilisable par les autorités. En présence d'une taxe environnementale et d'une concurrence imparfaite sur le marché des produits, les auteurs montrent que les autorités ont intérêt à diminuer la contrainte environnementale afin de favoriser l'entreprise nationale. La compétitivité des firmes est un enjeu primordial pour les gouvernements : du point de vue du bien-être, il est économiquement souhaitable de subir davantage de dommages environnementaux pour diminuer les coûts des entreprises. Ce phénomène est appelé politique environnementale stratégique.

Dans le chapitre 2, nous exposons la littérature de la politique environnementale stratégique. Tout d'abord, la première section pose le problème : lorsque la concurrence est imparfaite sur le marché des biens et qu'il existe de la pollution, il est difficile pour les pouvoirs publics de faire face à ces deux distorsions. Une seconde section est consacrée à l'analyse d'une situation avec externalité (Bouët [1992]). Ensuite, nous définissons, en quoi consiste la poli-

tique environnementale stratégique. Nous montrons que la notion de dumping écologique y est complètement liée. Pour finir, nous discutons des recherches réalisées sur la politique environnementale stratégique.

La seconde partie explore deux domaines particuliers de la politique environnementale stratégique. A partir du modèle de Moore et Suranovic [1993], le chapitre 3 étudie les impacts des groupes de pression dans le choix de la politique environnementale des pouvoirs publics. Une taxe environnementale est un coût supplémentaire pour les firmes. Elles doivent payer pour les émissions polluantes qu'elles ne peuvent abattre et investir dans des technologies moins nocives pour l'environnement. Les lobbies servent à réduire le montant de la taxe. Nous montrons les effets négatifs, pour l'économie, des groupes de pression : ils tendent à fausser le jugement des gouvernements. La taxe sert à corriger trois distorsions et devient donc moins efficace. Il est important que les nations puissent anticiper l'action en lobbying des entreprises. Nous analysons également l'importance de la prise en compte de l'action des autorités étrangères. Il est nécessaire que les pays coopèrent afin de limiter les effets distorsifs des groupes de pression et de la concurrence imparfaite.

Le chapitre 4 analyse l'utilisation des permis d'émission négociables, ceux-ci pouvant faire l'objet de considérations stratégiques. Un marché de permis permet de minimiser le coût global de la réglementation environnementale : il conduit les entreprises à choisir le niveau de réduction des émissions de façon décentralisée. Les réductions choisies satisfont le critère d'efficacité par les coûts. De plus, la répartition des permis après échanges entre les entreprises est obtenue quelle que soit l'allocation initiale des permis. Les pouvoirs publics peuvent ainsi distribuer les permis selon leurs objectifs (c'est-à-dire obtenir ou non un revenu) ou selon leur sens de l'équité sans modifier ce résultat d'efficacité.

Les différentes études⁹ ont, à chaque fois, considéré le plafond de pollution comme une donnée. L'intervention des pouvoirs publics n'est donc jamais considérée dans ces analyses. Néanmoins, dans la lignée des travaux sur la po-

⁹Voir, par exemple Sartzetakis [1994, 1997].

litique commerciale stratégique, les gouvernements peuvent aussi exercer un comportement stratégique lorsque les entreprises nationales sont soumises à une concurrence internationale sur le marché des biens. Dans ce chapitre, nous remédions à ces faiblesses de la littérature.

Après avoir dans une première section décrit le modèle, nous établissons, dans une seconde section, un cadre de référence en utilisant un modèle inspiré de Brander et Spencer [1985] et de Pralong [2005]. Dans un modèle de concurrence à la Cournot, nous étudions ainsi le comportement d'entreprises qui appartiennent à des pays différents, mais qui interviennent conjointement sur des marchés internationaux de biens. Lorsqu'un pays décide de mettre en place un marché de permis d'émission, nous montrons qu'il adopte un comportement stratégique. Ce pays utilise la situation de concurrence imparfaite sur le marché des produits dans le but de soutenir ses firmes. Il fait du dumping écologique. Nous comparons ces résultats à ceux obtenus dans les sections 3 – deux pays concurrents implémentent un marché de PEN – et 4 – les pays coopèrent au niveau international. Nous montrons dans les sections 3 et 4 que de nouveaux termes apparaissent dans le calcul du plafond de pollution optimal. Lorsque l'instrument de politique environnementale est une taxe, ces effets n'existent pas. Par exemple, un effet de « détournement de pollution » apparaît. Il est différent de celui mis en évidence par Kennedy [1994].

L'efficacité du marché des permis est toutefois remise en cause lorsqu'il existe des imperfections sur ce marché ou un pouvoir de marché. Ainsi, la cinquième section de ce chapitre est consacrée à l'existence d'une entreprise dominante sur le marché des permis. Nous cherchons à connaître les avantages qu'une telle firme peut obtenir de ce marché. En s'appuyant sur Sartzetakis [1994], nous montrons que l'entreprise dominante sur le marché des permis utilise ce dernier pour obtenir un avantage sur le marché du bien, alors que les entreprises concurrentes n'appartiennent pas à ce marché. Ce résultat élargit donc les possibilités de comportements stratégiques des entreprises sur le marché des permis en levant une condition jusqu'ici jugée nécessaire par toutes les analyses : les entreprises appartiennent au même marché de bien et de permis.

Par ailleurs, nous mettons en évidence que les autorités exercent un comportement stratégique en utilisant deux instruments : le plafond de pollution et la dotation initiale accordée à l'entreprise dominante. Nous montrons que les pouvoirs publics délèguent une partie de leur pouvoir stratégique à l'entreprise dominante. Ce résultat est contraire aux analyses des politiques commerciales et environnementales stratégiques : les pouvoirs publics agissent seuls pour octroyer un avantage à leur pays. Au final, le bien-être du pays domestique est plus élevé lorsque le marché des permis est soumis à une position dominante que lorsqu'il est concurrentiel. Toutefois, nous notons que l'ensemble de ces stratégies n'est pas favorable à l'environnement, puisque, au final, le plafond de pollution est légèrement plus élevé qu'à l'équilibre concurrentiel. Néanmoins, il s'avère que ces stratégies peuvent conduire à un niveau global de pollution qui se rapproche de celui correspondant à l'optimum de premier rang.

Nos résultats paraissent d'autant plus importants que la mise en œuvre du marché européen des droits d'émission de gaz à effet de serre témoigne actuellement de l'existence d'interactions politiques complexes entre les entreprises et leur gouvernement au sujet de la distribution des permis.

Première partie

Synthèses de la littérature

Une des conséquences du processus de mondialisation est de renforcer les interdépendances entre les pays et de modifier l'efficacité des outils de politique économique. La politique environnementale illustre parfaitement les enjeux de ces changements. A l'échelle internationale, la mobilité du capital est accrue. Le renforcement de l'attractivité d'un pays devient donc un objectif incontournable pour l'ensemble des nations. En effet, en quête de nouvelles sources de capital, de main-d'œuvre ou de matières premières, les multinationales peuvent chercher à s'implanter dans des «paradis» pour pollueurs, où la législation environnementale serait peu contraignante.

A un moment où l'environnement devient une préoccupation grandissante des populations, les pouvoirs publics doivent concilier attractivité du pays et respect de l'environnement. Dans ce contexte de la mondialisation, les pays du Sud sont régulièrement accusés de laxisme environnemental ce qui inciterait le Nord à revoir ses exigences environnementales à la baisse face aux risques de délocalisation et de perte de compétitivité.

Ces discussions trouvent leurs sources dans des travaux théoriques. Kennedy [1994], Conrad [1993] et Ulph et Valentini [1997], parmi d'autres auteurs, ont montré que les régulateurs peuvent être tentés de mettre en place des normes environnementales plus souples afin de mieux attirer les investisseurs étrangers et/ou de protéger les firmes nationales. En effet, lorsque la concurrence est imparfaite sur des marchés de biens internationaux, l'implémentation d'une politique environnementale a des conséquences importantes sur la compétitivité des entreprises. Toute politique environnementale engendre des coûts pour les entreprises polluantes. Ces dernières sont donc désavantagées quand de telles politiques sont appliquées unilatéralement. Il peut donc être intéressant pour les pouvoirs publics – après avoir fait un arbitrage entre les coûts et les avantages de leur politique – de limiter cet impact négatif par un allègement de la contrainte environnementale en faveur des entreprises nationales. Ce comportement s'appelle la politique environnementale stratégique.

La politique environnementale stratégique regroupe les travaux théoriques qui expliquent les problèmes des politiques environnementales lorsque les mar-

chés ne sont pas concurrentiels. Elle s'appuie sur d'autres travaux théoriques antérieurs qui mettent en avant des limites dans l'application effective du libre-échange. Brander et Spencer [1985] apportent de nouvelles justifications aux actions de politique commerciale. Ils montrent comment un gouvernement peut intervenir avec une certaine efficacité : « ce courant, la politique commerciale stratégique (PCS), s'efforce de montrer que, dans une situation de concurrence imparfaite où existent des relations stratégiques entre firmes, les interventions étatiques peuvent être bénéfiques pour la collectivité du pays dans lequel l'État intervient¹⁰ ».

Nous nous proposons ainsi, dans cette partie, de réaliser une synthèse de la littérature. Dans un premier chapitre nous discutons de la politique commerciale stratégique. Nous y exposons tout d'abord les travaux de Brander et Spencer [1985]. Ensuite, nous présentons les critiques adressées à ces auteurs et les développements plus récents. Dans un second chapitre, nous analysons la politique environnementale stratégique. Nous y envisageons une approche critique du dumping écologique en abordant les enjeux de telles politiques.

¹⁰Guillochon, B., 2001, Le Protectionnisme, *La Découverte, Coll. Repères*, Paris.

Chapitre 1

Politique commerciale stratégique et subventions

Sous l'hypothèse de concurrence pure et parfaite, les consommateurs et les producteurs locaux et étrangers sont présents en grand nombre sur le marché. Le bien produit localement et le bien étranger sont de parfaits substituts. Grâce à cette atomicité de l'offre et de la demande, aucun des agents économiques n'a de pouvoir de marché : personne ne détient un quelconque moyen de rationner les quantités proposées et de faire varier le prix sur le marché. Le bien vendu et consommé est un bien dit normal. Sa consommation varie en sens inverse de l'évolution des prix et son coût marginal est croissant. Le pays choisi pour l'analyse est de petite taille. Ainsi, tout changement de la politique d'importation du bien ou d'exportation de sa production n'a aucune répercussion sur le prix mondial. Il est confronté, en d'autres termes, à une offre (demande) étrangère du bien importé (exporté) infiniment élastique. Il y a pleine utilisation des facteurs, la flexibilité totale de leur rémunération permettant d'atteindre l'équilibre.

L'analyse des subventions dans ce cadre d'analyse de concurrence pure et parfaite a conclu à leur nocivité : les subventions ne doivent être utilisées sous aucun prétexte puisqu'elles s'avèrent néfastes quelles que soient leurs applications (subventions à la production ou aux exportations). En effet, aucune amélioration en termes de bien-être n'est réalisable même pour le pays qui

met en œuvre cet instrument protectionniste. Le libre-échange est toujours préféré. Les taxes étant des subventions négatives, des résultats identiques s'y appliquent.

Le GATT (Accord général sur le commerce et les tarifs) se satisfait de ce cadre d'analyse et peut appliquer ses thèses libre-échangistes tout en bénéficiant du soutien de la théorie économique pour laquelle, répétons-le, il est impossible de trouver une justification aux tentations protectionnistes. Or, au début des années 1980 apparaissent des articles faisant mention de concurrence oligopolistique.

Contrairement à la politique commerciale en concurrence pure et parfaite, des résultats surprenants, avec la prise en compte de l'imperfection des marchés, hypothèse bien plus vraisemblable, sont apportés. Les nouvelles conclusions vont parfois à l'encontre des précédentes ou, tout du moins, ne sont pas aussi catégoriques. Les subventions ne seraient pas toujours néfastes.

Même si l'analyse du commerce international en concurrence imparfaite est apparue au début du vingtième siècle avec l'argument du grand pays ou du tarif optimal¹, la plupart des évolutions importantes dans ce domaine ont été réalisées dans les années 1970. En enrichissant les modèles par l'introduction de nouvelles hypothèses telles que l'asymétrie d'information, les économies d'échelle, la différenciation horizontale et verticale des produits, etc. l'analyse théorique du commerce international s'est profondément renouvelée. De ce mouvement novateur est née ce qui est dénommée la politique commerciale stratégique. Brander et Spencer [1985] en sont les précurseurs et sont, par là-même, les auteurs qui ont relancé les débats sur le choix entre libre-échange et protectionnisme puisqu'au regard des conclusions des modèles de concurrence pure et parfaite, le protectionnisme n'a pas lieu d'être.

La politique commerciale stratégique est « une politique commerciale qui conditionne ou altère une relation stratégique entre firmes », définit Brander [1995] et ce, afin d'avantager une firme ou même tout un secteur économique. Selon cette approche, un gouvernement peut vouloir mettre en place une poli-

¹Bickerdike C.F. [1906].

tique commerciale afin d'accroître son bien-être au détriment des autres. Par relation stratégique, il faut comprendre que les firmes sont interdépendantes, c'est-à-dire les profits de l'une sont affectés directement par les décisions individuelles des autres comme leurs niveaux de production. Cette définition implique que ces relations stratégiques sont des conditions nécessaires à l'application de la politique commerciale stratégique sinon les modèles ne pourraient s'y appliquer.

Notre synthèse de la littérature commence par le modèle de base de la politique commerciale stratégique (Brander J.A. et Spencer B.J. [1985]). Nous présentons dans une seconde section les articles qui approfondissent le cadre d'analyse et les nombreuses critiques dont la politique commerciale stratégique fait l'objet. Nous exposons, dans une troisième section, les travaux qui tentent de lever certaines hypothèses afin de renforcer le cadre d'analyse.

1.1 Principes de politique commerciale stratégique

Lorsque les marchés sont imparfaits, les équilibres sur les marchés ne sont pas aussi efficaces qu'en concurrence parfaite, car certains agents s'accaparent des rentes au détriment d'autres. L'intervention gouvernementale sur ces marchés a pour but de corriger ou de se servir ces imperfections. Les subventions sont un des instruments favoris des pouvoirs publics et permettent de détourner les profits dégagés par les entreprises étrangères à l'avantage de leur collectivité. C'est dans ce cadre d'analyse que Brander et Spencer [1985] ont exposé leur recherche².

A l'époque où les auteurs publient leur article, apparaissent des mesures prohibant les subventions et la mise en place d'un système de ripostes contre les pays qui utilisent cet instrument considéré comme protectionniste. Cependant, persiste un problème de taille : il existe des arguments en faveur d'exportations subventionnées. La nature de la concurrence peut expliquer ce phénomène, mais il n'est pas le seul. L'interaction stratégique entre les firmes, c'est-à-dire le jeu de la concurrence, incite les gouvernements à agir. Par exemple, il peut être économiquement comme politiquement souhaitable d'aider ou parfois même d'entretenir des entreprises fleurons de l'industrie nationale et ce, au détriment de la concurrence étrangère. C'est ce que démontrent les auteurs.

Brander et Spencer posent les hypothèses suivantes :

- Il existe deux pays producteur, l'un domestique (h), l'autre étranger (f).
- Une firme domestique et une firme étrangère sont présentes sur le

²L'étude de la politique commerciale stratégique est fondamentalement une application de la théorie des jeux non coopérative. Elle utilise la notion d'équilibre de Nash comme concept central d'équilibre. L'équilibre de Nash désigne toute combinaison de stratégies, une par joueur – les joueurs qui agissent stratégiquement sont des entreprises et des gouvernements –, telle que chaque joueur a choisi la sienne en prévoyant correctement le choix fait par les autres. Ainsi, à l'équilibre de Nash, aucun joueur ne regrette son choix, après avoir constaté celui des autres (qu'il a correctement prévu). Les anticipations de chacun concernant le choix des autres jouent un rôle essentiel dans la réalisation de l'équilibre de Nash.

marché et produisent un bien identique qu'elles vendent sur un marché tiers³.

- La variable stratégique est les quantités. Les entreprises sont dans un duopole de Cournot. Elles prennent pour données les niveaux de subvention offerts par leur gouvernement respectif et le niveau de production de leur concurrent.

- Les entreprises vendent sur le marché tiers, car les pays producteurs ne consomment pas.

- Les gouvernements connaissent la structure de marché et sont capables de mettre en place une subvention aux exportations crédible avant que la décision sur les quantités produites des firmes n'ait lieu. Seul le gouvernement h intervient afin de soutenir sa firme. L'annonce est supposée être crédible.

Cette dernière hypothèse est importante pour la politique commerciale stratégique. Dans l'exemple Airbus-Boeing de Krugman [1987]⁴, il va de soi que les gains des entreprises prennent en considération les subventions versées avant que le jeu de la concurrence ne s'exerce. Or, tant que l'équilibre n'est pas atteint dans l'étape concurrentielle, la somme que le gouvernement verse à l'entreprise ne peut être définie. C'est pourquoi une hypothèse d'engagement est retenue : le gouvernement donnera les subventions qu'il a promises, quelles que soient les quantités produites. Agir en premier donne un avantage certain au gouvernement.

L'entreprise domestique, h , produit une quantité x^h et l'entreprise étrangère (f), x^f . Le profit de h s'écrit :

$$\pi^h(x^h, x^f; s^h) = x^h p(x^h, x^f) - c^h(x^h) + s^h x^h \quad (1.1)$$

³L'auteur justifie l'existence de concurrence imparfaite dans le secteur par la présence de coûts fixes irrécouvrables. Cette structure de marché est essentielle pour l'interprétation des résultats.

⁴Krugman [1987] a illustré les subventions stratégiques à l'exportation analysées dans Brander et Spencer [1985] par le cas Boeing et Airbus. On peut imaginer que l'instrument de politique commerciale en question pourrait être des taxes, des quotas, des restrictions volontaires aux importations, des subventions à la recherche et développement ou tout autre instrument qui altèrent les profits des firmes d'un oligopole. Krugman [1987] montre comment Airbus a gagné des parts de marché au détriment de Boeing grâce aux subventions des Communautés Européennes.

La firme domestique cherche à maximiser son profit avec c^h la fonction de coût, s^h la subvention à l'exportation par unité et $p(x^h, x^f)$ la demande mondiale inverse du bien. La condition de premier ordre (CPO) et la condition de second ordre (CSO) de la maximisation du profit s'écrivent :

$$\pi_{x^h}^h = \frac{\partial \pi^h(x^h, x^f; s^h)}{\partial x^h} = x^h p' + p - c_{x^h}^h + s^h = 0 \quad (1.2)$$

$$\pi_{x^h x^h}^h = \frac{\partial^2 \pi^h(x^h, x^f; s^h)}{\partial x^{h2}} = 2p' + x^h p'' - c_{x^h x^h}^h < 0 \quad (1.3)$$

La CSO est négative ce qui implique la concavité de la fonction de profit. Le profit de la firme étrangère est :

$$\pi^f(x^h, x^f; s^h) = x^f p(x^h, x^f) - c^f(x^f) \quad (1.4)$$

et les conditions de premier et second ordre sont :

$$\pi_{x^f}^f = \frac{\partial \pi^f(x^h, x^f; s^h)}{\partial x^f} = x^f p' + p - c_{x^f}^f = 0 \quad (1.5)$$

$$\pi_{x^f x^f}^f = \frac{\partial^2 \pi^f(x^h, x^f; s^h)}{\partial x^{f2}} = 2p' + x^f p'' - c_{x^f x^f}^f < 0 \quad (1.6)$$

Les conditions suivantes sont également utilisées pour vérifier la stabilité des fonctions de réaction :

$$\begin{aligned} \pi_{x^h x^f}^h &= \frac{\partial^2 \pi^h(x^h, x^f; s^h)}{\partial x^h \partial x^f} = x^h p'' + p' < 0 \\ \pi_{x^f x^h}^f &= \frac{\partial^2 \pi^f(x^h, x^f; s^h)}{\partial x^f \partial x^h} = p' + x^f p'' < 0 \end{aligned} \quad (1.7)$$

Le revenu marginal des firmes diminue avec une augmentation de la production de l'autre firme. De (1.3), (1.6) et (1.7), on déduit :

$$\pi_{x^h x^h}^h < \pi_{x^h x^f}^h \iff 2p' + x^h p'' - c_{x^h x^h}^h - x^h p'' - p' < 0 \iff p' - c_{x^h x^h}^h < 0 \quad (1.8)$$

Avec $p' < 0$, la condition (1.8) est vérifiée si le coût marginal est non décroissant. De la même manière, nous obtenons : $\pi_{x^f x^f}^f < \pi_{x^f x^h}^f$. Cette condition peut être violée seulement si le coût marginal diminue plus que la demande. Elle signifie que les effets directs de la production sur le profit marginal dominent les effets croisés. Les équations (1.3), (1.6), (1.7) et (1.8) permettent d'écrire :

$$D \equiv \pi_{x^h x^h}^h \pi_{x^f x^f}^f - \pi_{x^h x^f}^h \pi_{x^f x^h}^f > 0 \quad (1.9)$$

Cette équation est la condition de la stabilité des fonctions de réaction. Si (1.3), (1.6) et (1.9) sont vérifiées, elles impliquent l'unicité globale de l'équilibre.

Les CPO (1.2) et (1.5) sont les fonctions de réaction des deux firmes sous forme implicite. En effet, nous pouvons en déduire :

$$x^h p' + p - c_{x^h}^h + s^h = 0 \iff x^h = \frac{c_{x^h}^h - p - s^h}{p'}$$

$$x^f p' + p - c_{x^f}^f = 0 \iff x^f = \frac{c_{x^f}^f - p}{p'}$$

Les fonctions de réaction explicites représentent la meilleure réponse de la firme face à un niveau de production choisi par son rival. La solution du système formé par les équations (1.2) et (1.5) est la solution non coopérative au jeu de concurrence en quantité.

Calcul de l'impact de la subvention sur les quantités produites :

L'effet de la subvention se calcule en faisant de la statique comparative. On dérive les CPO du profit des firmes, $\pi_{x^h}^h(x^h(s^h), x^f(s^h); s^h) = 0$ et $\pi_{x^f}^f(x^h(s^h), x^f(s^h); s^h) = 0$ par rapport à s^h .

$$\begin{aligned} d\pi_{x^h}^h &= 0 \iff \frac{\partial \pi_{x^h}^h}{\partial x^h} \frac{dx^h}{ds^h} + \frac{\partial \pi_{x^h}^h}{\partial x^f} \frac{dx^f}{ds^h} + \frac{\partial \pi_{x^h}^h}{\partial s^h} = 0 \\ &\iff \pi_{x^h x^h}^h dx^h + \pi_{x^h x^f}^h dx^f + \pi_{x^h s^h}^h ds^h = 0 \end{aligned} \quad (1.10)$$

$$d\pi_{x^f}^f = 0 \iff \pi_{x^f x^h}^f \frac{dx^h}{ds^h} + \pi_{x^f x^f}^f \frac{dx^f}{ds^h} + \pi_{x^f s^h}^f = 0 \quad (1.11)$$

De la dérivée de la CPO des profits par rapport aux subventions, nous obtenons : $\pi_{x^h s^h}^h = 1$ et $\pi_{x^f s^h}^f = 0$. Ce résultat reflète que la subvention agit directement sur le profit de la firme domestique, et n'agit qu'indirectement sur la firme étrangère, ce qui semble évident puisque la subvention n'est destinée qu'à l'entreprise nationale.

Les équations précédentes sont transposées dans un système à deux équations afin de déterminer l'impact de la subvention sur les quantités produites x^h et x^f :

$$\begin{aligned} & \begin{pmatrix} \pi_{x^h x^h}^h & \pi_{x^h x^f}^h \\ \pi_{x^f x^h}^f & \pi_{x^f x^f}^f \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \frac{dx^h}{ds^h} \\ \frac{dx^f}{ds^h} \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} \pi_{x^h s^h}^h \\ \pi_{x^f s^h}^f \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \end{pmatrix} \\ \iff & \begin{pmatrix} \frac{dx^h}{ds^h} \\ \frac{dx^f}{ds^h} \end{pmatrix} = - \begin{pmatrix} \frac{\pi_{x^h x^f}^h \pi_{x^f x^h}^f}{D \pi_{x^h x^h}^h} + \frac{1}{\pi_{x^h x^h}^h} & \frac{\pi_{x^f x^h}^f}{D} \\ -\frac{\pi_{x^f x^h}^f}{D} & \frac{\pi_{x^h x^h}^h}{D} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \pi_{x^h s^h}^h \\ \pi_{x^f s^h}^f \end{pmatrix} \\ \iff & \begin{pmatrix} \frac{dx^h}{ds^h} \\ \frac{dx^f}{ds^h} \end{pmatrix} = - \begin{pmatrix} \frac{\pi_{x^f x^f}^f}{D} & -\frac{\pi_{x^f x^h}^f}{D} \\ -\frac{\pi_{x^f x^h}^f}{D} & \frac{\pi_{x^h x^h}^h}{D} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \end{pmatrix} \end{aligned}$$

De ce système, on obtient :

$$\frac{dx^f}{ds^h} = \frac{\pi_{x^f x^h}^f}{D} \iff x_{s^h}^f = \frac{\pi_{x^f x^h}^f}{D} \quad (1.12)$$

$x_{s^h}^f < 0$ car $\pi_{x^f x^h}^f < 0$ (voir (1.7)) et $D > 0$ (voir (1.9)).

De plus,

$$\frac{dx^h}{ds^h} = -\frac{\pi_{x^f x^f}^f}{D} \iff x_{s^h}^h = -\frac{\pi_{x^f x^f}^f}{D} \quad (1.13)$$

$x_{s^h}^h > 0$ car $\pi_{x^f x^f}^f < 0$ (voir (1.6)) et $D > 0$ (voir (1.9)).

$x_{s^h}^h$ et $x_{s^h}^f$ mesurent l'impact de la subvention sur x^h et x^f . (1.13) exprime le fait qu'une augmentation de la subvention à l'exportation accroît les expo-

tations domestiques. Symétriquement, l'aide nationale diminue la production de la firme étrangère comme le montre (1.12).

Graphiquement, les subventions transforment la fonction de réaction de l'entreprise domestique parce qu'elles réduisent le coût marginal de la firme. Ce dernier fait se déplacer la courbe vers la droite. Nous pouvons observer ce phénomène sur la figure 1.1⁵ : l'équilibre passe de N à S.

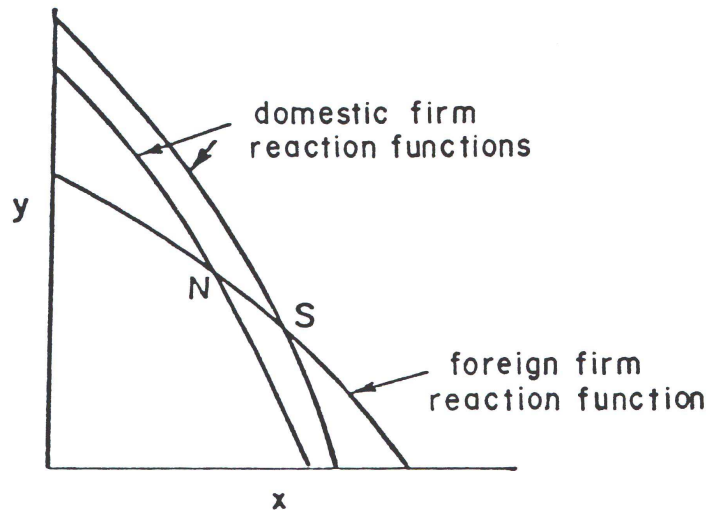


Figure 1.1 : Effets des subventions sur les fonctions de réaction chez Brander et Spencer [1985]

Pour résumer, une augmentation des subventions domestiques a pour conséquences :

- (i) une baisse du prix mondial (les quantités mondialement produites sont plus élevées, car $x_{sh}^h > x_{sh}^f$ de (1.8)),
- (ii) une hausse du profit domestique (la courbe représentative de la fonction de réaction de la firme domestique se déplace vers la droite),
- (iii) une diminution du profit étranger (l'entreprise étrangère subit la subvention domestique et produit une quantité plus faible).

Ces résultats semblent évidents, car la subvention donne un avantage à la firme h . Cependant, nous observons que la subvention accroît le bien-être national net. Dans le cas présent, avec toute la production consacrée à l'expor-

⁵Source : Brander et Spencer [1985]

tation, le surplus domestique net de subvention, W^h , est le profit de la firme domestique auquel le coût occasionné par la subvention est soustrait :

$$W^h(s^h) = \pi^h(x^h, x^f; s^h) - s^h x^h \quad (1.14)$$

On maximise l'équation (1.14) par rapport à s^h :

$$W_{s^h}^h = \frac{d\pi^h}{ds^h} - \left(x^h + s^h \frac{dx^h}{ds^h} \right) = \pi_{s^h}^h - x^h - s^h x_{s^h}^h = x^h p' x_{s^h}^f - s^h x_{s^h}^h \quad (1.15)$$

avec l'expression de l'impact de la subvention sur la firme domestique :

$$\pi_{s^h}^h \equiv \frac{\partial \pi^h}{\partial x^h} \frac{dx^h}{ds^h} + \frac{\partial \pi^h}{\partial x^f} \frac{dx^f}{ds^h} + \frac{\partial \pi^h}{\partial s^h} \quad (1.16)$$

Calcul de la subvention optimale :

On résout :

$$W_{s^h}^h = 0 \iff s^h = \frac{x^h p' x_{s^h}^f}{x_{s^h}^h} > 0 \quad (1.17)$$

La subvention optimale est positive. Il est donc intéressant pour l'Etat de poursuivre une politique interventionniste en faveur de l'entreprise domestique.

Le pays domestique a une incitation unilatérale à offrir une subvention à l'exportation à la firme h et ce, pour plusieurs raisons.

- Les subventions à l'exportation accroissent le profit, car la firme gagne davantage de parts de marché sur sa rivale,
- la subvention n'est pas coûteuse (absence de coût social des fonds publics),
- le gouvernement émet des actions crédibles à travers les fonctions de réaction,
- en agissant en premier le gouvernement peut amener la firme qu'il soutient en position de leader de Stackelberg dans l'espace des productions.

Il est intéressant de noter que la subvention optimale à l'exportation s^h

conduit l'équilibre à un niveau équivalent, en l'absence de subventions, à la position leader-suiveur de Stackelberg dans l'espace des productions avec la firme domestique en position de leader.

Supposons que la firme domestique soit leader de Stackelberg sans subventions. Elle cherche à maximiser son profit. Or, avec à sa position dominante, elle peut parfaitement anticiper la réponse de l'entreprise étrangère à tout niveau de production. Elle connaît donc la fonction de réaction et choisit sur celle-ci le point qui lui procure le maximum de profit.

$$\frac{d\pi^h(x^h, x^f, 0)}{dx^h} = 0 \iff \frac{\partial\pi^h(x^h, x^f, 0)}{\partial x^h} + \frac{\partial\pi^h(x^h, x^f, 0)}{\partial x^f} \frac{dx^f}{dx^h} = 0 \quad (1.18)$$

où $\frac{dx^f}{dx^h}$ est la pente de la fonction de réaction étrangère.

De (1.11), nous déduisons :

$$\pi_{x^f x^h}^f dx^h + \pi_{x^f x^f}^f dx^f = 0 \iff \frac{dx^h}{dx^f} = -\frac{\pi_{x^f x^h}^f}{\pi_{x^f x^f}^f}$$

et en utilisant (1.12) et (1.13) ce résultat devient

$$\frac{dx^h}{dx^f} = -\frac{\pi_{x^f x^h}^f}{\pi_{x^f x^f}^f} = -\frac{\frac{\pi_{x^f x^h}^f}{D}}{\frac{\pi_{x^f x^f}^f}{D}} = \frac{x_{s^h}^f}{x_{s^h}^h}$$

Par substitution dans (1.18), nous obtenons

$$x^h p' + p - c_{x^h}^h + x^h p' \frac{x_{s^h}^f}{x_{s^h}^h} = 0 \quad (1.19)$$

En comparant les conditions (1.2) et (1.19), les auteurs remarquent que les conditions sont identiques. Ils égalisent (1.2) et (1.19) :

$$x^h p' + p - c_{x^h}^h + x^h p' \frac{x_{s^h}^f}{x_{s^h}^h} = x^h p' + p - c_{x^h}^h + s^h \iff s^h = x^h p' \frac{x_{s^h}^f}{x_{s^h}^h}$$

Le résultat (1.17) est obtenu.

Le point essentiel de cet article est que les profits bruts de la firme domes-

tique augmentent plus que la quantité de subventions versées, ce qui implique un gain net pour la société nationale. Le bénéfice net provient du fait que la subvention a un effet sur l'entreprise domestique : elle devient plus agressive. Elle offre sur le marché tiers une quantité plus grande que ce qu'elle aurait proposée sans subvention et réagit plus fortement à toute modification de x^f . Ainsi, la firme f est incitée à moins produire. L'avantage de jouer en premier, dont jouit le gouvernement, est transmis à la firme h via l'attribution de subventions. Le gouvernement h a intérêt à utiliser cet instrument de politique économique afin d'altérer les interactions stratégiques des firmes. Dans ce cas, la subvention implique une perte des termes de l'échange pour le pays domestique, mais l'effet de détournement de rentes la compense bien plus. La subvention dévie les rentes de la firme étrangère vers l'entreprise domestique.

Brander et Spencer [1985] ont démontré qu'il est possible de tirer avantage d'une situation de concurrence imparfaite quand l'un des gouvernements subventionne. En effet, le bien-être de la nation est augmenté au détriment de celui de l'étranger. Ils ont prouvé également que cette solution est identique à une solution de Stackelberg.

1.2 Premiers développements et premières critiques

Le résultat de Brander et Spencer [1985], exposé dans la section précédente, n'est pas l'unique conclusion de leur article, mais il est celui qui a marqué le plus les consciences. Comme nous avons pu le souligner, il remet totalement en cause les apports de l'analyse théorique en concurrence parfaite. Cependant, lorsque des hypothèses lui sont adjointes comme la possibilité de riposte du gouvernement étranger, la présence de consommation domestique, un nombre de firmes important ou encore un changement de variable stratégique (les prix plutôt que les quantités), les conclusions ne sont plus autant radicales.

Outre la publication de Brander et Spencer [1985], Dixit [1984] et Eaton et Grossman [1986] viennent corroborer, nuancer ou infirmer les conclusions du premier article de politique commerciale stratégique. Leurs contributions, novatrices et très porteuses d'enseignements, sont analysées dans une première sous-partie. Nous dressons un bilan des critiques dans un second temps.

1.2.1 Premiers développements

1.2.1.1 Le modèle de Brander et Spencer [1985] bilatéral

Nous examinons ici l'équilibre de Nash non coopératif avec subventions bilatérales. Chaque pays exportateur est supposé choisir son niveau de production étant donné le niveau de subvention de l'autre (modèle de Cournot). Le prix international est commun aux nations exportatrices et les subventions s'appliquent à toutes les unités produites. L'analyse est étendue à la présence de consommateurs h et f . Chacune des entreprises jouit d'un monopole sur son propre marché. En outre, si une subvention devait être appliquée à toute la production, alors la présence de consommation domestique tendrait à accroître la subvention optimale. Ceci car, en présence de concurrence imparfaite, le niveau des ventes sur le marché intérieur est en-dessous du niveau Pareto optimal. Ce phénomène s'applique également au pays f .

D'autre part, les consommateurs sont introduits. Ils sont représentés par la fonction d'utilité $u^h(y^h, m^h) = U^h(y^h) + m^h$ ($u^f(y^f, m^f) = U^f(y^f) + m^f$) avec y^h (y^f) la consommation du bien x^h (x^f) et m^h (m^f) le numéraire de h (f) respectivement. Cette fonction d'utilité est quasi-linéaire, l'utilité marginale du revenu est donc constante et égale à 1. Le surplus du consommateur est mesuré par $U^h(y^h) - py^h$ ($U^f(y^f) - py^f$). Les nouvelles fonctions de bien-être s'écrivent donc⁶ :

$$W^h(s^h, s^f) = U^h(y^h) - py^h + \pi^h(x^h, x^f; s^h) - s^h x^h \quad (1.20)$$

$$W^f(s^h, s^f) = U^f(y^f) - py^f + \pi^f(x^h, x^f; s^h) - s^f x^f \quad (1.21)$$

La firme h (f) fournit les consommateurs du pays h (f). Les entreprises se concurrencent sur le marché tiers. Le nouveau profit étranger est $\pi^f(x^h, x^f; s^h) = x^f p(x^h + x^f) - c^f(x^f) + s^f x^f$ et la variation du profit étranger en fonction de la subvention étrangère est donnée par⁷ :

$$\pi_{s^f}^f \equiv \frac{d\pi^f}{ds^f} = x^f p' x_{s^f}^h + x^f$$

Calcul des subventions maximisant le bien-être individuel de chaque pays :

Les conditions de premier ordre qui maximisent les fonctions de bien-être W^h et W^f par rapport à, respectivement, s^h et s^f sont :

$$\begin{aligned} W_{s^f}^f &= \frac{dW^f}{ds^f} = -y^f \frac{dp}{ds^f} + \frac{d\pi^f}{ds^f} - x^f - s^f \frac{dx^f}{ds^f} = 0 \\ &\iff -y^f p_{s^f} + x^f p' x_{s^f}^h - s^f x_{s^f}^f = 0 \end{aligned} \quad (1.22)$$

$$\begin{aligned} W_{s^h}^h &= \frac{dW^h}{ds^h} = 0 \\ &\iff -y^h p_{s^h} + x^h p' x_{s^h}^f - s^h x_{s^h}^h = 0 \end{aligned} \quad (1.23)$$

⁶Les pouvoirs publics h (f) prennent comme donnée la subvention f (h).

⁷Pour le calcul des CPO et des CSO, la technique d'analyse est la même que dans la section précédente.

Ces expressions reflètent le fait que la subvention étrangère (domestique) s^f (s^h) affecte W^h (W^f) seulement indirectement à travers les valeurs de x^h , x^f , y^h (x^h , x^f , y^f). Les équations (1.22) et (1.23) définissent l'équilibre de Nash non coopératif avec subventions bilatérales qui est caractérisé par une subvention à la production positive dans les deux pays.

En ordonnant les expressions (1.22) et (1.23), les subventions optimales de l'équilibre de Nash non coopératif sont calculées :

$$\begin{aligned} s^f &= x^f p' \frac{x_{s^f}^h}{x_{s^f}^f} - y^h \frac{p_{s^f}}{x_{s^f}^f} > 0 \\ s^h &= x^h p' \frac{x_{s^h}^f}{x_{s^h}^h} - y^h \frac{p_{s^h}}{x_{s^h}^h} > 0 \end{aligned} \tag{1.24}$$

Le terme de gauche de (1.24) représente l'effet de détournement de rente. Il est positif. Plus la subvention h (f) augmente plus la firme h (f) devient concurrentielle. Le terme de droite qui est positif représente les gains réalisés par les consommateurs lorsque la subvention augmente. Plus s^h (s^f) s'accroît, plus les quantités produites par l'entreprise h (f) augmentent et plus le prix du bien diminue. Ces deux effets s'additionnent et renforcent l'incitation à subventionner des gouvernements. Remarquons que même si les deux pays exportateurs ne consomment pas le bien, les deux subventions demeurent positives.

Cependant, quels que soient les niveaux de consommation des pays exportateurs, le bien-être joint de ces deux pays serait plus élevé si les niveaux de subventions étaient fixés à des niveaux inférieurs à ceux de l'équilibre de Nash (équation (1.24)). La solution non coopérative est donc sous optimale pour les pays producteurs. Ce résultat se démontre en dérivant le bien-être joint $\Omega = W^h(s^h, s^f) + W^f(s^h, s^f)$ par rapport à la subvention domestique et

étrangère⁸.

$$\Omega_{s^h} = \frac{dW^h}{ds^h} + \frac{dW^f}{ds^h} = (x^f - y^f)p'x_{s^h}^h \left(1 - \frac{\pi_{x^h x^f}^h \pi_{x^f x^h}^f}{\pi_{x^h x^h}^h \pi_{x^f x^f}^f} \right) < 0 \quad (1.25)$$

$$\Omega_{s^f} = \frac{dW^h}{ds^f} + \frac{dW^f}{ds^f} = (x^h - y^h)p'x_{s^f}^f \left(1 - \frac{\pi_{x^h x^f}^h \pi_{x^f x^h}^f}{\pi_{x^h x^h}^h \pi_{x^f x^f}^f} \right) < 0 \quad (1.26)$$

Si les productions domestiques ne sont pas entièrement absorbées par les consommateurs locaux et si les exportations sont supérieures à la consommation nationale, une diminution de s^h ou s^f augmente le bien-être joint. Brander et Spencer [1985] déterminent les subventions optimales maximisant ce bien-être. $\frac{\partial \Omega}{\partial s^h} = 0$ et $\frac{\partial \Omega}{\partial s^f} = 0$ donnent :

$$\begin{aligned} s^h &= (x^f - (y^h + y^f)) p' \\ s^f &= (x^h - (y^h + y^f)) p' \end{aligned} \quad (1.27)$$

Ces deux niveaux de subvention optimaux sont positifs si $y^h + y^f > x^h$ et $y^h + y^f > x^f$. Lorsque sont retenues ces deux hypothèses, la consommation totale des pays producteurs excède leur niveau d'exportation. S'il n'y avait pas de consommation du bien par les pays producteurs, la politique optimale serait d'appliquer une taxe à l'exportation puisque s^h et s^f seraient négatifs. Cette taxe assurerait que chaque firme produirait le même output qu'un cartel composé de deux firmes (les deux pays producteurs formeraient un cartel contre le reste du monde). Or, les pays sont supposés ne pas être capables d'ordonner un cartel.

Lorsque deux pays subventionnent leur firme, les gouvernements se font concurrence en subventionnant de manière excessive leur entreprise. L'équilibre de Nash avec subvention bilatérale est le dilemme du prisonnier. Brander et Spencer [1985] montrent qu'il serait préférable de taxer les firmes. Cependant, les pays ont toujours une incitation à intervenir dans les échanges stratégiques internationaux des entreprises domestiques.

⁸Dans le modèle, seuls les deux pays producteurs entrent dans le calcul du bien-être joint. Les consommateurs du marché tiers sont ignorés.

1.2.1.2 Politique commerciale internationale sur un marché oligopolistique : Dixit [1984]

Ce modèle sort du cadre du duopole et analyse les répercussions d'un accroissement, de manière exogène, du nombre d'entreprises sur le marché. Il conclut à une réduction de l'effet de la subvention par rapport aux résultats de Brander et Spencer [1985]. Nous ne reprenons qu'une partie du modèle : la présence de marchés nationaux n'est pas reformulée ici, elle le sera plus tard dans le développement, car son argumentaire est plus limpide avec un marché tiers.

Les hypothèses sont similaires à Brander et Spencer [1985]. Les changements concernent le nombre de firmes par pays (n^h et n^f ; ce nombre est donné) et le fait que la subvention soit adressée à toutes les firmes domestiques. L'effet de la subvention domestique sur la i ème firme est donné par :

$$\frac{d\pi_i^h}{ds^h} = \left(\frac{d\pi_i^h}{dx_i^h} \right) x_{is^h}^h + (n^h - 1) \left(\frac{d\pi_i^h}{dx_j^h} \right) x_{js^h}^h + n^f \left(\frac{d\pi_i^h}{dx^f} \right) x_{s^h}^f + \frac{\partial \pi_i^h}{\partial s^h} \quad (1.28)$$

où x_j^h est la production d'une rivale domestique de la firme i et x^f celle d'une rivale représentative étrangère.

Comme la subvention domestique ne concerne plus uniquement une seule firme mais toutes les entreprises domestiques, la production de toutes les firmes domestiques s'accroît. Comparativement à la situation de duopole, le profit de la i ème firme h est plus petit, car le détournement de rentes s'exerce également à l'encontre de la frange concurrentielle domestique. De plus, cette subvention est bien plus lourde à financer. Si n^h est élevé et n^f petit, alors une subvention est nuisible au bien-être national puisque les firmes se concurrenceraient trop fortement du point de vue national. Une taxe à l'exportation serait requise pour cette situation. Inversement, avec n^h qui tend vers 1 et n^f grand, la mise en œuvre d'une subvention aux firmes nationales serait bénéfique.

Dixit [1984] montre qu'une subvention est une stratégie gouvernementale envisageable tant que le nombre de firmes actives sur le marché n'est pas trop

élevé. Ce résultat conforte en partie l'idée de Brander et Spencer [1985] selon laquelle il peut être bénéfique pour un régulateur d'intervenir sur le marché.

1.2.1.3 Politique commerciale et industrielle optimale en oligopole : Eaton et Grossman [1986]

Face aux articles précédents qui explicitent et justifient l'emploi de subventions dans le cadre international, sous des conditions précises, Eaton et Grossman [1986] démontrent que ces résultats sont vrais uniquement sous certaines hypothèses de concurrence. En effet, ils établissent que lorsque la concurrence est « à la Bertrand », les exportations doivent être taxées et non pas subventionnées.

Les auteurs reprennent les hypothèses de Brander et Spencer [1985] dans le cas unilatéral, mais changent l'hypothèse de comportement des entreprises. Jusqu'à maintenant, nous avons supposé que chaque entreprise jouait à la Cournot l'une contre l'autre. Autrement dit, chaque firme fixe son offre optimale (x^h ou x^f) sur le marché avec la certitude que sa concurrente ne modifiera pas le sien en réponse : $dx^f \setminus dx^h = 0$ (c'est la conjecture de Cournot). Eaton et Grossman [1986] modélisent explicitement les conjectures des firmes. Ainsi, comme dans un équilibre de Bertrand, chaque entreprise se demande séparément quel prix pratiquer en faisant l'hypothèse que ses concurrents ne changent pas leur prix, les firmes h et f du modèle font face chacune à une demande $d^h(p^h, p^f)$ et $d^f(p^h, p^f)$ respectivement, ce qui permet d'établir les fonctions de profits suivantes :

$$\begin{aligned} \pi^h(p^h, p^f) &= (1 - s^h) p^h d^h(p^h, p^f) - c^h(d^h(p^h, p^f)) \\ &\quad \text{sous } \frac{dp^f}{dp^h} = \gamma^h \\ \pi^f(p^h, p^f) &= p^f d^f(p^h, p^f) - c^f(d^f(p^h, p^f)) \\ &\quad \text{sous } \frac{dp^h}{dp^f} = \gamma^f \end{aligned} \tag{1.29}$$

avec γ^h (γ^f) la croyance de la firme domestique (étrangère) sur la réaction de sa rivale. γ^h étant la conjecture de l'entreprise nationale, cette dernière peut

surestimer la vraie réponse de sa rivale, la sous-estimer ou l'évaluer parfaitement.

Les auteurs définissent g comme étant la réaction véritable d'un changement exogène de x^h . g mesure la pente de la fonction de réaction de la firme étrangère. $g - \gamma^h$ permet de décrire la politique optimale que doit poursuivre le gouvernement : lorsque $g - \gamma^h > 0$ (conjecture nationale moins forte que la vraie réponse de la firme étrangère), une taxe peut apporter davantage de revenu que la situation de laissez-faire. $g - \gamma^h < 0$ (conjecture nationale plus forte que la vraie réponse de la firme étrangère) implique une subvention et $g - \gamma^h = 0$ signifie que le libre-échange est optimal.

A l'aide des conditions de stabilité de l'équilibre, il est aisé de prouver que le terme $g - \gamma^h$ est positif si et seulement si $\pi_{p^f p^h}^f > 0$ (face à une diminution du prix domestique, la firme réagit par une diminution du sien). Or le signe de s^h est celui de $\pi_{p^f p^h}^f$. Si les deux produits sont substituables ($d_{p^f}^h > 0$ et $d_{p^h}^f > 0$) et les rendements d'échelle non croissants ($c_{p^h p^h}^h \geq 0$ et $c_{p^f p^f}^f \geq 0$) alors $\pi_{p^f p^h}^f > 0$, à moins qu'une hausse du prix du rival ait un effet sensiblement négatif sur la pente de la courbe de demande de la firme domestique. L'intervention optimale est l'opposée de celle obtenue sous hypothèse de Cournot : une taxe à l'exportation est généralement requise. Elle induit également une hausse du profit étranger puisqu'elle réduit l'intensité de la concurrence de ce secteur d'activité. Les taxes affectent tous les consommateurs. L'équilibre devient moins concurrentiel, mais le bien-être mondial est augmenté si nous ne prenons pas en compte l'impact de la hausse du prix à la consommation et la raréfaction des biens (ce qui probablement réduirait le bien-être mondial).

Une taxe sur les exportations, plutôt qu'une subvention, devrait être choisie par tout gouvernement souhaitant maximiser le bien-être du pays qu'il représente lorsqu'une concurrence à la Bertrand s'exerce (ou tend à s'exercer).

Eaton et Grossman [1986] ont montré dans ce modèle, qu'un gouvernement actif peut avoir intérêt à taxer la firme locale plutôt que la subventionner lorsque la concurrence est de type Bertrand. Ils ont raisonné dans un cadre de variations conjecturales explicites, comme l'a fait Dixit [1986] dans un modèle

consolidant les principes de statistiques comparatives en oligopole. Ce cadre d'analyse ouvre la voie à l'endogénéisation des conjectures des firmes mais remet en cause la robustesse des résultats de Brander et Spencer [1985].

1.2.2 Critiques des prémices de la politique commerciale stratégique

Alors que la théorie traditionnelle se consacre à l'identification des mesures propres à corriger les imperfections du marché, la politique commerciale stratégique (PCS) met en œuvre des mesures destinées à en tirer parti, en vue d'accaparer des rentes au bénéfice de l'économie nationale. L'hypothèse d'imperfection du marché, le fait que la théorie traditionnelle fasse référence non pas aux firmes, mais aux pays, et qu'elle établisse ses résultats en fonction des gains des termes de l'échange, la considération de rendements d'échelle, de barrières à l'entrée et de la différenciation des produits, etc. sont autant de nuances qui différencient les analyses traditionnelles de la PCS. Sa véritable innovation réside dans la présence d'oligopoles, souvent des duopoles, avec interactions stratégiques entre firmes et d'un gouvernement qui se conforme à ses objectifs (ses objectifs sont souvent nationaux et se confrontent donc au bien-être de la communauté internationale). Le gouvernement adopte un comportement égoïste et ne prend pas en compte les effets de la politique qu'il met en œuvre sur la collectivité internationale sinon pour rendre plus efficace sa politique avec pour conséquence une détérioration encore plus grande du bien-être étranger. Ces prises de positions des décideurs politiques ne sont pas sans rappeler la théorie du *public choice* dans laquelle les dirigeants ne suivent que leurs propres intérêts ou, au mieux, ceux de la nation qu'ils représentent. Il est difficile d'évaluer les conséquences des subventions apportées à Airbus tant sur le bien-être de l'Union Européenne que sur celui du monde.

Du point de vue conceptuel, la théorie des jeux a permis une certaine rigueur dans la modélisation de la politique commerciale stratégique à l'aide de l'équilibre de Nash. Dans un environnement non coopératif, elle a montré com-

ment un régulateur pouvait stratégiquement aider les firmes nationales ou se trouver dans la situation du dilemme du prisonnier quand deux gouvernements agissent.

Le développement de la PCS a suscité de très nombreux commentaires. Est-il nécessaire qu'un gouvernement subventionne un secteur d'activités afin d'améliorer sa position relative vis-à-vis de ses concurrents ? A la surprise initiale, déclenchée par les résultats interventionnistes de Brander et Spencer [1985], a succédé un grand nombre de réserves⁹. Par exemple, pour l'OMC, les subventions sont un instrument coûteux pour la société et génératrices de distorsions. Pourtant, les modèles étudiés dans ce chapitre ne constituent pas un véritable plaidoyer en faveur du libre-échange. Les premières conclusions, quant aux bénéfices des subventions à travers la PCS, sont tangibles, mais subissent de nombreuses critiques qui portent principalement sur les hypothèses. C'est en partie pour cette raison que l'OMC rejette massivement les conclusions de la politique commerciale stratégique et lutte contre tout mécanisme de subventions.

La robustesse de la théorie de la politique commerciale stratégique peut paraître fragile, au sens où la nature des recommandations politiques est très sensible à la spécification des hypothèses établies. Comparer les résultats de Brander et Spencer [1985] à ceux d'Eaton et Grossman [1986], généraliser le cadre théorique en augmentant, par exemple, le nombre de firmes (Dixit [1984]) ou encore disposer, pour le gouvernement, d'une information précise sur les firmes et le secteur, corroborent cette critique. Dès lors se pose un problème d'applicabilité de cette théorie, car un gouvernement, afin de mettre en œuvre sa politique, doit disposer d'un grand nombre d'informations comme recenser les entreprises du secteur, tant nationales qu'étrangères et d'y étudier les possibilités d'entrée et de sortie.

Les modèles précédents soulèvent de nombreuses interrogations. Ceux que nous allons exposer dans une quatrième section tentent de renforcer les bases

⁹Il demeure néanmoins qu'en présence d'imperfections de la concurrence, une intervention (taxe ou subvention) est souvent préconisée, le libre-échange n'étant que rarement une solution retenue.

théoriques de la politique commerciale stratégique.

1.3 Les domaines explorés

Brander et Spencer [1985] ont ouvert la voie à un nouveau champ d'analyse économique très vite enrichi par l'article d'Eaton et Grossman [1986]. Il existe de nombreuses généralisations et extensions. Dans cette section, nous étudions les apports de la politique commerciale stratégique en présence de subventions.

1.3.1 Extensions du modèle de base avec concurrence à la Cournot

Cette partie se consacre aux développements les plus courants de la politique commerciale stratégique.

1.3.1.1 Ripostes et représailles : la concurrence entre gouvernements

A partir de la seconde partie du modèle de Brander et Spencer [1985], les économistes ont été nombreux à tenter de sortir de l'impasse du dilemme du prisonnier ou, au contraire, à renforcer cet argument afin de mieux vanter la libéralisation des échanges (et de mettre fin par là-même, à la « polémique » dénommée politique commerciale stratégique).

Rappelons tout d'abord le résultat de Brander et Spencer [1985] analysé précédemment dans la section 1.3.1.1 : lorsque deux gouvernements décident simultanément d'une politique active, l'équilibre de Nash en subventions conduit au dilemme du prisonnier. Les niveaux de subventions sont trop élevés et toutes nations gagneraient à diminuer ceux-ci. L'instauration du libre-échange ou d'une taxe à l'exportation peut être préférable.

Dixit [1988] et Collie [1991b] proposent deux modèles à structure similaire, le but étant d'analyser la meilleure réponse possible du gouvernement domestique face à des subventions aux exportations étrangères. Les hypothèses posées sont pour la plupart communes aux deux modèles : n^h entreprises domestiques et n^f étrangères se concurrencent sur le marché domestique (les marchés que peuvent atteindre ces firmes sont nombreux, mais l'hypothèse de segmentation

des marchés est retenue ; les auteurs se focalisent sur le marché domestique), les coûts marginaux sont constants (pour les entreprises étrangères les subventions aux exportations et les coûts de transport y sont intégrés), des coûts fixes sont positifs, des consommateurs domestiques existent, le gouvernement étranger subventionne les exportations des firmes basées sur son territoire tandis que la politique commerciale domestique consiste en l'usage de deux instruments (subventions à la production et taxes aux importations). Les taxes ou les subventions mises en œuvre dans ces analyses sont évaluées par unités.

Les différences principales de ces modèles résident dans le fait que Dixit [1988] raisonne de manière similaire à Eaton et Grossman [1986] et que Collie [1991b] évolue dans un jeu multi-étapes à la Cournot. Chez ce dernier, le régulateur f fixe le montant des subventions accordées à ses entreprises, puis le gouvernement domestique choisit quelles ripostes mener et, pour finir, les firmes se concurrencent à la Cournot.

Dixit [1988] définit les fonctions de profit et de bien-être national suivantes :

$$\begin{aligned}
\pi^h &= [d^h (X^h, X^f) - c^h + s^h] x^h - F^h \\
\pi^f &= [d^f (X^h, X^f) - c^f - t^h] x^f - F^f \\
W^h &= \{U^h (X^h, X^f) - p^h X^h - p^f X^f\} + \{X^h [p^h - c^h + s^h] - n^h F^h\} \\
&\quad + \{t^h X^f - s^h X^h\}
\end{aligned} \tag{1.30}$$

avec F^h et F^f les coûts fixes, t^h la taxe à l'importation, X^h et X^f les productions domestiques et étrangères totales respectivement, d^h et d^f les fonctions de demandes et la somme des surplus marshalliens des consommateurs $U^h (X^h, X^f) - p^h X^h - p^f X^f$ (avec $u^h = X_0^h + U^h (X^h, X^f)$ la fonction d'utilité agrégée où X_0^h est le bien numéraire). Les subventions à l'exportation sont intégrées au coût marginal des firmes étrangères.

Ces fonctions sont très similaires à celles que posent Collie [1991b] :

$$\begin{aligned}
\pi^h &= [p - c^h + s^h] x^h - F^h \\
\pi^f &= [p - c^f - t^h + s^f] x^f - F^f \\
W^h &= V^h(p) + X^h [p - c^h] + t^h X^f \\
W^f &= X^f [p - c^f - t^h]
\end{aligned}
\tag{1.31}$$

Dixit [1988] met en évidence qu'il est optimal pour le gouvernement domestique d'appliquer un droit compensateur partiel (une taxe aux importations) et une subvention à la production, face aux subventions à l'exportation étrangères.

A l'aide de ce modèle avec demandes linéaires, l'auteur démontre que taxes et subventions peuvent être justifiées pour répondre à des subventions étrangères. Toutefois, les droits compensateurs mis en place doivent être de taille modérée d'après les résultats de ce modèle. En effet, un coût plus faible des importations augmente la pression de concurrence entre firmes. Ce phénomène réduit la distorsion de l'oligopole et amène la politique corrective à être moins importante. Les importations, même subventionnées, continuent à jouer un rôle procompétitif. De plus, les gains en bien-être associés à ces instruments de riposte, calculés par Dixit [1988], sont généralement faibles, mais permettent de ne pas subir de détournement de rentes.

Collie [1991b], quant à lui, remarque que lorsque le pays domestique taxe les importations, l'effet de détournement de rente de la subvention étrangère est transféré au pays domestique. En général, la réponse domestique optimale est d'accroître la taxe aux importations et de réduire les aides à la production : la subvention étrangère à l'exportation réduit la distorsion de l'oligopole sur le marché domestique par une réduction du prix payé par les consommateurs, donc la subvention à la production requise pour résorber cette distorsion est plus petite. Par ailleurs, Collie [1991b], compte-tenu des hypothèses, évalue la taxe compensatoire optimale à moins (plus) de $\frac{1}{2}$ par unité importée si la demande est convexe (concave). Il souligne que cette dernière a pour effet, quand les fonctions de demandes sont linéaires, de conduire le gouvernement étranger à ne plus subventionner ses exportations puisque le gain qu'il en retire

disparaît.

Les conclusions de cet article rejoignent celles de Dixit [1988] : en présence de subventions étrangères, un accroissement des taxes aux importations et une réduction des subventions à la production sont optimales pour le pays domestique. Collie [1991b] ajoute que le gouvernement étranger cesse de subventionner ses firmes si la riposte tarifaire grandit.

L'intérêt du modèle de Collie [1991b], par rapport à celui de Dixit [1988], est qu'il présente, par induction vers l'amont, la réaction du pays étranger (qui subventionne les exportations) subissant la riposte de la nation domestique (taxes aux importations couplées à des subventions à la production).

Kolher et Moore [2003] prolongent l'article de Collie [1991b], mais adoptent une approche complémentaire en supposant que le gouvernement domestique ne répond pas à une politique commerciale étrangère. Le bien-être domestique n'est donc que la somme du surplus des consommateurs et du profit de l'entreprise domestique. Lorsque les firmes se concurrencent à la Cournot, l'entreprise domestique subit la subvention étrangère. Cependant, les consommateurs du pays h retirent toujours un effet positif en termes de variation de prix. Au total, W^h augmente aussi longtemps que le prix proposé par la firme étrangère excède le coût marginal de production, c'est-à-dire qu'il n'y a pas de dumping. Dans le cas de Bertrand avec des produits différenciés, la taxe à l'exportation étrangère aide la firme domestique, mais nuit au surplus des consommateurs. L'effet net d'une politique domestique de « laissez-faire » dépend d'un nombre de paramètre incluant l'élasticité prix-croisé. Toutefois, à nouveau, il est possible que W^h augmente avec l'intervention de f .

Kolher et Moore [2003] se positionnent contre l'antidumping et les droits compensatoires : si la firme f n'est pas compétitive et doit utiliser une subvention pour faire face à des coûts élevés, alors le consommateur domestique bénéficie de la diminution de prix, cet effet dominant le détournement de rente subit par la firme domestique efficiente. Une taxe étrangère peut également mener à une amélioration du bien-être domestique. Il est donc inutile pour le pays domestique de riposter.

1.3.1.2 Biens intermédiaires et facteurs de production

Dans la majeure partie des modèles de politique commerciale stratégique, il est fait abstraction des considérations traditionnelles de l'équilibre général. Les analyses sont souvent présentées en équilibre partiel. Les hypothèses telles que l'existence d'un unique facteur de production ou bien intermédiaire, l'agrégation du reste de l'économie dans un seul secteur numéraire et la linéarité de la fonction d'utilité participent à l'élimination de résultats fournis par l'équilibre général.

Dixit et Grossman [1986] relâchent les hypothèses d'un seul facteur de production et d'un seul oligopole. Cette modélisation demeure cependant en équilibre partiel. Plusieurs secteurs oligopolistiques se concurrencent à la Cournot avec, à chaque fois, une entreprise domestique et une étrangère par marché. Toutes les ventes sont réalisées sur des marchés tiers. La substituabilité ou la complémentarité des biens produits est en second plan dans cette analyse. Les auteurs s'intéressent surtout à l'existence de deux facteurs de production qui sont à disposition des firmes : les « travailleurs » et les « scientifiques ». Les scientifiques sont une ressource rare. Dans la version la plus simplifiée du modèle, l'offre de facteur technologique est fixe, ce qui a pour effet direct de contraindre les capacités de production. Les scientifiques sont un facteur essentiel pour les entreprises puisqu'ils leur permettent de rendre plus efficace la production. Il s'exerce alors une concurrence en amont de la production pour le partage de la main d'œuvre scientifique. Ainsi, les subventions à la production, mises en œuvre par le gouvernement domestique, n'ont plus qu'une seule fonction : les subventions servent à détourner les rentes de l'oligopole, mais également à au recrutement des scientifiques qui voient leur salaire augmenter du fait de leur rareté. Les firmes ayant les coûts les plus faibles ont un coût d'opportunité de détournement de rente faible. Elles vont donc plus se servir de la subvention pour attirer les scientifiques que les autres firmes (ayant un coût d'opportunité de détournement de rente élevé). Le gouvernement est contraint de subventionner les firmes les plus efficaces et de taxer les autres puisque les

subventions ne servent plus uniquement à promouvoir les exportations.

Si les subventions ne peuvent être distribuées que de manière uniforme et si le secteur oligopolistique est symétrique, alors Dixit et Grossman [1986] concluent à la non intervention : le libre-échange est optimal. Par contre, si des possibilités de substitutions entre travailleurs et scientifiques existent, l'incitation à subventionner est retrouvée.

Winters [1988] analyse, dans un cadre sensiblement similaire à Dixit et Grossman [1986], la politique commerciale à l'intérieur d'une union commerciale du type de l'Union Européenne. Il mesure quels peuvent être les impacts des subventions sur les scientifiques et le capital ? En considérant que l'économie comporte deux biens et deux facteurs de production et que toutes les importations proviennent de l'Union, Winters [1988] démontre que les subventions sont d'autant plus nocives que les capitaux sont mobiles internationalement.

De plus, il étend son analyse à plusieurs biens : chaque pays produit un bien homogène et un bien différencié qui requièrent, dans des proportions différentes, de la main d'œuvre non qualifiée et des scientifiques. Sachant que le travail qualifié est mobile internationalement à l'intérieur de l'union, que les pays disposent au départ de la même quantité fixe de scientifiques, que les conditions d'équilibre des marchés sont satisfaites, qu'une seule entreprise est présente dans chaque secteur, que les gouvernements subventionnent et que les firmes exercent une concurrence à la Cournot, Winters [1988] expose les pertes en bien-être engendrées par les subventions. Il explique que les aides gouvernementales, destinées à capturer les rentes des nations étrangères, servent également à attirer de la main-d'œuvre qualifiée chez soi (car les entreprises se concurrencent sur le marché des scientifiques ; grâce à cette catégorie de salariés, elles produisent davantage). Même si elles peuvent être quelquefois bénéfiques dans la mesure où un Etat seulement subventionne, elles conduisent généralement à une guerre de subventions qui s'avère coûteuse pour la société. Par ailleurs, l'utilisation des subventions conduit les entreprises à une surproduction dans

les secteurs de haute technologie au détriment des autres biens présents en nombre insuffisant dans l'économie et à des salaires excessifs octroyés aux scientifiques.

Dans le cadre de biens intermédiaires (marchés verticaux), Ishikhawa et Spencer [1999] abandonnent l'hypothèse de marché intégré de Winters [1988] pour revenir à un marché tiers, lieu de vente du produit final. Toutefois, ils conservent la présence d'oligopoles multiples comme Dixit et Grossman [1986] et permettent la mise en place de représailles. Lorsque deux activités verticales, une par pays, se concurrencent sur les deux marchés nationaux pour la vente d'un bien intermédiaire, puis sur un marché tiers pour la vente du bien final, les auteurs élaborent un jeu en trois étapes afin d'évaluer la subvention optimale. Tout d'abord, les gouvernements choisissent les montants de leurs subventions. Ensuite, les entreprises productrices de biens intermédiaires se concurrencent à la Cournot sur les marchés étranger et domestique. Pour finir, le bien final est vendu sur le marché tiers par les firmes concernées après avoir joué à la Cournot.

L'originalité de ce modèle est d'introduire trois sortes de détournements de rentes : entre producteurs domestique et étranger du bien final, entre producteurs domestique et étranger du bien intermédiaire et entre producteurs du bien final et producteurs du bien intermédiaire. Ainsi, dès qu'une subvention à l'exportation ciblant le bien final est appliquée, la demande des biens intermédiaires augmente. Le profit est détourné vers les producteurs intermédiaires. Si ces producteurs sont étrangers, la subvention perd de son efficacité. Cette subvention aux exportations a également un double effet. Elle joue sur l'ensemble des firmes en activité. Puisqu'elle accroît la production de bien final, elle provoque aussi une hausse de la production de biens intermédiaires. Les rentes d'oligopole sur les deux marchés sont affectées ce qui a pour conséquence d'améliorer le bien-être.

Ishikhawa et Spencer [1999] ont également montré l'équivalence entre une

combinaison de subventions à la production et de subventions aux importations de même quantité et entre une subvention aux exportations de biens finals.

Parmi ces modèles, seul celui d'Ishikawa et Spencer [1999] est en faveur de subventions stratégiques, les autres préconisant davantage le libre-échange. Ils enrichissent toutefois la littérature grâce à la généralisation des oligopoles.

1.3.1.3 Usage de plusieurs instruments de politique commerciale

Une critique souvent formulée à l'encontre du modèle de Brander et Spencer [1985] est la contrainte pesant sur les autorités quant à l'usage d'un unique instrument de politique commerciale. White [2002] modélise un duopole international dans lequel deux firmes produisent pour le marché domestique. Le gouvernement h a le choix entre une taxe aux importations ou une subvention à la production. La mise en œuvre de l'une ou l'autre dépend de la pente de la fonction de coût marginal des firmes. Cette fonction est quadratique. Si la pente est relativement faible, il est préférable d'appliquer une taxe aux importations. Si, au contraire, la pente est raide, une subvention à la production est préférée. White [2002] démontre également que quand la courbe de coût marginal est croissante, le bien-être s'élève si la taxe et la subvention sont utilisées de concert. L'importance de la taxe dépend, dans cette combinaison des deux instruments, de la pente de la fonction de coût marginal de production.

Conconi [2001] permet l'usage des mêmes instruments que White [2002]. Il analyse la formation d'accords commerciaux en concurrence imparfaite et d'actions stratégiques des gouvernements. En présence de trois pays symétriques, l'auteur envisage trois types d'accords possibles :

- Une union aléatoire : les membres éliminent les tarifs entre eux et fixent une taxe commune vis-à-vis de l'extérieur afin de maximiser le bien-être joint.
- Un accord pour coordonner l'utilisation des subventions à l'exportation.
- Une coordination des deux instruments.

Conconi [2001] démontre que lorsque deux instruments sont utilisables, les accords commerciaux préférentiels qui induisent l'utilisation coordonnée de subvention à l'exportation sont la seule structure d'accords stables et forment des blocs régionaux qui empêchent d'atteindre la coopération multilatérale. En s'accordant sur l'utilisation des subventions aux exportations, les pays sont capables de détourner la rente des firmes hors union. Le bien-être associé est supérieur à celui de la formation d'une union avec le troisième pays. Toutefois, le bien-être mondial est toujours plus faible avec un accord préférentiel qu'en présence de multilatéralisme. Quand seules les taxes sont employées par les autorités, la solution optimale obtenue est le multilatéralisme. Il y a une logique de blocs lorsque les gouvernements peuvent utiliser les deux instruments.

1.3.1.4 Le coût social des fonds publics

Jusqu'ici, les gouvernements n'étaient pas limités par le mode de financement de leurs politiques commerciales stratégiques ni par un coût d'opportunité relatif à leurs dépenses. L'intégration du coût social des fonds publics est rencontrée pour la première fois dans un modèle de Gruenspecht [1988] repris par Neary [1994] et d'autres comme Collie [2000a, 2000b, 2002]. Le principe est simple : chaque euro dépensé coûte à la société plus d'un euro, ce qui crée une distorsion. La fonction de bien-être s'écrit alors :

$$W^h(s^h) = \pi^h(x^h, x^f; s^h) - \lambda s^h x^h = (p - c^h)x^h - (\lambda - 1)x^h s^h \quad (1.32)$$

avec $\lambda s^h x^h$ le montant de la subvention versée par le gouvernement augmenté du coût social des fonds publics λ .

L'impact de la subvention sur le bien-être est donné par :

$$\frac{dW^h}{ds^h} = x^h p' x_{s^h}^f - (\lambda - 1)x^h - \lambda s^h x_{s^h}^h \quad (1.33)$$

Le premier terme est positif et le second négatif. Il semblerait que le deuxième fasse plus que compenser le premier. $(\lambda - 1)x^h s^h$ est la perte sèche

engendrée par la taxation distorsive. Ainsi, si λ est suffisamment élevé, la politique optimale est une taxe plutôt qu'une subvention.

Collie [2000a] et [2000b] examine l'impact des subventions à la production et à l'exportation sur le bien-être collectif en généralisant les hypothèses précédentes. Nous exposons le cas des subventions à la production, néanmoins les résultats sont identiques avec des subventions aux exportations. n pays identiques ont constitué une union commerciale et ont éliminé toutes les entraves aux échanges, sauf les subventions à la production. Dans chacun d'eux, est localisée une seule firme qui produit un bien homogène pour le vendre sur le marché intégré. Les consommateurs sont identiques et représentés par un unique agent par pays. Ils ont une fonction d'utilité linéaire. Comme les barrières commerciales sont inexistantes, le prix appliqué aux consommateurs est identique. Le modèle est un jeu en deux étapes : tout d'abord, les autorités choisissent les aides qui maximisent le bien-être national, puis les entreprises se concurrencent à la Cournot. Le jeu est résolu par induction rétrospective afin d'obtenir un équilibre parfait en sous-jeu.

Tous les Etats membres mettent en place une subvention positive et égale (hypothèse de symétrie des agents) qui est financée intégralement sur les fonds des autorités. Les consommateurs ne subissent pas de prélèvements. La fonction de bien-être du pays représentatif i est :

$$W^i = V(p) + \pi^i - \lambda s^i x^i = V(p) + (p - c)x^i - (\lambda - 1)x^i s^i \quad (1.34)$$

où $V(p)$ représente le surplus des consommateurs.

Lorsque les opérations publiques ne sont pas coûteuses ($\lambda = 1$), Collie [2000a] détermine que $p = c$. Il explique ce résultat par le fait que les distorsions oligopolistiques sont éliminées grâce aux subventions. Le pouvoir de marché dont jouissent les entreprises en oligopole disparaît grâce à l'intervention des gouvernements. Le bien-être de l'union est maximum à l'équilibre de Nash en subvention à la production. L'habituel dilemme du prisonnier n'est pas atteint

et une prohibition des subventions réduirait le bien-être collectif.

Or, lorsque $\lambda > 1$, le prix est supérieur au coût marginal et donc la distorsion, conséquence de l'oligopole, n'est pas complètement éliminée. L'équilibre de Nash en subvention à la production est positif si le coût social est inférieur à une valeur critique. Une hausse de ce coût réduit le bien-être à l'équilibre.

Ensuite, Collie [2000a] s'intéresse au bien-être agrégé de l'union $\Omega = \sum_i W^i$. Il remarque que si $\lambda > 1$, une réduction des subventions de tous les États augmente le bien-être collectif et celui de chaque nation. Toutefois, interdire les subventions ne signifie pas accroître le bien-être. D'après la figure 1.2¹⁰, il faut interdire les subventions si le coût social des fonds publics est compris entre λ^p et λ^s . Ω^P et Ω^N sont respectivement les biens-être avec prohibition des subventions et à l'équilibre de Nash avec subventions. La fonction de bien-être agrégée de la société avec subventions, Ω^N , présente une forme particulière en « U ». Sa pente à l'équilibre de Nash est donnée par :

$$\frac{d\Omega^N}{d\lambda} = \frac{\partial\Omega^N}{\partial s} \frac{ds^N}{d\lambda} - s^N \sum_i x^i \quad (1.35)$$

La fonction Ω^N est décroissante en fonction du coût social des fonds publics et coupe Ω^P au point λ^p . Ainsi, si le coût d'opportunité des fonds publics est inférieur à λ^p , les gouvernements ont intérêt à subventionner puisque le bien-être agrégé est supérieur à celui de la situation de libre-échange. A l'inverse, pour $\lambda > \lambda^p$, $\Omega^P > \Omega^N$, il est donc préférable d'interdire les subventions. Si le coût social des fonds publics est égal à λ^s , le niveau de subvention est nul. Lorsque $\lambda > \lambda^s$, les gouvernements appliquent une subvention négative, c'est-à-dire une taxe. La forme en « U » de cette courbe montre qu'il est optimal pour le régulateur de subventionner, de laisser-faire, puis de taxer les firmes suivant la valeur de λ . La possibilité de taxer donne à la fonction Ω^N cette forme convexe.

¹⁰Source : Collie [2000a]

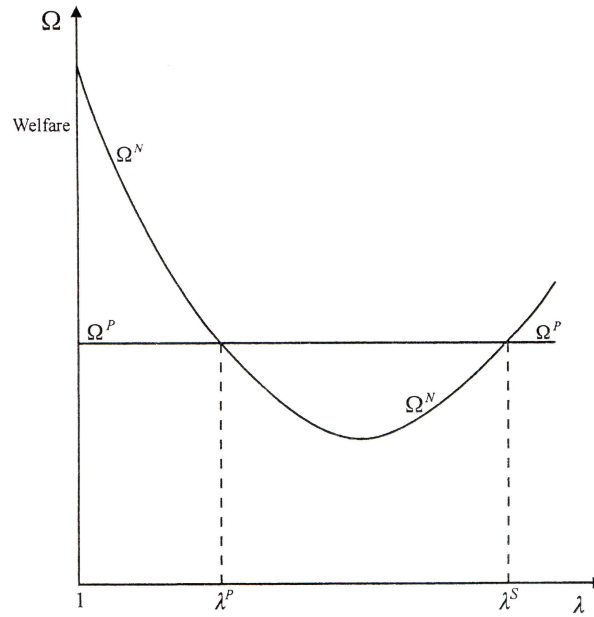


Figure 1.2 : Comparaison de bien-être à l'équilibre de Nash avec prohibition des subventions

Collie [2000a, 2000b, 2002], Gruenspecht [1988] et Neary [1994] montrent l'importance de la prise en compte du coût social des fonds publics dans l'évaluation des conséquences des subventions. Ainsi, si le coût social des fonds publics est nul ou faible, les subventions sont une politique intéressante. Par contre, s'il est positif, le niveau de subventions (ou de taxes) dépend de sa valeur.

1.3.1.5 Firmes asymétriques

La symétrie des firmes facilite l'analyse de la PCS, mais cette hypothèse est éloignée de la réalité. Les entreprises, tant au niveau national qu'au niveau international, ne font pas face aux mêmes contraintes de production : les normes sociales rendent la main d'œuvre plus ou moins chère, un taux d'imposition faible favorise l'efficacité productive, les biens intermédiaires ne sont pas disponibles de façon identique, etc. C'est pour ces raisons énumérées de manière non exhaustive que des auteurs ont décidé de lever l'hypothèse de symétrie des firmes.

Collie [1993] et Long et Soubeyran [1997] étudient l'impact de taxation ou

de subvention uniforme. Ils concluent à l'optimalité de cette politique lorsque les firmes sont asymétriques. Plus précisément, Long et Soubeyran [1997] analysent le rôle de l'indice d'Herfindhal dans la détermination de l'impact sur le bien-être de subventions uniformes. Quand les firmes ont des coûts unitaires de production différents, une taxe ou une subvention affectent leur réponse de production non uniformément. Avec une courbe de demande localement concave, une taxe à l'exportation uniforme dévie l'indice d'Herfindhal du secteur en faveur des firmes domestiques ayant le coût unitaire de production le plus bas. Ceci conduit à un gain en efficacité de la production. Si l'indice de concentration est élevé (le secteur est concentré), ce gain surpasse la perte qui résulte d'une diminution des parts de marché. Inversement, avec une courbe de demande convexe, une subvention à l'exportation uniforme détourne l'indice d'Herfindhal à la faveur des entreprises domestiques à coût faible, et si la concentration est importante, alors les gains en termes d'efficacité font plus que compenser la perte causée par la nette diminution des prix.

Long et Soubeyran [1999] dans le cadre d'un marché tiers également, montrent que l'hétérogénéité des coûts et le degré de concentration du secteur sont des facteurs critiques dans la détermination des politiques optimales. L'efficacité productive a un rôle essentiel dans la définition du signe de la subvention. Lorsqu'un marché domestique se crée, l'indice de concentration doit être parfaitement connu par le gouvernement afin d'appliquer la politique commerciale stratégique optimale. Cependant, l'application de subventions non uniformes nécessite une connaissance parfaite des coûts de production de toutes les entreprises du marché. Un gouvernement qui souhaite maximiser le bien-être par une subvention (taxe) sélective doit collecter et analyser beaucoup d'informations. Les subventions uniformes paraissent donc plus aisées à utiliser.

Neary [1994] modélise un duopole dans lequel les firmes se concurrencent sur un marché tiers. Elles ont des coûts marginaux constants différents et il existe un effet d'apprentissage. Ce dernier permet, dans un modèle à plusieurs périodes, de diminuer les coûts de production d'une période à l'autre en fonction des quantités produites la période précédente. Neary [1994] considère deux

périodes : à la première période le coût marginal de la firme domestique vaut c^h et à la seconde $c^h - \varepsilon x^h$. Il justifie l'application de subventions ou de taxes spécifiques à chaque entreprise nationale. Plus une firme est concurrentielle, plus elle doit recevoir de subventions. A l'inverse, moins une entreprise est efficace, plus le gouvernement a tendance à la taxer. L'auteur démontre que l'effet d'apprentissage n'entre pas directement en jeu dans la détermination de la subvention optimale. L'efficacité des firmes est le déterminant essentiel dans l'attribution des subventions (une entreprise efficace aura sans doute un effet d'apprentissage élevé ce qui lui permettra d'être hautement compétitive à la seconde période).

Bandyopadhyay [1997] démontre que l'élasticité de la demande et l'asymétrie des coûts de production entre firmes sont des déterminants importants de la politique commerciale stratégique. En effet, avec une élasticité de demande unitaire et une symétrie des agents, le libre-échange est optimal. Une subvention (taxe) devient optimale si la firme exportatrice a un coût marginal plus faible (élevé) que son concurrent. Si les deux gouvernements interviennent, alors le résultat conventionnel postulant que l'entreprise à coût de production bas obtient les subventions les plus élevées¹¹ est inversé pour des demandes inélastiques. La subvention optimale est égale à la différence de coût entre les deux firmes lorsque l'élasticité de la demande est faible. Une subvention aux exportations croît avec l'élasticité, mais diminue avec les coûts. De plus, la firme à coût faible reçoit une subvention élevée quand la demande est élastique et une subvention faible quand la demande est inélastique.

¹¹Comme le montre Collie et De Meza [2002], à l'équilibre de Nash, la valeur absolue de la subvention/taxe à l'exportation du pays dont la firme a un coût de production faible est plus grande que la valeur absolue de la subvention/taxe du pays à coûts de production élevés.

1.3.2 Subventions stratégiques et changements sectoriels

Cette section poursuit l'analyse des subventions et de la politique commerciale stratégique. Nous considérons tout d'abord la PCS quand la variable stratégique est les prix et lorsque le mode de concurrence est endogène. Puis nous étudions les subventions à la recherche et développement et à la différenciation des produits.

1.3.2.1 Concurrence à la Bertrand

Venables [1994] et Collie [1993] modélisent un marché où s'exerce une concurrence en prix. Collie [1993], dans un modèle à deux pays, deux firmes vendant sur des marchés intégrés et à biens homogènes, conclut que les instruments de politique commerciale - une taxation des importations et une subvention des exportations - n'ont pas d'effet anti-concurrentiel sur un marché intégré. L'auteur remarque en outre que la politique commerciale optimale quand les marchés sont intégrés, est très similaire à celle lorsque les marchés sont segmentés. Si les marchés sont segmentés ou intégrés, la politique commerciale optimale requiert une subvention aux importations quand la firme domestique possède un avantage en termes de coût, mais nécessite une taxe des importations lorsque la firme étrangère bénéficie d'une position favorable.

A l'inverse, dans un cadre analytique similaire, Venables [1994] pense qu'une taxe aux importations et une subvention aux exportations sont des instruments fortement anti-concurrentiels. Par exemple, la subvention donne la possibilité aux firmes de réaliser des profits positifs ce qui diminue l'incitation des firmes à vouloir servir les deux marchés par une baisse des prix. La caractéristique « tout ou rien » de la concurrence à la Bertrand disparaît. L'effet d'une politique de subventions est de réduire l'intensité de la concurrence entre les firmes. La subvention à l'exportation permet d'augmenter les prix. Les consommateurs sont donc perdants sur l'ensemble des marchés ce qui garantit une perte en termes de bien-être pour les pays interventionnistes.

1.3.2.2 Mode de concurrence endogène

Eaton et Grossman [1986] ont travaillé sur les paramètres conduisant à s'approcher plus ou moins de la concurrence par les quantités ou par les prix. Maggi [1996] élabore un modèle en contraste avec les modèles à variations conjecturées qui servent habituellement à paramétrer les réactions des oligopoles de type Eaton et Grossman [1986]. Son avantage est l'indexation sur des paramètres structurels observables (par exemple, le dispositif d'engagement sur les capacités de production des firmes), ce que ne sont pas les variations conjecturales (hypothèse sur la réaction des entreprises rivales). Ces paramètres permettent la détermination du mode de concurrence. Ce modèle est alors employé à examiner le commerce stratégique dans un environnement à information complète et les décisions gouvernementales quand l'Etat n'est pas certain du mode de concurrence.

L'environnement se décompose en trois étapes. Le gouvernement domestique subventionne la production et/ou les capacités de production de la firme implantée en h . Les deux entreprises choisissent ensuite leurs capacités de production (qui peuvent être supérieures à la production effective) pour finalement se concurrencer sur un marché tiers. Ce papier établit qu'une taxe à la production est envisagée lors de contraintes de capacités faibles, qu'une subvention à la production est préférée lorsque les contraintes de capacités sont fortes et que le libre-échange est optimal dans la situation intermédiaire. Par ailleurs, les subventions des capacités de production peuvent être une forme attractive d'intervention même quand le gouvernement n'est pas en possession d'informations sur les spécificités du marché ciblé.

De plus, cet article suggère que malgré les contraintes informationnelles, les gouvernements peuvent être conduits à intervenir. En particulier, Maggi [1996] montre qu'une simple subvention des capacités productives des firmes, peut accroître le revenu domestique sans requérir la moindre information sur les particularités du marché. Ainsi, la critique de la nécessité d'une information pointue pour le gouvernement adressée à la politique commerciale stratégique paraît moins importante.

1.3.2.3 Subventions à la recherche-développement

Le GATT tout d'abord, puis l'OMC à partir de 1993, ont instauré, après moult cycles de négociations et conférences, de nombreuses directives concernant directement l'usage des subventions. Les aides à l'exportation des produits industriels sont interdites, mais non les soutiens gouvernementaux aux entreprises réalisant des investissements de recherches et de développement (R&D). La législation internationale ne répertoriant pas dans la boîte rouge les subventions R&D et le rôle d'importance que tiennent les investissements en R&D dans l'économie ont incité la politique commerciale stratégique à s'emparer de ce domaine afin d'en modéliser les conséquences.

Le premier modèle de subventions de R&D stratégiques a été mis en place par Spencer et Brander [1983] dans un jeu à trois étapes : le gouvernement adresse les subventions de R&D à la firme nationale, les entreprises décident de leurs investissements en R&D et, pour finir, elles se concurrencent sur un marché tiers. Le principe des investissements en R&D est de diminuer le coût de production sachant que leur effet marginal décroît. Spencer et Brander [1983] découvrent que les firmes ont tendance à surinvestir en R&D par rapport à une minimisation du coût, et, malgré cela, les gouvernements subventionnent : comme avec des subventions à l'exportation, des rentes plus importantes sont capturées grâce à la politique interventionniste (nous avons ici le résultat classique de la R&D et des subventions : les firmes surinvestissent sous concurrence à la Cournot et sousinvestissent lorsque la variable stratégique du mode de concurrence est les prix).

Le profit domestique peut s'écrire :

$$\pi^h = p(x^h + x^f)x^h - c^h(x^h, z^h) - (v^h - s^h)z^h \quad (1.36)$$

avec z^h le niveau en R&D et v^h le coût unitaire de la R&D.

Bagwell et Staiger [1994] dans un modèle similaire considèrent à la fois des marchés oligopolistiques de type Cournot et de type Bertrand, quand le résultat de la R&D est incertain. Les gouvernements subventionnent ou taxent en

fonction des dépenses de R&D des entreprises. Le coût de la R&D est inconnu des régulateurs. Les auteurs déduisent que la politique optimale dépend du nombre de firmes – une subvention est requise en présence d’une firme par nation, mais il est optimal de taxer dès que le nombre d’entreprises excède 1 – et de la structure de l’incertitude liée à la R&D. Leur résultat est robuste quel que soit le mode de concurrence alors que ce n’est pas le cas avec les subventions à l’exportation. Leur analyse que confirment Leahy et Neary [2001], montre également que les choix de R&D sont des substituts stratégiques, c’est-à-dire qu’une hausse des investissements de la firme domestique augmente la profitabilité marginale des investissements étrangers.

Jo [2002] ne teste pas la robustesse de la R&D, mais lève de nombreuses hypothèses (asymétries des firmes, variations conjecturales, deux secteurs en oligopole) et mesure les implications d’une politique commerciale non uniforme. Sous ces conditions, un gouvernement peut être tenté d’utiliser les taxes R&D, les subventions R&D, ou les deux. Les résultats en termes de bien-être sont positifs : les bien-être individuel et joint s’améliorent. Le caractère non-uniforme des instruments économiques le permet. De plus, l’auteur montre l’intérêt d’élever la firme la plus efficace au rang de champion national et donc de restreindre la concurrence.

Qiu et Tao [1998] construisent leur analyse autour de deux pans de la littérature économique, la politique commerciale stratégique et la coopération en recherche et développement : les firmes coopèrent en R&D. Ils envisagent deux types de coopérations, d’une part la collaboration et d’autre part la coordination. Quand les firmes collaborent, elles joignent leurs efforts de réduction des coûts de production grâce à la R&D. Lorsqu’elles se coordonnent, chacune d’elles est intéressée par une fraction du profit de l’autre : ainsi, les entreprises ont intérêt à diminuer leurs dépenses en R&D pour réduire l’effet négatif sur leur concurrente (perte de parts de marché et donc baisse du profit). Les fonctions de profits de l’entreprise domestique en collaboration et en coordination sont données respectivement par :

$$\begin{aligned}\pi^h &= [p(x^h + x^f) - (c^h - h^h(z^h) - \mu h^f(z^f))] x^h - z^h(1 - s^h) \\ \pi^h &= [p(x^h + x^f) - (c^h - h^h(z^h))] x^h - z^h(1 - s^h) + \mu\pi^f\end{aligned}\tag{1.37}$$

où c^h est le coût de production, $h^h(z^h)$ et $h^f(z^f)$ sont les gains en termes de coût tirés de la R&D et μ le degré de coopération.

En collaboration, les gouvernements ont intérêt à subventionner si μ est petit et laisser-faire ou subventionner dans le cas inverse. La coordination est plus délicate à analyser, car la politique dépend du degré de coordination des Etats et des firmes.

L'apport majeur des modèles avec subventions de R&D est la robustesse des résultats à de nombreux changements d'hypothèses, là où échouent les subventions à la production ou à l'exportation. Les conclusions résistent à un changement de mode de concurrence ou la complémentarité/substitution des biens.

Nous pouvons en outre citer Rutsaert [1994] qui propose un modèle de recherche et développement et de politique commerciale stratégique, mais sans subvention. L'idée est que les firmes domestiques souhaitent innover plus vite et moins cher à l'aide de coopération en R&D afin de mieux faire face à la pression des concurrents. Elles pourraient ainsi gagner davantage de parts de marché. L'objectif est de déterminer le degré optimal, du point de vue domestique, de la collaboration entre firmes domestiques. Trois politiques alternatives sont réalisables : interdire toute activité jointe, permettre la seule coopération en R&D ou autoriser la coopération en R&D, en production et en ventes. Le choix parmi ces trois politiques ne constitue pas un mécanisme économique incitatif, mais relève d'une approche réglementaire. Dans un jeu à trois étapes similaire à Spencer et Brander [1983], Rutsaert [1994] estime que permettre la coopération en R&D est optimal lorsque la concurrence est en Cournot, mais sous optimal lorsque la variable stratégique est les prix, qu'il n'est jamais profitable de colluder dans le cas de Cournot, mais toujours profitable en Bertrand et qu'il y a un rôle positif de la taille de marché sur la R&D quel que soit le type de

concurrence.

1.3.2.4 La différenciation des produits

Les produits sont rarement parfaitement substituables. Ils sont pour la plupart différenciés. De ce fait, la modélisation nécessite qu'un prix soit spécifique à chaque bien. Dans le cas de deux produits, $p(x^h, x^f)$ représente le prix du bien x^h et $q(x^h, x^f)$ celui du bien x^f . Les prix sont supposés être décroissants en fonction des productions domestique et étrangère, donc $\pi_{x^f}^h = x^h p_{x^f} < 0$. Si les biens sont des substituts stratégiques $\pi_{x^h x^f}^h < 0$, alors que s'ils sont complémentaires $\pi_{x^h x^f}^h > 0$.

L'incorporation de la différenciation des produits au sein de la politique commerciale stratégique et des subventions a ouvert la voie à plusieurs analyses. Klette [1994] affirme que l'effet positif d'une subvention (le détournement de rente) sur les profits et le surplus des consommateurs est affaibli ou négatif lorsque la différenciation des produits augmente. Zhou, Spencer et Vertinsky [2002] et Herguera, Kujal et Petrakis [2002]¹² approfondissent cet espace de recherches en se concentrant sur une différenciation verticale des produits. Zhou, Spencer et Vertinsky [2002] démontrent pourquoi les gouvernements subventionnent l'amélioration de la qualité de leurs firmes et cherchent à diminuer la qualité proposée par les concurrents. Dans un jeu à trois étapes où le choix de qualité est déterminé après la décision des autorités du montant de la subvention et avant la concurrence sur le marché des produits, les auteurs démontrent que la politique unilatérale de pays en développement sous concurrence à la Cournot est une taxe à l'investissement en qualité. Sous hypothèse de Bertrand, les autorités choisissent la subvention. Lorsque les pays sont industrialisés les résultats sont inversés.

Collie [2002] inscrit dans la littérature un modèle qui, reprenant Collie [2000a et 2000b] en y ajoutant de la différenciation horizontale et un marché intégré, résiste aux changements de mode de concurrence (passage de Cournot

¹²L'article de Herguera, Kujal et Petrakis [2002] est développé dans la section 1.3.4.1, car leur apport principal concerne la position du gouvernement dans le séquençage du jeu.

à Bertrand). Consommateurs, pays et firmes sont symétriques. La fonction d'utilité des consommateurs est quadratique. Les résultats centraux sont :

- Sous concurrence oligopolistique de type Cournot ou Bertrand, si les produits sont des substituts suffisamment proches, il existe des valeurs du coût social des fonds publics pour lesquelles les subventions optimales sont positives et la prohibition des subventions prévient un « dilemme du prisonnier » ($\lambda^p < \lambda < \lambda^s$, sur la figure 1.2)

- Sous concurrence oligopolistique de type Cournot ou Bertrand, si les produits sont des substituts suffisamment proches, il existe des valeurs du coût social des fonds publics pour lesquelles les subventions optimales sont positives et la prohibition des subventions réduit le bien-être de tous les pays ($\lambda < \lambda^p$ et $\lambda^s > \lambda$, sur la figure 1.2¹³).

L'article de Collie [2002] a de l'importance car il est robuste au changement de concurrence.

De Stephano et Rysman [2003] complète l'analyse de produits différenciés. Il est possible pour les entreprises de grouper leur production. Si toutes les firmes s'associent, elles n'en forment plus qu'une qui devient le champion national. Les auteurs montrent que les autorités cherchent à réunir tous les produits en une seule firme, car une structure de marché moins concurrentielle permet que le prix mondial soit plus élevé. La concurrence entre firmes du même pays disparaît ce qui augmente l'efficacité des subventions. De plus, en choisissant une structure de marché moins concurrentielle (où la différenciation des produits est réduite), le gouvernement domestique incite le gouvernement étranger à être moins agressif : dans le cas de Bertrand, la taxe du pays f est plus élevée et dans le cas de Cournot, la subvention de f est plus faible. Moins le nombre de firmes h est grand, mieux elles résistent à la politique du régulateur f .

¹³La fonction Ω^N peut être strictement décroissante si les biens sont peu substituables. Alors, les subventions améliorent le bien-être uniquement si $\lambda < \lambda^p$.

1.3.3 Délégation du gouvernement

A la fin des années 1990, des auteurs ont mêlé la politique commerciale stratégique et la délégation. Collie [1997] établit que, dans un modèle simple avec deux gouvernements (f subventionne et h taxe), deux firmes et un marché domestique, le gouvernement domestique délègue la maximisation du bien-être national à un agent. La délégation consiste en l'attribution par un gouvernement de la maximisation de sa fonction objectif par un agent indépendant. Collie [1997] évalue la délégation en mesurant le poids qu'accorde l'agent aux profits des firmes dans la fonction de bien-être. La fonction de bien-être s'écrit :

$$W^h = \int_0^X p(Q)dQ - pX + t^h x^f + \phi \pi^h \quad (1.38)$$

où $X^h = x^h + x^f$, $\int_0^X p(Q)dQ - pX$ est le surplus des consommateurs, t^h la taxe appliquée au bien étranger x^f et ϕ le poids accordé au profit de l'entreprise domestique. Si $\phi = 1$, le bien-être avec délégation est le même que le bien-être sans délégation.

Collie [1997] montre que l'agent délégué au bien-être attribue moins d'importance au profit de la firme. Le poids optimal, ϕ , est inférieur à 1 si les productions des deux firmes sont positives à l'équilibre de Nash. Les taxes sont donc plus faibles et les subventions étrangères de plus grande ampleur puisque la firme h est moins protégée qu'elle ne l'aurait été par le gouvernement domestique. Grâce à la délégation le pays h est moins agressif et son bien-être est amélioré compte-tenu de ϕ .

Morasch [2000] discute de la délégation sous une autre forme. Le gouvernement domestique peut décentraliser à deux régions (par exemple l'Union Européenne délègue à l'Allemagne et à la France), comprenant chacune une firme, le pouvoir de subventionner les exportations. Ce type de délégation affecte le jeu concurrentiel de la manière suivante : les subventions sont accrues et le bien-être est en hausse si le nombre d'entreprises domestiques est au moins deux fois supérieur à celui de l'étranger. Sinon, le gouvernement n'a pas intérêt à diviser ses compétences.

Miller et Pazgal [2002] renvoient encore à des hypothèses différentes sur le mode de délégation : des propriétaires d'entreprises mandatent un gestionnaire¹⁴. Ils montrent que si les propriétaires des firmes détiennent un contrôle suffisant de leurs managers, alors la politique stratégique optimale ne dépend pas du type de concurrence (Cournot ou Bertrand). La demande étant linéaire, la politique optimale est de subventionner si les biens sont substituables et de taxer s'ils sont complémentaires.

Pal et White [1998] étudient la délégation d'une firme publique au secteur privé, c'est-à-dire sa privatisation. La firme publique étant supposée moins efficace, la subvention à la production domestique diminue fortement alors que le bien-être s'accroît avec la privatisation et ceci, même si le surplus des consommateurs diminue. Pal et White [1998] comparent l'efficacité de la subvention à une taxe aux importations. Ces deux instruments augmentent le bien-être de la politique commerciale quand il y a privatisation, mais les auteurs n'arrivent pas à déterminer si la taxe augmente ou diminue après privatisation.

La délégation introduit une nouvelle variable dans l'analyse de la politique commerciale stratégique sans pour autant remettre en cause les résultats fondamentaux. Son approfondissement peut s'avérer intéressant.

1.3.4 Synchronisation des politiques gouvernementales

Jusqu'à présent, nous avons considéré des modèles dans lesquels les gouvernements définissent les niveaux de subventions dans un premier temps et les firmes se concurrencent en quantité ou en prix dans un second temps. Pourtant, le positionnement de l'action gouvernementale peut changer les résultats obtenus précédemment. La réalité confirme l'idée que des subventions ou des taxes sont mises en place d'après la conjoncture de la période passée.

¹⁴A la première étape du jeu, le gouvernement intervient. A la seconde, les propriétaires incitent le manager dans ses choix. A la dernière étape, les managers se livrent concurrentiellement sur un marché tiers.

1.3.4.1 Position dans le séquençage du jeu

Carmichael [1987] considère un modèle avec deux firmes vendant leurs produits différenciés sur un marché tiers. Gruenspecht [1988] ajoute le coût social des fonds publics. Les gouvernements interagissent dans le duopole, mais après que le jeu de la concurrence soit réalisé. Ils fixent une subvention en prenant comme donnés les prix, variables stratégiques du modèle. Les consommateurs du marché tiers font alors face à un prix $p^h - s^h$. Les fonctions de demande peuvent s'écrire $x^h = a - (p^h - s^h) - bp^f$ et $x^f = a - p^f - b(p^h - s^h)$

Les firmes subissant des coûts fixes, F , le bien-être domestique est donné par :

$$W^h = \pi^h - \lambda s^h x^h \iff W^h = (p - c^h - \lambda s^h) (a - (p^h - s^h) - bp^f) - F^h \quad (1.39)$$

Les auteurs concluent que si l'entreprise domestique choisit un prix au-dessus du niveau d'équilibre, la subvention compense intégralement cette hausse. La firme domestique fixe donc un prix de vente infiniment élevé puisqu'elle a la garantie d'un profit infini. Ces modèles entrent en totale contradiction avec Eaton et Grossman [1986] qui préconisent une taxation des exportations plutôt qu'une subvention sous concurrence à la Bertrand.

Neary [1994], quand les coûts de production sont asymétriques, démontre que la subvention optimale est positive dans un jeu à la Cournot. Lorsque la firme a un désavantage en termes de coût, il peut être optimal que le gouvernement établisse un régime de subvention ex-post plutôt que d'imposer une taxe à l'exportation ex-ante.

Herguera, Kujal et Petrakis [2002] étudient les conséquences d'une taxe ex-ante ou ex-post sur les décisions de qualité d'un bien. La taxation ex-ante est prohibitive, car elle élimine du marché la firme étrangère. Le bien-être est donc inférieur à celui obtenu lorsque la taxe est ex-post. Avec la taxe ex-ante, il n'y a plus de concurrence puisque la firme f a disparu. L'entreprise h est en situation de monopole et choisit de produire la qualité la plus rentable pour

elle. Une taxe ex-post assure à la firme domestique de produire la qualité la plus élevée sans éliminer son concurrent. Le bien-être s'améliore.

Hayashibara [2002] ne compare pas des subventions ex-post à des subventions ex-ante. Il modélise un jeu à quatre étapes dans lequel le pays h peut subventionner la production et/ou taxer les importations et le pays f peut subventionner les exportations :

- 1) Les gouvernements décident à quelles périodes ils interviennent (2) ou (3),
- 2) Si un ou les deux gouvernements décident d'intervenir, il ou ils choisissent les niveaux des subventions et des taxes,
- 3) Si un ou les deux gouvernements ne sont pas intervenus à l'étape (2), il ou ils choisissent les niveaux des subventions et des taxes,
- 4) Une concurrence à la Cournot s'exerce entre les firmes.

Si le régulateur h intervient avant l'autre, le pays f connaîtra les décisions de h . Il pourra donc adapter sa politique et se comportera en suiveur. Choisir de jouer en (2) ou en (3) détermine les politiques de subvention et de taxation des autorités. Si les deux pays jouent simultanément, le gouvernement domestique subventionne et choisit une taxe aux importations deux fois plus importante que la subvention aux exportations de f (s'il n'y a qu'une firme par pays). Si le secteur est fortement concentré (duopole) et si le pays h se comporte en leader de Stackelberg (h joue en (2) et f en (3)), alors h subventionne et taxe et f subventionne. Si le gouvernement de f joue en premier, sa subvention est nulle tandis que la subvention et la taxe de h restent positives quel que soit le nombre de firmes. Quand le timing est endogène, le pays dont le secteur est le moins concentré a tendance à se comporter en leader de Stackelberg. Le nombre de firmes présentes sur le marché influence les gouvernements dans le choix de leur moment d'action.

Ohkawa, Okamura et Tawada [2003] prolongent le raisonnement de Hayashibara [2002]. Ils intègrent le positionnement des gouvernements dans le jeu comme étant un choix stratégique. A la première étape du jeu, chaque régulateur annonce simultanément s'il agit en premier ou en second. Etant donné ce

choix, ils fixent leur niveau de subvention. A la troisième étape, les entreprises se livrent concurrence à la Cournot. Ainsi, comme Hayashibara [2002], les auteurs établissent que le gouvernement du petit pays (petit par le nombre de firmes) choisit d'agir en premier en subventionnant ses entreprises. Le grand pays joue en second et taxe ses firmes. Ohkawa, Okamura et Tawada [2003] présentent quatre explications de ce phénomène :

- Sans regarder le timing, le petit (grand) pays subventionne (taxe), car la distorsion stratégique domine (est dominée par) la distorsion des termes de l'échange.

- Si le grand pays joue en premier, le petit choisit la même position parce que si le petit diminue sa subvention cela lui réduit son bien-être. Si le grand accepte le rôle de suiveur, le petit devient leader, car il peut conserver l'efficacité des subventions de ses firmes et bénéficier indirectement de la taxe étrangère à travers la hausse du prix mondial. Agir en premier est bénéfique pour la petite nation.

- Si le petit joue en (2), le grand est toujours en (3) puisqu'il peut accroître la taxe à l'exportation pour réduire la baisse du prix qui est plus nuisible pour le bien-être du grand pays.

- S'il le nombre de firmes est identique entre les pays, chaque gouvernement subventionne, car la distorsion stratégique domine la distorsion des termes de l'échange.

1.3.4.2 La non-intervention comme choix stratégique

Le placement dans le déroulement du jeu n'est pas la seule option proposée au gouvernement dans le séquençage. Il lui est offert la possibilité de revenir sur ses engagements et/ou de ne pas intervenir.

Carmichael [1987] a mis en avant une caractéristique intéressante : les gouvernements ne sont pas tenus de s'engager dans une politique d'intervention. Auparavant, les firmes anticipaient qu'une subvention (ou une taxe) deviendrait optimale puisque le programme du gouvernement était en place. Désormais, le gouvernement décide de sa politique commerciale et, dans un second

temps distinct, chiffre le montant de la subvention. Quand la concurrence est à la Bertrand, Carmichael [1987] montre que le programme de subvention n'a plus d'impact sur le prix de marché ou sur les parts de marché des entreprises. La non-intervention peut donc être un choix judicieux.

Hwang et Shulman [1994] utilise cette hypothèse dans un duopole avec marché tiers. Lors d'une première étape, les gouvernements choisissent entre des subventions, le contrôle des quantités exportées et la non-intervention. Par la suite, ils décident des niveaux d'intervention en fonction de l'instrument choisi précédemment, sinon ils n'interviennent plus. Pour finir, les entreprises du duopole se concurrencent. En introduisant la non-intervention de manière explicite, celle-ci a beaucoup plus de chance de se produire qu'avec des simples subventions égales à zéro. Les gouvernements sont capables de prendre en compte leur choix et celui du rival réalisés à l'étape 1 dans la détermination des politiques optimales.

En appelant ρ^h et ρ^f le choix de la politique, les fonctions de bien-être sans et avec possibilité de non-intervention s'écrivent respectivement :

$$\begin{aligned} & W(\rho^h, s^h; \rho^f, s^f) \\ & W(\rho^h, s^h(\rho^h, \rho^f); \rho^f, s^f(\rho^h, \rho^f)) \end{aligned} \tag{1.40}$$

Ainsi, Hwang et Shulman [1994] montrent que la non-intervention comme option de politique commerciale n'altère pas les résultats de Brander et Spencer [1985] quand le nombre de firmes est identique dans chaque pays. Les subventions s'établissent toutefois à des niveaux plus faibles. La non-intervention est préférée par les autorités lorsque des interventions bilatérales sont possibles.

Ionaşcu et Žigić [2001] complexifient la modélisation en y incorporant la différenciation des produits et la recherche-développement. Les gouvernements préfèrent ne pas intervenir à mesure que les produits deviennent davantage substituables. L'asymétrie d'information encourage les pouvoirs publics à « laisser-faire » de manière à se protéger des manipulations et des croyances socialement inefficaces des firmes.

Dans un domaine quelque peu semblable, Goldberg [1995] examine l'éven-

tualité de la non-crédibilité d'un gouvernement. La non-intervention ne domine pas dans ce modèle et un niveau de subvention positif s'impose comme politique optimale bien que ce degré soit plus faible qu'avec un engagement crédible du gouvernement.

La non-intervention paraît être un élément pertinent pour la politique commerciale stratégique. L'idée même que les subventions étrangères sont moindres, car le gouvernement domestique peut ne pas intervenir, est intéressante.

1.3.5 Asymétrie d'information

La politique commerciale stratégique nécessite une information précise. Les gouvernements ne peuvent aisément implémenter une subvention ou une taxe optimale sans avoir une quelconque notion des coûts, de la demande ou de la nature de la concurrence du secteur. Il est raisonnable de penser que le gouvernement ne dispose pas de toute cette information capitale. C'est en ce sens qu'a été introduit l'asymétrie d'information dans ces modèles.

Comme dans le cas des firmes asymétriques, la politique commerciale cible les entreprises les plus efficaces. Sachant que le gouvernement alloue une subvention d'autant plus forte que le coût marginal de production est faible, les firmes sont incitées à ne pas révéler la vraie valeur de c . Qiu [1994] suppose en ce sens, que la firme domestique est de deux types : elle a des coûts élevés ou faibles. Elle seule observe son coût véritable, mais la distribution des coûts est connaissance commune. Pour l'entreprise étrangère, tous les agents actifs du marché connaissent ses caractéristiques. Le gouvernement domestique établit soit un menu de subvention (par unité) et de transfert forfaitaire remboursant la subvention à la production, soit une subvention uniforme. Cette modélisation est familière à la littérature de l'asymétrie d'information, mais son application à la politique commerciale stratégique est une innovation. Les effets « screening » et « signaling » y sont présents. Le premier résulte d'une action de l'agent non informé tandis que le second est une action de la partie informée.

Sous ces hypothèses, Qiu [1994] montre que la nature de la politique optimale est sensible au type de compétition entre les firmes h et f . En concurrence à la Cournot, le gouvernement applique un menu de subventions (équilibre séparateur) qui oblige la firme domestique à révéler son type. L'allocation consécutive à ce programme mène aux solutions d'information parfaite. Sous concurrence par les prix, le gouvernement préfère la subvention uniforme (équilibre mélangeant) qui permet à l'entreprise h de cacher son type. Cependant, le résultat d'information parfaite n'est pas atteint. Dans un équilibre séparateur, si l'entreprise a des coûts élevés (faibles), elle produit moins (plus) que dans un équilibre mélangeant. Or, comme en concurrence à la Cournot (Bertrand), le bien-être est une fonction croissante (décroissante) de l'écart des productions à bas coût et à coût élevé, les autorités choisissent un menu de subvention (une subvention uniforme)¹⁵.

Brainard et Martimort [1997] considèrent un environnement similaire à celui de Qiu [1994]. Ils introduisent le fait que les firmes domestique et étrangère observent la réalisation de leur coût de production, contrairement à Qiu [1994]. Désormais, seul le gouvernement h est pénalisé par l'asymétrie d'information : les pouvoirs publics h ne pratiquent plus de la même politique – ils ont intérêt à diminuer leur intervention – et réduisent donc la subvention optimale par rapport à la situation d'information complète d'après Brainard et Martimort [1997]. Quand, ces auteurs ajoutent l'hypothèse de coût social des fonds publics, le régulateur domestique diminue la subvention : le poids des distributions distorsives associé à la recherche de la rente informationnelle devient plus élevé. Les autorités cherchent alors à inciter la firme domestique à produire efficacement. L'effet de détournement de rente est réduit par l'effet du coût des fonds publics. Toutefois, la rente informationnelle est diminuée

¹⁵Le résultat sous concurrence à la Bertrand est contesté par Okajima [2003]. Ce dernier démontre qu'un équilibre séparateur dans lequel différents types de firmes domestiques opéreraient pour différents programmes de subventions n'existe pas. Il n'y aurait pas de choix possible pour les autorités. La politique optimale serait donc un équilibre mélangeant (toutes les firmes choisissent le même programme de subvention) parce qu'il n'y a pas d'équilibre séparateur (et non parce que le bien-être est plus élevé avec équilibre mélangeant qu'avec un équilibre séparateur).

lorsque le gouvernement étranger peut agir, car les firmes ont des coûts marginaux symétriques. La révélation de leur coût véritable se fait plus aisément parce qu'elles n'entretiennent pas des comportements collusifs. Brainard et Martimort [1997] montrent en outre que les politiques commerciales sont toujours des subventions pour les firmes les plus efficaces.

Cooper et Riezman [1989] et Arvan [1991] se penchent sur le choix des instruments de politique commerciale. Dans ces deux modèles, la sélection des dispositifs est réduite aux subventions linéaires ou aux restrictions des quantités. Cooper et Riezman [1989] recherchent quel est l'impact de l'incertitude. Ils utilisent pour cela, à la fois l'asymétrie d'information et le séquençage du jeu. Les gouvernements choisissent tout d'abord entre deux modes d'intervention : le contrôle des quantités ou les subventions à l'exportation. Ensuite, ils fixent les niveaux de l'intervention. Puis, un paramètre d'incertitude sur les prix, reflétant l'asymétrie d'information et étant fixé de manière exogène, est révélé aux firmes. Pour finir, les firmes se font concurrence. Les auteurs montrent que les contrôles de quantités sont toujours préférés aux subventions dès lors que l'incertitude est faible ou inexistante. Sinon, les subventions sont adoptées. Quant à Arvan [1991], il montre que si l'intervention des gouvernements dans le séquençage du jeu est endogène alors l'un des gouvernements agit en premier et opte pour une politique inflexible et l'autre adopte une intervention plus souple (une politique inflexible permet à un Etat d'atteindre des positions dominantes dans le sous-jeu des firmes, mais l'empêche de réagir face à l'incertitude).

Maggi [1999] ne se préoccupe que des subventions, mais il envisage leur non linéarité. Dans un jeu à quatre étapes (les gouvernements subventionnent simultanément, les firmes décident de participer ou non au marché, observent θ qui peut être interprété comme le paramètre de demande, et se concurrencent à la Cournot), la situation est pire que lorsqu'il n'y a pas d'asymétrie d'information : un dilemme du prisonnier est atteint. Brainard et Martimort [1996] proposent ce même cadre d'analyse. Cependant, le déroulement du jeu est légèrement altéré. θ est observé en premier lieu, puis les gouvernements pro-

posent un menu de contrat que les entreprises acceptent ou non. Ces décisions sont révélées publiquement. Enfin, un équilibre en quantité est recherché. Brainerd et Martimort [1996] prouvent ici que le préengagement du gouvernement en matière de subventions est affaibli avec l'asymétrie d'information et avec les fonds publics coûteux et ce, d'autant plus que l'intervention stratégique est unilatérale (la publication de la sélection des firmes permet de réduire les coûts informationnels parce que les firmes sont symétriques).

1.3.6 Jeux répétés

Collie [1993] produit une approche dynamique de la politique commerciale stratégique et des subventions. Il envisage une version répétée du modèle de Brander et Spencer [1985] où, à chaque période, les gouvernements subventionnent et les entreprises, dans une concurrence de type Cournot, choisissent leur production optimale. Les résultats sont nombreux, car un horizon infini de stratégies s'est ouvert. En particulier, le libre-échange est une solution si les pays sont suffisamment similaires.

L'évolution de ce modèle dynamique ne peut se faire sans l'intégration de la synchronisation (section 1.3.4). Il est évident qu'un jeu infiniment répété n'est pas réaliste. L'intégration du choix des moments d'intervention des gouvernements (afin de ne plus faire les mêmes erreurs qu'à la période précédente, par exemple) dans le processus dynamique paraît nécessaire. Ces choix peuvent être exogènes ou endogènes.

Cheng [1987] prolonge l'analyse de Spencer et Brander [1983] en modélisant une version dynamique des innovations technologiques. Il obtient des résultats similaires à Spencer et Brander [1983] : à l'équilibre de Nash, les deux pays subventionnent les investissements de recherche-développement afin d'internationaliser les effets externes de l'innovation. Neary et Leahy [2000] définissent un Etat avec un engagement imparfait. Le gouvernement doit neutraliser la firme domestique afin de détourner au mieux les profits et d'éviter tout gaspillage social. Kujal et Ruiz [2003] dispensent la vie éternelle aux gouvernements et la mort à chaque période des firmes. Les gouvernements peuvent, dans leur mo-

dèle, agir de manière synchronisée ou alterner leur intervention entre chacune des périodes. Sous concurrence à la Cournot, lorsqu'ils alternent leurs interventions d'une période à l'autre, les subventions sont plus élevées que dans un modèle statique correspondant. Le bien-être est plus élevé quand les autorités synchronisent leurs choix de promotion des exportations : les subventions diminuent par rapport à la situation où les gouvernements agissent par séquence. Les subventions sont plus importantes dans le jeu alterné, car les autorités se comportent en leader de Stackelberg sur cette période.

1.3.7 Analyses additionnelles

Cette synthèse de la littérature ne présente pas les analyses de libre-entrée (Markusen et Venables [1988] et Venables [1985]) qui, la plupart du temps, conduisent à la disparition de l'oligopole (donc à l'obtention d'une situation de concurrence parfaite où il n'y a plus d'intérêts à subventionner), ni la segmentation des marchés (par exemple, Krishna et Thursby [1991]) comparée à l'intégration des marchés (Markusen et Venables [1988]). Dans cette section, nous nous concentrons sur des modélisations originales.

1.3.7.1 Actionnariat et politique commerciale stratégique

Jusqu'à présent, il n'avait pas encore été considéré la possibilité que les firmes multinationales soient détenues par des actionnaires. Dick [1993] puis Welzel [1995] développent ce concept afin d'en mesurer les incidences sur la politique commerciale stratégique : comment évoluent les subventions optimales en présence d'actionnariat international ?

Dans un modèle avec deux entreprises et deux pays, un marché tiers, une concurrence de type Cournot et des biens homogènes, la fonction de bien-être du pays domestique s'exprime de la façon suivante :

$$W^h = r^h \pi^h(x^h, x^f; s^h) + (1 - r^f) \pi^f(x^h, x^f; s^h) - s^h x^h \quad (1.41)$$

avec r^h la part de l'entreprise domestique détenue par les actionnaires do-

mestiques et r^f la part de l'entreprise étrangère détenue par les actionnaires étrangers. Ainsi $(1 - r^f)$ reflète la part des actions dans la firme f détenue par les actionnaires domestiques.

Cette modélisation permet la révélation d'effets qui nous était inconnus jusqu'à présent. De (1.41), on obtient la subvention optimale suivante :

$$s^h(r^h, r^f) = \frac{r^h(x^h p' x_{s^h}^f)}{x_{s^h}^h} - \frac{(1 - r^h)x^h}{x_{s^h}^h} + (1 - r^f)x^f p' \quad (1.42)$$

Le terme de gauche de l'équation (1.42) représente l'effet du détournement de rente qui est positif : plus il est important, plus l'état a intérêt à subventionner la firme domestique (nous pouvons retrouver le résultat de Brander et Spencer [1985] en absence de propriété internationale, c'est-à-dire lorsque $r^h = 1$ et $r^f = 1$; ainsi, $s^h(r^h = 1, r^f = 1) = \frac{x^h p' x_{s^h}^f}{x_{s^h}^h}$). Le second terme exprime l'effet de la subvention en termes de détournement de rente accaparée par l'étranger et qui donc ne bénéficie pas au bien-être domestique : alors que le gouvernement domestique supporte la totalité du coût de la subvention, les propriétaires domestiques de l'entreprise domestique ne reçoivent seulement qu'une part r^h de la subvention à travers l'accroissement des profits. Ce terme est négatif puisqu'il tend à décourager l'usage de la subvention. Le dernier membre de l'équation (1.42) est du même signe que le second. Il représente la perte en capital que subissent les actionnaires domestiques détenteurs d'actions dans l'entreprise étrangère. Cette dernière est victime du détournement de rente opéré par le gouvernement domestique via les subventions allouées à la firme locale. Son profit diminue et les actionnaires domestiques comme étrangers reçoivent en retour des dividendes moindres. Le bien-être domestique en est donc réduit.

Le résultat de Dick [1993] est que la subvention optimale est plus faible en présence d'actionnariat international. Welzel [1995] confirme ce résultat dans un cadre plus large : le gouvernement étranger dispose également de l'instrument de politique commerciale que sont les subventions. Ainsi, si seul le gouvernement domestique met en oeuvre une politique commerciale stratégique, le pays étranger souffre d'une perte de bien-être provenant de la réduction

des ventes et du prix, alors que la situation du pays tiers se voit améliorée. Si les deux gouvernements sont actifs, les biens-être de ces deux nations sont inférieurs au cas sans politique (situation du dilemme du prisonnier).

Huck et Konrad [2003] confortent les analyses de Dick [1993] et Welzel [1995] tout en reprenant la même structure de modèle et en supposant le nombre de firmes et de pays égal à n : les subventions optimales sont inférieures en présence de propriété internationale. De plus, ils mettent en évidence qu'il serait préférable que les firmes nationales soient complètement détenues par des acteurs nationaux, car des subventions nationales ont plus d'impact sur le bien-être domestique que celles mises en place par l'étranger.

1.3.7.2 Subventions ciblées

Krishna, Roy et Thursby [2001] examinent les possibilités d'accroissement de la concurrence à l'aide de mesures promouvant la pénétration du marché national. Ils mettent l'accent sur les subventions payées lorsque les objectifs de pénétration du marché sont atteints et ainsi prouvent que de telles pratiques peuvent accroître le niveau de production par rapport à celui de libre-échange, tant que le bon ensemble de firmes est ciblé.

Les auteurs ont choisi un modèle dans lequel la concurrence s'exerce entre des firmes américaines et japonaises sur le marché japonais. Le gouvernement nippon garantit une certaine part du marché au bien final des Etats-Unis. C'est un modèle de type Cournot avec un grand nombre de firmes produisant un bien homogène. Certaines entreprises sont ciblées par la politique interventionniste du Japon et reçoivent une récompense monétaire proportionnelle à leur part de marché individuelle si la pénétration exigée du marché est atteinte : le Japon fixe un niveau de part de marché que doivent satisfaire les firmes américaines ou nipponnes ; si l'objectif est atteint, quelques entreprises se voient attribuer une subvention.

Le gouvernement japonais joue en premier et annonce les dépenses totales en subventions (les plus petites que supporte l'équilibre de Nash en quantités) et les entreprises ciblées (américaines ou japonaises). Puis n^h firmes japonaises

et n^f américaines se concurrencent en quantités sur un marché nippon spécifique. Les subventions sont versées une fois le marché liquidé, seulement si les parts de marchés agrégées japonaises (américaines) satisfont le niveau minimum spécifié par le gouvernement. La fonction de profit d'une firme américaine est donné par :

$$\pi_k = \left[p \left(\sum_{i=1}^{n^h} x_i^h + \sum_{j=1}^{n^f} x_j^f \right) - c^f \right] x_k^f + \left(\frac{x_k^f}{\sum_{j=1}^{n^f} x_j^f} \right) S \quad (1.43)$$

avec S la subvention totale versée par le gouvernement et π_k le profit d'une entreprise américaine représentative.

Krishna, Roy et Thursby montrent dans ce modèle, en se focalisant sur des subventions versées seulement si la part de marché ciblée est atteinte, que des subventions apportées aux entreprises étrangères peuvent augmenter la production agrégée par rapport à une situation de libre-échange en choisissant le juste ensemble de firmes visées. La subvention conduit les entreprises américaines à produire plus dès lors que la meilleure réponse de la firme japonaise est inchangée. Les biens étant des substituts stratégiques, l'équilibre induit une production agrégée plus importante puisque l'augmentation de la production américaine fait plus que compenser la diminution de la production nipponne. L'effet de la subvention est donc positif. Pourtant, lorsque nous nous attardons sur le cas des subventions accordées aux entreprises japonaises, le résultat obtenu est inverse. En comparaison, si les firmes japonaises sont ciblées par le programme de subvention, elles ont une incitation à diminuer leur production. La raison est que la firme japonaise obtient l'aide seulement si la pénétration du marché est atteinte ce qui nécessite une contraction de la production japonaise, la production américaine étant inchangée. Les subventions ont donc ici un effet positif si elles ciblent les firmes étrangères.

1.3.7.3 Protection des importations comme encouragement aux exportations

Deux firmes vendent sur de nombreux marchés un seul produit. Les marchés sont segmentés. Chaque firme maximise son profit en quantité, séparément pour chaque marché. Le coût marginal est une fonction décroissante de la production cumulée : les entreprises jouissent de l'effet d'apprentissage. Ce sont sous ces conditions que Krugman [1984] étudie l'impact de l'imposition d'une taxe à l'importation sur le marché domestique. Il démontre que cette dernière détourne l'équilibre sur le marché domestique : augmentation des ventes de la firme à qui le protectionnisme bénéficie et baisse des ventes étrangères. Ceci diminue le coût marginal national et, à l'inverse, accroît celui du concurrent. L'équilibre sur tous les autres marchés est donc dévié à la faveur de la firme domestique.

Avec effet d'apprentissage, Krugman [1984] prouve qu'une taxation des importations agit comme une aide aux exportations de l'entreprise protégée. Cependant, les résultats de Krugman rencontrent des problèmes : la politique paraît bonne pour la firme domestique, mais pas pour les consommateurs à cause d'une hausse des prix (l'effet final est incertain). De plus, d'autres instruments, comme les subventions, peuvent mener au même résultat sans pour autant créer de conséquences aussi nuisibles.

Zhang et Zhang [1998] tentent de remédier à ces lacunes. Ils se proposent de comparer les résultats avec taxation ou avec subvention. Avec des fonctions de revenus et de coûts de transport, les fonctions de profit s'écrivent (l'indice i représente les i marchés du modèle) :

$$\begin{aligned}\pi^h(x^h, x^f; t^h) &= \sum_i R_i^h(x_i^h, x_i^f) - C^h \sum_i(x_i^h) - \sum_i k_i^h x_i^h \\ \pi^f(x^h, x^f; t^h) &= \sum_i R_i^f(x_i^h, x_i^f) - C^f \sum_i(x_i^f) - \sum_i k_i^f x_i^f - t^h x_1^f\end{aligned}\tag{1.44}$$

avec $t^h x_1^f$ la taxe payée par l'entreprise f pour vendre sur le marché 1. Les auteurs notent que l'utilisation de taxes à l'importation est nuisible, car les

distorsions domestiques sont aggravées. Le doute sur une partie des résultats de Krugman [1984] est levé.

Quand deux pays ont la possibilité de mettre en œuvre cette politique, les effets sont dévastateurs : le duopole est renforcé, les prix augmentent considérablement et donc les surplus des consommateurs sont plus faibles. Le libre-échange est largement conseillé.

Lorsque l'Etat domestique décide seul de subventionner son entreprise, l'aide octroyée a une conséquence identique à celle d'une taxe : la subvention détourne les rentes de l'entreprise étrangère sur la totalité des marchés, mais la production et donc la consommation sont en hausse (le prix diminue sur l'ensemble des marchés). Mieux encore, les biens-être domestique et étranger sont améliorés si les coûts de transport sont faibles. Pourtant, une réduction des subventions bilatérales est cautionnée, car avec interventions bilatérales, les gouvernements sur-subventionnent.

Zhang et Zhang [1998] ont approfondi le modèle de Krugman [1984] qui montre qu'une taxation des importations permet une amélioration des exportations en présence d'effet d'apprentissage.

1.3.7.4 Les enjeux du lobbying

L'article, auquel nous faisons référence, Moore et Suranovic [1993], combine deux pans de la littérature économique : la politique commerciale stratégique et le lobbying. Ce modèle étend la structure de Brander et Spencer [1985] tout en gardant les mêmes hypothèses de base : marché tiers, jeu à la Cournot, etc. Deux firmes, en concurrence imparfaite, peuvent investir dans des groupes de pression afin d'obtenir des subventions à l'exportation en plus grand nombre. La fonction objectif du gouvernement s'écrit de la manière suivante :

$$\begin{aligned}
 W^h(s^h) &= \pi^h(x^h, x^f, L^h; s^h) - S^h x^h \\
 W^h(s^h) &= p(x^h + x^f)x^h - c^h(x^h) + (s^h + \sigma^h(L^h))x^h - l^h L^h - (s^h + \sigma^h(L^h))x^h
 \end{aligned}
 \tag{1.45}$$

où l^h est le taux de paiement de l'utilisation des ressources en lobbying

L^h , s^h la subvention initiale (celle qu'aurait fournie le gouvernement sans lobbying) et $\sigma^h(L^h)$ la composante de la subvention totale affectée par l'activité en lobbying de la firme. La subvention totale du gouvernement s'élève alors à $S^h = s^h + \sigma^h(L^h)$.

De cette modélisation, les auteurs en déduisent trois conclusions :

- La prise en compte des coûts du lobbying dans la fonction de bien-être nationale n'implique pas forcément que le gouvernement soit incité à fournir une subvention. En effet, si le coût du lobbying s'avère supérieur aux gains que l'entreprise pourrait tirer de cette activité, le gouvernement n'a pas intérêt à fournir de subvention.

- Même si une subvention positive existe, un gouvernement anticipant correctement les impacts du lobbying, établit une subvention (s^h) plus faible à la première étape. A la seconde, où les pressions de la firme sont exercées, est rétablit la subvention au niveau souhaité par les pouvoirs publics. Dans cette situation, nous remarquons que le bien-être est affaibli par l'activité de lobbying par rapport à une situation sans lobbying.

- Inversement, un gouvernement qui ne prend pas en compte le lobbying de l'entreprise, fixe une subvention supérieure ou inférieure à son niveau d'équilibre précédent. Cette condition est encore sous-optimale.

Moore et Suranovic [1993] démontrent que la présence du lobbying diminue l'efficacité de la subvention. Les deux distorsions que sont la concurrence imparfaite et le lobbying ne peuvent être corrigées par un seul instrument de politique commerciale.

A la différence de Moore et Suranovic [1993] qui utilisent une fonction de lobby générale dans laquelle la mise en place des groupes de pression est coûteuse, Fun et Lin [2000] supposent que les actionnaires des deux entreprises (l'une exportatrice et l'autre produisant pour le marché national) et ceux détenant une partie des facteurs de production peuvent influencer la stratégie du gouvernement domestique. Ce dernier peut mettre en place des subventions aux exportations et/ou une taxe aux importations. Il existe deux marchés : le premier d'importations, le second d'exportations. Les pressions exercées pour

les subventions aux exportations et celles émises pour la taxe aux importations sont indépendantes. Fun et Lin [2000] estiment que l'équilibre avec des subventions aux exportations est le même qu'il y ait ou non du lobbying. Il n'existe pas de distorsion sur les exportations occasionnées par les lobbies, car la subvention ne crée pas de perte au surplus des consommateurs du pays domestique. Inversement, les taxes sont supérieures en présence de lobby. Elles sont d'autant plus grandes que la perte des consommateurs est sous-estimée. En outre, cet article s'attache à souligner la possibilité qu'a le lobbying à restaurer le niveau d'intervention à un niveau plus efficace en absence de dirigeant bienveillant. Bien que la structure du modèle ne soit pas identique à celle de Moore et Suranovic [1993], les conclusions sont proches : le lobbying n'augmente pas le bien-être sauf dans le cas où le gouvernement n'est pas bienveillant (c'est-à-dire s'il regarde uniquement les contributions).

La politique commerciale stratégique a permis une réflexion quant aux effets d'instruments économiques sur les échanges mondiaux. De nombreux marchés sont en situation oligopolistique. La libéralisation progressive du secteur tertiaire tend à renforcer cette tendance. Nous pouvons constater, à l'heure actuelle, que des alliances, fusions ou OPA se réalisent pour faire face à une concurrence accrue dans l'Union Européenne. Les Etats sont donc toujours tentés de profiter des distorsions présentes sur les marchés oligopolistiques afin d'en faire bénéficier les entreprises nationales, ceci d'autant plus que les marchés sont concentrés¹⁶. Nous avons insisté sur les subventions, mais d'autres instruments aux mains des autorités permettent d'exercer des politiques stratégiques. Les instruments environnementaux ne sont pas protégés de ces manipulations. Dans le chapitre suivant, nous discutons de la politique environnementale stratégique qui mêle politique commerciale stratégique et économie environnementale.

¹⁶Les subventions sont plus efficaces plus les marchés sont concentrés. Voir Dixit [1988].

Chapitre 2

Politique environnementale stratégique

2.1 Externalités environnementales et concurrence imparfaite : deux distorsions pour la politique commerciale stratégique

Le GATT puis l'OMC, le FMI et la Banque Mondiale, pour les organisations les plus importantes, ont vanté et proclament encore les bienfaits d'une libéralisation totale de l'économie. La prolifération des accords régionaux tels l'Union Européenne, l'ALENA et tant d'autres, appuie avec plus ou moins de conviction cette idéologie. En effet, le régionalisme est parfois critiqué comme étant une entrave à la libéralisation totale des échanges. La formation de blocs régionaux n'offre qu'une libéralisation insuffisante. Celle-ci peut conduire à des situations dans lesquelles une protection partielle est préférable. Néanmoins, depuis la fin de la seconde guerre mondiale, une ouverture croissante aux échanges s'est opérée et le commerce mondial a cru dans de grandes proportions. La libéralisation économique est adoptée même si elle ne demeure pas totale.

Grâce à l'OMC, les subventions aux exportations ont été interdites et ont disparu. Cependant, les Etats n'apprécient guère cette impossibilité de pro-

mouvoir les entreprises nationales. En parallèle naissent de nouvelles préoccupations : l'environnement souffrirait de l'accroissement de la libéralisation commerciale. En effet, cette dernière accroît les échanges. La consommation, la production et le transport des biens augmentent. La croissance est en hausse. Mais, le système productif mondial génère une pollution conséquente et la libéralisation ne joue pas en faveur d'un environnement plus sain. De nombreux Etats se préoccupent aujourd'hui des conséquences de la dégradation de l'environnement. Cependant, à court terme, nous constatons que des gouvernements se contentent du peu d'accords en vigueur. Signés ou non, de manière à favoriser leur économie, des Etats dérogent aux règles des accords environnementaux. Par exemple, les Etats-Unis n'ont toujours pas ratifié le Protocole de Kyoto qui vise à réduire, entre autres, les gaz à effets de serre : leur industrie émet 25% des émissions mondiales de gaz à effet de serre (ce qui fait de cette nation, de loin, la plus polluante au monde) et le président actuel tolère un accroissement de celles-ci jusqu'à 33%. La désobéissance aux obligations environnementales (par exemple, le droit aux générations futures) est de nature stratégique. Le but est que, à court terme, l'industrie polluante bénéficie d'un avantage stratégique. Les entreprises jouissent d'une subvention indirecte à la production et deviennent plus compétitives. Cette attitude qui consiste à privilégier le commerce et/ou le lobbying à l'environnement est baptisée « dumping écologique ».

L'analyse de l'utilisation de la politique environnementale comme instrument de stratégie commerciale s'est développée dans les années 1990. Conrad [1993a et 1993b], Ulph [1992], Barrett [1994], Kennedy [1994] et Rausher [1994] sont les premiers auteurs à avoir développé ces modèles de politique environnementale stratégique. Leurs études et les recherches postérieures à la parution de ces articles font l'objet de ce chapitre.

La pollution est une externalité négative et nuit non seulement au bien-être national, mais aussi au bien-être mondial. Afin de mieux saisir la portée de l'association de l'économie environnementale avec la politique commerciale stratégique, nous analysons tout d'abord, un modèle simple (Bouët [1992]). Ce

papier reprend l'article de Brander et Spencer [1985] et y inclut une externalité. Dans un second temps, nous nous attachons aux développements de la politique environnementale stratégique. Cette section se subdivise en trois : nous définissons tout d'abord la politique environnementale stratégique, puis nous l'analysons en présence de taxes et nous la développons lorsque des marchés de permis négociables sont mis en place.

2.2 Politique commerciale stratégique et externalités

Bouët [1992] propose l'adjonction d'externalités à la politique commerciale stratégique. En effet, une subvention gouvernementale peut ne pas être utilisée dans le seul but d'accroître les profits excédentaires de la firme nationale : lorsqu'un secteur dégage des externalités positives, l'intervention publique peut s'avérer pertinente si une grande partie de l'économie en bénéficie. Quand il existe de telles externalités, les entreprises les produisent spontanément à un niveau socialement sous-optimal, car elles ne s'approprient pas la totalité des bénéfices de cette activité. En présence d'oligopole, les gouvernements sont donc incités à intervenir pour une double raison : l'augmentation du revenu de la firme nationale grâce au détournement de rentes et l'appropriation des profits excédentaires dus aux externalités positives. En reprenant le modèle de Brander et Spencer [1985], Bouët retrouve l'intérêt unilatéral à subventionner et démontre que le montant de la subvention est plus important en présence d'externalités. De plus, si les deux pays encouragent leurs firmes nationales, l'équilibre qui résulte est meilleur que la situation de libre-échange (ce qui n'est pas le cas chez Brander et Spencer [1985]), mais n'est pas Pareto-optimal. L'incitation au détournement de rentes jouant un rôle prépondérant, son effet sur le bien-être devient nuisible lorsque les subventions sont trop élevées. Une réduction des subventions est présagée sans pour autant devenir des taxes.

En plus des hypothèses de Brander et Spencer [1985], la firme nationale et la firme étrangère engendrent les externalités H^h et H^f en produisant respectivement les quantités x^h et x^f respectivement. Les propriétés de H^h sont données par : $H_{x^h}^h > 0$, $H_{x^f}^h > 0$, $H_{x^h x^h}^h < 0$, $H_{x^h x^f}^h < 0$, $H_{x^h}^h > H_{x^f}^h > 0$. Les externalités f sont symétriques.

Ainsi, les fonctions de bien-être s'écrivent :

$$\begin{aligned} W^h &= \pi^h(x^h, x^f, s^h) - s^h x^h + H^h(x^h, x^f) \\ W^f &= \pi^f(x^h, x^f, s^f) - s^f x^f + H^f(x^h, x^f) \end{aligned} \quad (2.1)$$

En maximisant la fonction de bien-être, il résulte qu'un accroissement de la production entraîne toujours une hausse des externalités perçues par les deux économies. Cependant, cet effet est de moins en moins important, car le rendement des externalités est décroissant : $H_{x^h x^h}^h < 0$. De plus, il est supposé que l'influence de l'externalité f sur l'économie domestique est plus faible que celle de l'externalité h . Les subventions optimales sont données par :

$$\begin{aligned} s^h &= \frac{x^h p' x_{s^h}^f}{x_{s^h}^h} + \frac{H_{x^h x^h}^h x_{s^h}^h + H_{x^f x^h}^h x_{s^h}^f}{x_{s^h}^h} \\ s^f &= \frac{x^f p' x_{s^f}^h}{x_{s^f}^f} + \frac{H_{x^f x^f}^f x_{s^f}^f + H_{x^h x^f}^f x_{s^f}^h}{x_{s^f}^f} \end{aligned} \quad (2.2)$$

Le premier terme de (2.2) est la subvention optimale obtenue chez Brander et Spencer [1985]. Le second est positif compte tenu des hypothèses posées : il représente l'effet positif des externalités sur le bien-être lorsque les autorités subventionnent. Il en est de même pour s^f . s^h et s^f sont donc plus élevés que lorsqu'il n'y a pas d'externalité. La figure 2.1¹ montre que l'équilibre en subventions (N) est préféré unanimement au laisser-faire (représenté au point O). Les subventions ont pour effet de déplacer les courbes de bien-être national et étranger vers des situations meilleures puisque les entreprises produisent des externalités positives.

Toutefois, qu'en est-il lorsque les externalités sont négatives ? Comment le régulateur peut-il corriger ces distorsions ?

¹Source : Bouët [1998]

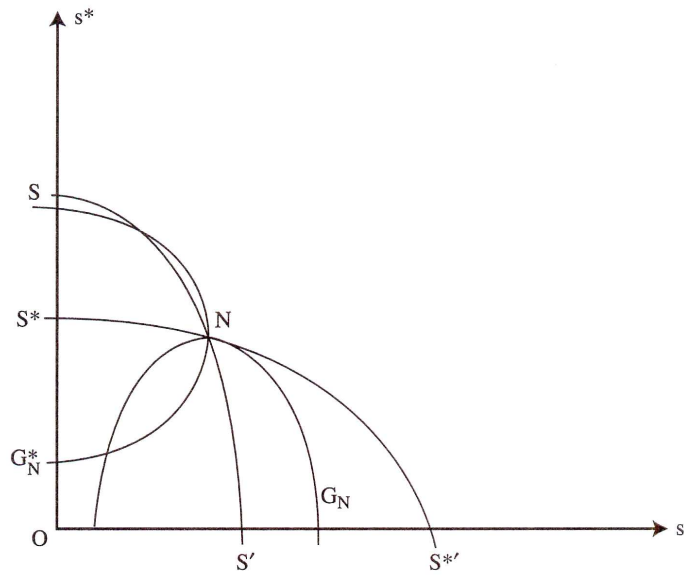


Figure 2.1 : Equilibre en subventions avec externalités positives

2.3 La politique environnementale stratégique

Les régulateurs cherchent à tirer profit des situations oligopolistiques sur les marchés des produits à l'aide d'instruments commerciaux ou environnementaux. On parle alors de politique commerciale stratégique ou de politique environnementale stratégique. La politique commerciale stratégique ayant fait l'objet du chapitre 1, nous définissons la politique environnementale stratégique puis nous faisons une synthèse des développements théoriques de ce domaine.

2.3.1 Définition

D'après Barrett [1994], la politique environnementale stratégique caractérise une situation dans laquelle un gouvernement utilise des instruments de politique environnementale peu contraignants afin de soutenir les firmes locales sur les marchés internationaux et d'essayer d'améliorer le bien-être domestique. Par exemple, diminuer les taxes aux émissions ou accroître le plafond d'émission de pollution permettent aux firmes de vendre leurs produits sur des marchés internationaux à des prix relativement faibles ce qui peut accroître le bien-être, si l'augmentation des dommages due à l'accroissement de pollution reste compensée par les hausses des profits des entreprises. Le terme de politique environnementale stratégique fait référence aux instruments de politiques environnementales utilisés pour détourner de rentes commerciales.

Les gouvernements qui utilisent stratégiquement un ou plusieurs instruments environnementaux font du dumping écologique. Nous pouvons définir le dumping écologique de deux manières (cf. Rauscher [1991]) :

- Premièrement, pratiquent le dumping écologique, les pays qui fixent des normes environnementales inférieures à ce que préconisent la règle Pigouvienne, c'est-à-dire lorsque le coût marginal des réductions d'émission est en-dessous du coût marginal des dommages occasionnés par la pollution. Pigou [1920] préconise la solution fiscale, une taxe, pour résoudre la question des déséconomies externes telle la pollution. Cette possibilité permet de réintroduire

dans le système de prix, le coût marginal social associé à la nuisance environnementale. La taxe pigouvienne est égale à la différence entre le prix de marché et le coût marginal social. Cette approche est au fondement même du principe pollueur-payeur préconisé par l'OCDE. De plus, cette taxe est efficace, car elle conduit à l'obtention d'un niveau de pollution qui égalise les coûts marginaux d'abattements avec le dommage marginal de l'économie. Elle permet donc d'obtenir la quantité de pollution socialement efficace. Ce raisonnement est réalisé en information parfaite.

- Deuxièmement, si un groupe de pays agit séparément et si chaque nation choisit une politique environnementale plus laxiste que la coopération ne l'exigerait, il y a dumping écologique.

En instituant une réglementation environnementale moins stricte par rapport aux autres nations, un régulateur réduit le coût de production des firmes domestiques, car les efforts de réduction de la pollution nécessaires sont diminués. Afin de lutter contre ce comportement de passager clandestin (l'état qui pratique le dumping écologique profite de la diminution mondiale de la pollution tout en réalisant peu ou pas d'efforts), il paraît souhaitable d'harmoniser, si possible parfaitement, les politiques environnementales, de sorte que tous les pays appliquent les mêmes normes. Or, nous notons deux objections à l'harmonisation² :

- S'il était possible d'égaliser les prix des facteurs (ce qu'il faudrait pour appliquer des normes identiques et que ce soit efficace), les prix implicites des ressources environnementales seraient identiques entre les pays en présence d'échanges et les différences des taxes aux émissions n'existeraient pas. Ainsi, pour détecter les activités de dumping écologique, il suffirait de comparer les prix d'autarcie.

- La seconde critique est plus importante. Postuler que tous les pays utilisent le même niveau de régulation environnementale n'a pas de sens puisque les dotations ne sont pas réparties de manière symétrique à travers le monde.

De nombreuses questions se posent quant à l'application d'une régulation

²Source : Rauscher [1991]

environnementale fiable : faut-il harmoniser ou développer des mécanismes faisant payer une taxe en fonction de ses émissions ? La politique environnementale stratégique permet de comprendre les incitations qui poussent les gouvernements à favoriser, à court terme, leur économie au détriment de l'environnement qui se dégrade sur le long terme.

2.3.2 Politique environnementale stratégique et taxes

2.3.2.1 Les modèles de base

En s'appuyant sur la structure du modèle de Brander et Spencer [1985], Conrad [1993a], Barrett [1994], Kennedy [1994] et Ulph [1996]³ ont construit les fondements de la politique environnementale stratégique. L'ensemble de ces modèles, mis à part Kennedy [1994], reprend les hypothèses classiques de l'article de référence : deux pays dans lesquels sont localisés une firme se servent de leur instrument de politique environnementale afin d'améliorer le bien-être national ; les entreprises se concurrencent en quantité pour la vente d'un bien homogène sur un marché tiers. Les gouvernements ne sont pas autorisés à mettre en œuvre des politiques commerciales, mais seulement des mesures environnementales : taxes aux émissions⁴ et normes de pollution sont les seuls instruments à disposition des Etats.

Ainsi, on appelle e les émissions émises par la production du bien x , a le niveau des abattements ou de réduction d'émission, c'est-à-dire la quantité d'effort fourni par l'entreprise pour diminuer la pollution, $A(a)$ la fonction de coût des abattements, $D(e)$ la fonction des dommages environnementaux et $c(x)$ la fonction du coût de production du bien x . Dans un premier temps, nous considérons que la pollution est locale, elle n'est pas transfrontalière. Le séquençage du jeu est le suivant : les gouvernements fixent les niveaux de leurs

³Le premier article de Ulph concernant la politique environnementale stratégique date de 1992. Cependant, dans ce document, l'auteur ne se préoccupe que du comportement stratégique des firmes et pas de celui du gouvernement. Par comportement stratégique, Ulph [1992] entend que les entreprises font de la recherche et développement afin de diminuer la pollution émise par leur système de production. Nous reviendrons sur cet apport par la suite.

⁴Nous rappelons que les taxes sont des subventions négatives.

interventions puis les firmes, connaissant les choix des régulateurs, s'engagent dans une concurrence à la Cournot. Les hypothèses posées, le profit de la firme et le bien-être domestiques s'écrivent :

$$\begin{aligned}\pi^h(x^h, x^f, a^h; t^h) &= x^h p(x^h, x^f) - c^h(x^h) - A^h(a^h) - t^h e^h \\ W^h(t^h, t^f) &= \pi(x^h, x^f, t^h) + t^h e^h - D^h(e^h)\end{aligned}\tag{2.3}$$

avec $e^h = x^h - a^h$, les émissions domestiques. Les conditions de premier ordre sont déduites de la fonction de profit de h :

$$\begin{aligned}\frac{\partial \pi^h}{\partial x^h}(x^h, x^f, a^h; t^h) &= x^h p' + p - c_{x^h}^h - t^h = 0 \\ \frac{\partial \pi^h}{\partial a^h}(x^h, x^f, a^h; t^h) &= -A_{a^h}^h + t^h = 0\end{aligned}$$

La fonction de réaction de la firme domestique réagit négativement à la mise en place d'une taxe puisque sa production diminue quelles que soient les quantités produites par l'entreprise rivale. A l'inverse, les quantités produites par la firme h sont une fonction croissante de la taxe f . Les ventes étrangères sur le marché tiers sont restreintes ce qui laisse plus de parts de marché disponibles pour la firme domestique. Les entreprises étant symétriques, les firmes f adoptent une posture similaire.

Le comportement des ces firmes et l'imperfection de la concurrence sur le marché des produits se traduisent par une incitation des gouvernements à diminuer la taxe – par rapport à la taxe pigouvienne – dans le but de donner un avantage en termes de coût de production à la firme protégée. Les dirigeants relâchent leur politique environnementale pour détourner la rente commerciale de la firme étrangère. Ceci a pour conséquence un déplacement des fonctions de réaction : les quantités totales produites sont plus grandes, le prix mondial diminue et la pollution s'accroît.

A l'équilibre, lorsqu'un seul gouvernement met en place une taxe aux émissions, la hausse du profit de h (bien que le prix du bien baisse, cet effet est

compensé par l'augmentation des quantités produites : la firme f réagit à l'accroissement de x^h en diminuant sa production) et les recettes supplémentaires de la taxe compensent la hausse des dommages environnementaux. Cette politique environnementale peu rigoureuse permet au bien-être du pays h d'augmenter. Quand les deux gouvernements taxent les émissions, ils adoptent également une conduite laxiste en matière de régulation environnementale. Accroître les parts de marchés de l'entreprise locale par une diminution de la taxe est une stratégie dominante. Toutefois, comme les nations sont symétriques, la diminution des taxes est égale et donc les parts de marché sont réparties de manière égales entre les entreprises. L'effet net des croyances des autorités mène à une production plus grande de chacune des firmes d'où une réduction des profits et à un environnement dégradé. Le bien-être des deux nations s'est considérablement détérioré. Nous retrouvons la situation mise en évidence par Brander et Spencer [1985] lorsque deux pays interviennent : le dilemme du prisonnier.

La taxe environnementale est détournée de son but premier qui est de corriger les distorsions issues de la pollution. Cette taxe se transforme partiellement en un instrument de politique commerciale qui demeure moins efficace qu'une subvention aux exportations. Par comparaison avec la politique commerciale stratégique, le même problème de dilemme du prisonnier réapparaît lorsque deux gouvernements interviennent. La situation est même pire, car deux distorsions sont présentes sur le marché : la concurrence imparfaite et la pollution occasionnée par le processus de production.

Conrad [1993a] intègre le problème de la pollution dans le prix de l'input puisqu'il suppose que le facteur de production engendre des dommages environnementaux. En appelant $q(t)$ le prix de ce facteur (la taxe à la pollution est incluse dans $q(t)$), Conrad [1993a] définit :

$$q(t) = q_0 + A(a) \times a \times l + t((1 - a) \times l)$$

avec q_0 le prix de base de l'input et l un coefficient d'émission du facteur tel que le nombre de tonnes de dioxyde de soufre par tonne de facteur. Le profit

de la firme et la fonction de bien-être sont spécifiés par :

$$\begin{aligned}\pi^h(x^h, x^f, t^h) &= x^h p(x^h, x^f) - c^h(x^h, q^h(t^h)) \\ W^h &= \pi^h(x^h, x^f, t^h) + t^h(1 - a^h) \times l \times v^h - D^h(e^h)\end{aligned}\tag{2.4}$$

avec v^h la quantité de facteur polluant et $D^h(e^h)$ la fonction de dommages environnementaux globaux.

Cette modélisation particulière ne change pas les résultats précédents : l'équilibre non coopératif se reproduit parce que les gouvernements choisissent encore leur taxe en fonction de celle de l'autre. La taxe est fixée à un niveau inférieur aux dommages marginaux, la recherche de rente étant toujours présente dans le calcul de la taxe.

On observe à nouveau les incitations à diminuer les contraintes environnementales chez Barrett [1994]. L'auteur analyse les normes plutôt que les taxes environnementales. Il compare différentes situations dans lesquelles le nombre de firmes par pays varie de une à quelques unes, c'est-à-dire d'un monopole à un oligopole géographique. Quel que soit ce nombre de firmes, le gouvernement est encouragé à aider ses firmes en allégeant les politiques environnementales. Toutefois, l'incitation diminue quand le nombre de firmes locales augmente.

Les auteurs que nous étudions dans ce chapitre comparent régulièrement les normes aux taxes environnementales, c'est pourquoi nous avons exposé le résultat principal de Barrett [1994]. On peut conclure de cette comparaison que les taxes sont plus efficaces que les normes. Ceci s'explique par le fait que les taxes sont un instrument économique tandis que les normes sont un instrument réglementaire. Les taxes sont donc à privilégier par les régulateurs. Néanmoins, Ulph [1992] obtient un meilleur résultat avec des normes qu'avec des taxes. Ce résultat est dû à sa modélisation particulière : Ulph [1992] attache plus de poids aux profits des producteurs qu'au surplus des consommateurs.

Kennedy [1994] complexifie la modélisation de la politique environnementale stratégique en ajoutant des hypothèses plus réalistes. Premièrement, la consommation est rendue possible dans les pays producteurs. Outre le détour-

nement de rente, les gouvernements ont un argument de plus pour relâcher la taxation : le surplus des consommateurs est décroissant avec la vente du bien et les consommateurs ne sont pas affectés par la pollution. Deuxièmement, la pollution est transfrontalière. Le degré de pollution internationale s'exprime par α , $0 < \alpha < 1$. Si $\alpha = 0$, alors la pollution est entièrement locale. En revanche, si $\alpha = 1$, la pollution engendrée dans un pays nuit, dans son intégralité, aux autres pays⁵. Enfin, l'auteur considère n firmes par pays. Le profit de la firme représentative h et la fonction de bien-être de h s'écrivent :

$$\pi_i \left(nx_i^h, nx_i^f; t^h \right) = p(X_i) x_i^h + p(X_{-i}) x_i^f - a_i \left(x_i^h + x_i^f \right) - t_i \left(\frac{x_i^h + x_i^f}{a_i} \right) \quad (2.5)$$

$$\begin{aligned} W_i(t_i) &= SC_i + n\pi_i \left(nx_i^h, nx_i^f; t^h \right) + nt_i \left(\frac{x_i^h + x_i^f}{a_i} \right) - D_i(e_i, e_{-i}) \quad (2.6) \\ W_i(t_i) &= SC_i + n\pi_i \left(nx_i^h, nx_i^f; t^h \right) + nt_i \left(\frac{x_i^h + x_i^f}{a_i} \right) \\ &\quad - n \left(\frac{x_i^h + x_i^f}{a_i} + \alpha \frac{x_{-i}^h + x_{-i}^f}{a_{-i}} \right) \end{aligned}$$

où X_i représente les ventes totales dans le pays i , $i = h, f$, x_i^h est la quantité de la firme représentative vendue dans le pays h , x_i^f ses ventes sur le marché étranger. Le bien-être du pays i est la somme du surplus des consommateurs, des profits des entreprises i et des recettes de la taxe environnementale moins les dommages causés par la pollution. La fonction d'émission n'est plus linéaire (voir condition (2.3)). Les émissions sont une fonction croissante de la production et décroissante des abattements. L'efficacité des réductions d'émission est décroissante. De plus, comme la pollution est transfrontalière, les dommages environnementaux dépendent à la fois des émissions locales et des émissions

⁵Pour les valeurs $0 < \alpha < 1$, la pollution s'exporte plus ou moins (par exemple, une usine pollue la rivière avoisinante, ce qui peut avoir des conséquences uniquement locales, et rejette du gaz carbonique qui contribue à l'effet de serre et perturbe l'écosystème de la planète).

étrangères. Toutefois, les dommages générés par l'autre pays sont fonction du degré de pollution internationale.

Cette modélisation n'altère pas profondément les résultats au sens où la taxe d'équilibre est fixée à un niveau inférieur aux dommages marginaux. L'effet de détournement de rentes est toujours présent. Il existe même deux effets supplémentaires qui poussent le régulateur à établir une taxe plus faible. Le premier est dû à un effet sur les consommateurs : si les taxes environnementales diminuent, la production augmente et donc le prix de marché baisse ce qui est bénéfique aux ménages. Le second effet concerne le degré de pollution. Ce degré de pollution a son importance dans le choix de la politique environnementale. Il tend à renforcer l'incitation à réduire le poids de la politique environnementale si α est élevé, c'est-à-dire si la pollution est transfrontalière. En effet, si α est proche de 1, un pays a intérêt à diminuer la taxe afin d'attirer les firmes sur son territoire, car il subira les dommages environnementaux quel que soit l'endroit où les firmes sont localisées. Il est donc souhaitable que les entreprises produisent dans leur propre pays : le profit est comptabilisé dans la fonction de bien-être. L'effet est inverse si α est petit. C'est l'effet de détournement de la pollution. Si une hausse de la taxe est observée, les entreprises ne sont pas incitées à installer leurs usines dans ce pays. Les dommages sont plus faibles et les consommateurs locaux bénéficient de la production des entreprises étrangères et de la baisse du prix du bien. Cependant, faire fuir les entreprises polluantes a un coût (les profits diminuent). Ce coût est de moins en moins compensé par un environnement plus sain. Au final, Kennedy [1994] démontre que les gouvernements sont incités à diminuer la taxe environnementale et ainsi à s'engager dans un processus de dumping écologique. Ce phénomène est amplifié avec la pollution transfrontalière.

Conrad [1998] introduit un séquençage du jeu particulier dont il souligne l'importance. L'auteur reprend la structure initiale : deux pays, deux firmes et un marché tiers. Habituellement, les gouvernements choisissent, dans une première étape, leur politique afin de réguler la qualité de l'environnement. Dans un deuxième temps, l'équilibre de Nash s'établit suite au jeu de la concur-

rence entre entreprises. Conrad [1998] stipule qu'un tel timing conduit à une situation de dumping écologique parce que les résultats recommandent que les instruments de politiques environnementales soient ajustés à la baisse pour prévenir le déclin de la production domestique et l'accroissement des profits du pays compétiteur. En revanche, si les firmes anticipent l'introduction de taxes aux émissions, elles peuvent produire en quantité plus faible le bien polluant et s'engager dans les activités d'abattements plus activement. Ce phénomène traduit une approche volontaire de la part des entreprises. Ainsi, comme la taxe augmente lorsque la production du bien polluant augmente, les firmes agissent stratégiquement en produisant des quantités moindres à celles qui résulteraient dans le timing classique. Les firmes coopèrent en annonçant ou en choisissant des hauts degrés de réduction d'émission, lesquels sont suivis de diminution de la production. Elles adoptent ce comportement, car elles anticipent la récompense de leur effort de dépollution qui se traduit par des taxes plus faibles.

Que ce soit à travers les normes ou les taxes, les gouvernements, s'ils établissent leur politique avant que les firmes ne se concurrencent, poursuivent une politique commerciale stratégique à l'aide d'instruments environnementaux.

2.3.2.2 Coopération internationale

Afin de remédier au dumping écologique, il est souvent proposé de réaliser des accords internationaux. Le protocole de Kyoto en est le plus célèbre exemple.

Du point de vue théorique, des auteurs ont recherché la pertinence de la coopération internationale. Conrad [1993a et 1993b], Kennedy [1994] et Ulph [1997a, 1997b et 1998] comparent le jeu de concurrence imparfaite quand les gouvernements coopèrent au jeu non coopératif. Le résultat principal est qu'il est optimal de taxer les émissions à un niveau supérieur ou égal aux dommages marginaux. Lorsque le bien-être de chaque pays producteur n'est plus maximisé séparément mais conjointement, les gouvernements n'utilisent plus la taxe pour gagner des parts de marché. Ils la réaffectent à la correction de la distorsion

environnementale et s'en servent également pour corriger la distorsion de la concurrence imparfaite. Le bien-être mondial, Ω , est la somme des profits des entreprises h et f et des taxes environnementales h et f collectées à laquelle sont soustraits les dommages dus à la pollution dans les deux pays (le marché tiers sur lequel sont vendus les biens produits n'est pas pris en compte dans Ω). Il est supérieur à celui obtenu dans l'équilibre non coopératif comme le montre la figure 2.2⁶.

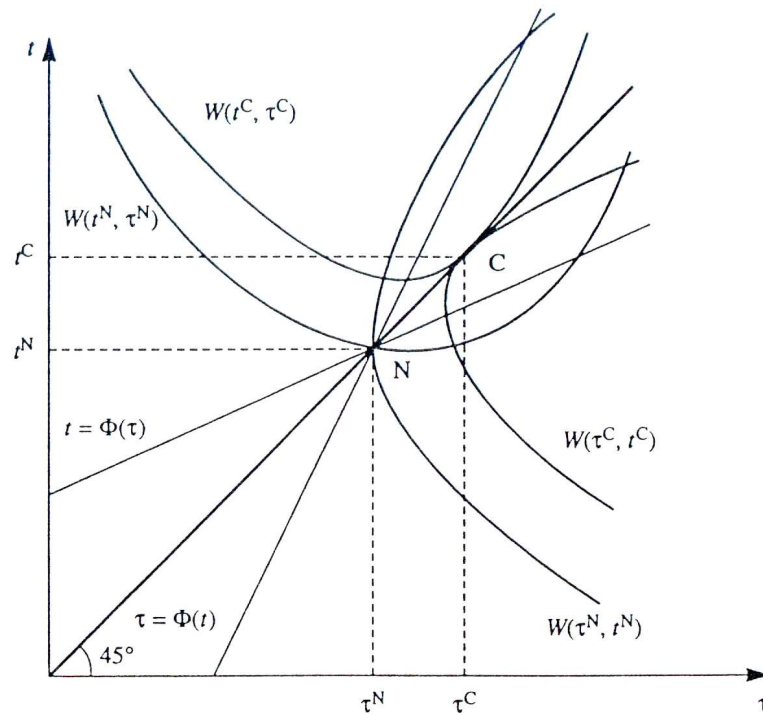


Figure 2.2 : Equilibres coopératif et non-coopératif en présence de taxes à l'émission

Les notations en exposant C et N dénotent l'équilibre coopératif et l'équilibre de Nash non coopératif, tandis que $t = \Phi(\tau)$ et $\tau = \Phi(t)$ représentent les taxes h et f respectivement en fonction de la taxe de l'autre gouvernement. Sur ce graphique 2.2 sont représentées les courbes d'isobien-être et les fonctions de réaction des deux pays. L'équilibre non-coopératif (N) se situe au point d'intersection des fonctions de réaction et où les courbes d'isobien-être

⁶Source : Ulph [1997b]

sont perpendiculaires. Le point où les courbes d'isobien-être sont tangentes marque l'équilibre coopératif. On constate que l'augmentation des taxes environnementales par une politique coopérative est efficace au sens de Pareto.

Cependant, ceci n'est pas toujours vérifiée si l'on peut constater la présence de consommation domestique. Une taxe coopérative trop élevée peut conduire à une forte diminution du surplus des consommateurs. Si la taxe implique une hausse importante des coûts de production, le prix du bien s'élève significativement et donc, le surplus des consommateurs chute. De fait, la coopération n'aboutit pas toujours à une hausse substantielle de la taxe environnementale.

2.3.2.3 Recherche-développement et politique environnementale stratégique

Ulph [1996a]⁷ et Ulph A. et Ulph D. [1996] mesurent les conséquences de la recherche-développement sur les incitations stratégiques des gouvernements.

Tout d'abord, Ulph [1996a] se place à l'intérieur d'un cadre analytique simple (deux pays, deux firmes, un bien homogène et un marché tiers) dans lequel les firmes ont le pouvoir de réaliser de la R&D pour réduire leurs coûts de production. Le jeu est en trois étapes : les gouvernements choisissent la taxe aux émissions qu'ils appliquent, ensuite les entreprises s'engagent dans des activités de R&D puis elles se concurrencent en quantité sur le marché international. De ce jeu est obtenue la fonction de profit suivante :

$$\pi^h(x^h, x^f, t^h) = x^h p(x^h, x^f) - c^h(x^h, z^h) - A^h(a^h) - t^h e^h \quad (2.7)$$

avec $c^h(\cdot)$ la fonction de coût décroissante par rapport à z^h , les investissements en R&D.

Ulph [1996a] retire trois conclusions de ce modèle :

- Permettre aux producteurs d'agir stratégiquement, c'est-à-dire réaliser des investissements en R&D, réduit, mais n'élimine pas les incitations des

⁷Ulph a réalisé d'autres modèles traitant de la R&D notamment Ulph [1992]. Toutefois nous ne les aborderons pas car ces analyses n'envisagent pas une attitude stratégique de la part des gouvernements.

gouvernements à réduire la taxe aux émissions. Ce phénomène résulte de deux effets opposés, le premier l'emportant sur le second : pratiquer de la R&D réduit les coûts de production. Les gouvernements ont moins besoin d'intervenir pour réduire ces coûts, mais, comme une concurrence en R&D s'exerce à la deuxième étape, les gouvernements diminuent les taxes afin d'encourager les entreprises à poursuivre leurs activités en R&D.

- Permettre aux gouvernements d'agir stratégiquement accroît les incitations des entreprises à pratiquer de la R&D.

- Le bien-être est plus faible quand les deux types d'agents agissent stratégiquement que lorsqu'une seule des deux parties se comporte ainsi. Le fait que les firmes fassent de la R&D, crée une nouvelle distorsion dans l'économie.

Les problèmes de la R&D sur le bien-être ont été abordés par Spencer et Brander [1983] qui montrent que le jeu en R&D commande les firmes à surinvestir. Les autorités poussent toujours en ce sens puisque, même amoindri, le dumping écologique est toujours présent : la taxe est inférieure aux dommages marginaux, mais elle supérieure à une situation sans R&D.

Ulph et Ulph [1996] enrichissent le précédent modèle. Ils ajoutent deux hypothèses : la pollution transfrontalière et une seconde R&D. Les firmes peuvent désormais entreprendre des activités de R&D dans le but de diminuer non seulement les coûts de production, mais également les coûts de réduction des émissions. Les auteurs obtiennent les mêmes résultats que ceux de Ulph [1996a] en ce qui concerne la R&D dite classique, mais ils sont dans l'incapacité de lever l'incertitude qui porte sur la R&D environnementale. Tout dépend de la nature de ce type de R&D. Si une augmentation des taxes aboutit à une hausse du coût de production de la firme domestique, c'est une incitation à relâcher les politiques environnementales et ce, d'autant plus que la R&D classique est réduite à cause de l'accroissement de la taxe aux émissions. A l'inverse, si la nature de la fonction de la R&D environnementale est telle qu'une taxe diminue le coût de la firme domestique (c'est-à-dire que la taxe incite l'entreprise à faire de la R&D environnementale et qui se traduit par un gain pour l'entreprise), le durcissement de la politique environnementale est préconisé.

Toutefois, la diminution des coûts implique que l'entreprise réalise davantage de R&D classique. Les coûts sont une nouvelle fois réduits et l'incitation à durcir la taxe aux émissions renforcée.

2.3.2.4 Changement structurel

Dans cette section, nous nous interrogeons sur l'impact du changement du mode de concurrence. Y-a-t'il une différence notable des résultats si les entreprises se concurrencent en prix plutôt qu'en quantités ? La politique commerciale stratégique a été remise en cause, car elle n'était pas robuste aux variations structurelles. En est-il de même ?

Conrad [1994], Barrett [1994] et Ulph [1996b] modélisent l'hypothèse d'une concurrence à la Bertrand. Leur conclusion est similaire à Eaton et Grossman [1986] : avec une concurrence en prix sur le marché des produits, la politique environnementale à mener est un durcissement de la politique environnementale. Avec une concurrence à la Cournot, le résultat est inverse.

A partir des modèles de Conrad [1993a] et de Conrad [1994], nous comparons le changement de la variable stratégique. Le profit et le bien-être domestiques s'écrivent :

$$\begin{aligned} \pi^h(p^h, p^f, t^h) &= x^h(p^h, p^f) p^h - c^h(x^h, q^h(t^h)) \\ W^h &= \pi^h(p^h, p^f, t^h) + t^h(1 - a^h) \times l \times v^h - D^h(e^h) \end{aligned} \quad (2.8)$$

La production réalisée par l'oligopole est supérieure au niveau socialement optimal. Les émissions engendrées par cette activité poussent les gouvernements à taxer fortement les émissions. En concurrence à la Bertrand avec des firmes symétriques, le prix est égal au coût marginal. La production est donc maximale. Le détournement de rentes n'est plus possible. De plus, comme avec une concurrence à la Bertrand les prix sont complémentaires, les prix sont fixés de manière agressive. L'accroissement de la taxe augmente le profit marginal des firmes. La politique est donc durcie et la taxe aux émissions est supérieure aux dommages marginaux.

Conrad [1994] ajoute l'hypothèse de consommateurs nationaux. Le bien-

être qui est ici la somme du surplus des consommateurs, des profits et de la taxe environnementale auquel se soustrait la désutilité de la pollution, s'écrit :

$$W^h = \int_{p^h}^{\bar{p}} x^h(\xi, p^f) d\xi + \pi^h(p^h, p^f, t^h) + t^h(1 - a^h) \times l \times v^h - D^h(e^h) \quad (2.9)$$

En présence de consommation domestique, un effet supplémentaire apparaît. Cet effet s'oppose aux effets qui tendent à accroître la taxe environnementale (effet de détournement de rentes, négatif en concurrence à la Bertrand, et effet de l'externalité). C'est l'effet de perte sèche. Il suggère une taxe inférieure aux dommages marginaux puisque toute élévation des prix pénalise les consommateurs (lesquels ne subissent pas la pollution). Conrad [1994], sans pouvoir le démontrer, estime que l'effet total joue à l'avantage d'une taxe aux émissions supérieure au dommage marginal. Il suggère donc que l'effet des consommateurs est dominé par les deux autres effets.

En reprenant les modèles d'Ulph [1996a] et d'Ulph [1996b], lorsque producteurs et gouvernements agissent stratégiquement, les résultats sont les mêmes que Conrad [1994] : il n'est pas possible d'estimer l'effet total. Quand seuls les gouvernements se comportent stratégiquement, un résultat inverse à l'hypothèse de concurrence à la Cournot est obtenu : les gouvernements durcissent la taxation.

Ces modèles le montrent, la politique environnementale stratégique n'est pas plus robuste aux changements de structure que la politique commerciale stratégique.

2.3.2.5 Multiplicité des instruments et régulation environnementale

Il a déjà été fait mention auparavant de la nécessité d'utiliser un instrument de politique économique par distorsion (voir Barrett [1994] et Kennedy [1994]). Conrad [1993a et 1993b] émet l'hypothèse que les gouvernements puissent, en plus de la taxe environnementale, subventionner les réductions d'émission

opérées par les entreprises ou subventionner le facteur de production polluant.

Lorsque les gouvernements taxent et subventionnent les réductions d'émission, le bien-être est donné par la fonction suivante, avec le prix de l'input qui devient $q^h(t^h) = q_0^h + (A^h(a^h) - s^h) \times a^h \times l + t^h(1 - a^h) \times l$:

$$W^h = \pi^h(x^h, x^f, t^h) + t^h(1 - a^h) \times l \times v^h - s^h \times a^h \times l \times v^h - D^h(e^h) \quad (2.10)$$

L'auteur souligne qu'un tel programme de subvention aux réductions d'émission et de taxes aux émissions accroît le bien-être de chaque nation et l'environnement global par rapport à la situation où seule la taxe peut être appliquée. Les subventions permettent de diminuer la pollution. De plus, elles dévient les fonctions de réaction ce qui alloue des parts de marché supplémentaires à la firme domestique au détriment de l'entreprise étrangère. Les deux distorsions que sont la pollution et la concurrence imparfaite, sont neutralisées par les deux instruments. La taxe seule ne peut y parvenir. Toutefois, en mode coopératif, la politique optimale est de taxer les abattements, car les exportations, amplifiées dans le cas des subventions, exercent une externalité négative sur le revenu de l'autre pays.

Quand les gouvernements taxent et allouent une subvention à l'input, le bien-être est donné par :

$$W^h = \pi^h(x^h, x^f, t^h) + t^h(1 - a^h) \times l \times v^h - \bar{s}^h \times q_0^h \times v^h - D^h(e^h) \quad (2.11)$$

avec $q^h(t^h) = q_0^h(1 - \bar{s}^h) + A^h(a^h) \times a^h \times l + t^h(1 - a^h) \times l$. La subvention au facteur de production est positive. Elle facilite la croissance des exportations et la taxe restaure l'efficacité de la politique environnementale au sens pigouvien. A l'équilibre coopératif, la subvention devient inférieure à 0 afin d'internaliser l'externalité négative créée par les exportations domestiques sur le revenu étranger. Le détournement de rente est supprimé.

Conrad [1993b] ajoute l'hypothèse de consommation locale. Les résultats

précédents ne sont pas altérés lorsque les gouvernements se comportent en rivaux. Néanmoins, les équilibres coopératifs ne sont pas clairement déterminés, car trop de paramètres entrent en considération dans le calcul du bien-être.

Xing [2000] change le point de vue de l'analyse. Il étudie la riposte d'un pays qui fait face à un régulateur pratiquant du dumping écologique. Il démontre qu'une taxe à l'importation, imposée à une nation étrangère laxiste en termes d'environnement, corrige ce dumping écologique et induit une harmonisation des politiques entre pays.

Le gouvernement étranger décide de sa politique environnementale préalablement. Puis, le gouvernement domestique maximise le bien-être national et fixe les taxes sur les importations et sur la pollution dégagée par la firme domestique : $W^h = \int_0^{x^h+x^f} p(q)dq - (x^h+x^f)p + \pi^h(x^h, x^f, t^h) + t^h(\gamma^h(x^h) - a^h) + \bar{t}^h x^f - D^h(\gamma^h(x^h) - a^h)$, avec $\gamma(x) - a = e$, $\gamma(x)$ étant une fonction d'émission croissante avec la production. Enfin, les entreprises se concurrencent.

La structure du modèle de Xing [2000] ne prévoit pas de pollution transnationale ce qui en fait une étude atypique, car habituellement, les taxes à l'importation ont pour fonction de réduire la production étrangère et donc de diminuer l'externalité environnementale mondiale. Ces dernières sont une méthode de parade et d'appropriation des tentatives de détournement de rentes étrangères. En effet, si le pays domestique impose une taxe sur les importations, il bénéficie du dumping de l'étranger. Mais cette tarification diminue l'incitation du pays étranger à dévier de la politique environnementale de premier rang (taxe aux émissions égale aux dommages environnementaux) et ainsi, restaure l'utilisation efficace des ressources. Une taxe à l'importation est appliquée uniquement si la politique étrangère est laxiste, sinon, la croyance stratégique du gouvernement étranger est exploitée par le pays domestique.

Par ailleurs, le gouvernement domestique connaît, lui aussi, une incitation à diminuer les taxes environnementales qu'il applique à la firme domestique. La consommation locale renforce cette incitation. Or, la présence de $\gamma(x)$,

une fonction croissante des émissions dépendant de la production, donne un résultat ambigu : sous certaines conditions, le gouvernement domestique peut ne pas fléchir sa politique environnementale.

Ainsi, Xing [2000] montre qu'une taxe à l'importation idéalement définie remédie aux distorsions engendrées par le dumping écologique de f . De plus, cette taxe sert de force de dissuasion au laxisme environnemental et pousse indirectement à rétablir la politique efficace. Elle induit une harmonisation à la hausse des politiques environnementales.

2.3.2.6 Politique environnementale et ouverture des frontières

Walz et Wellisch [1997] conservent le cadre d'analyse à plusieurs instruments. Ainsi, les autorités publiques utilisent une taxe environnementale pour lutter contre les émissions polluantes et des subventions aux exportations. La finalité de leur article est d'évaluer les bénéfices en termes de bien-être d'une libéralisation des échanges lorsque les gouvernements ont des croyances stratégiques. Le résultat principal est que le libre-échange augmente le bien-être des pays. Les accords de libre-échange poussent les pays exportateurs à maximiser leur bien-être joint. Cet effet positif est partiellement compensé par la promotion non coopérative des produits des firmes locales via des taxes environnementales trop faibles. La politique commerciale produit un effet externe négatif indirectement sur le pays exportateur adverse et une dégradation de l'environnement. Cependant, les pays exportateurs ne diminuent pas suffisamment la taxe aux émissions pour compenser la hausse de coûts que les entreprises subissent à cause de la diminution des subventions. L'effet externe négatif sur le profit des autres firmes devient donc plus faible. L'effet positif obtenu de la diminution des subventions à l'exportation fait plus que compenser la détérioration de l'environnement pour chacun des pays concernés (les agents sont à nouveau supposés symétriques). Néanmoins, une telle ouverture aux échanges ne permet pas la maximisation du bien-être des pays exportateurs et acheteurs.

Tanguay [2001] prolonge l'article de Walz et Wellisch [1997] en remplaçant la subvention aux exportations par une taxe aux importations. L'auteur

y montre un résultat opposé : le libre-échange conduit à une diminution du bien-être. Les taxes aux émissions polluantes ne sont pas à elles seules capables de corriger les problèmes de pollution et de concurrence imparfaite. Les solutions coopératives envisagées par Tanguay [2001] prouvent la supériorité d'un commerce restreint par rapport au libre-échange et ce d'autant plus que les effets de détournements de rente (rent shifting effect) et de détournements de pollution (pollution shifting effect) sont fortement réduits.

Jinji [2003] se situe dans la continuité de Walz et Wellisch [1997] quant aux instruments utilisés : taxe aux émissions et subvention à l'exportation. En outre, il suppose qu'une firme est consciente des dommages qu'elle occasionne sur l'environnement. La fonction de profit de cette firme s'écrit de la manière suivante : $\pi^h - \theta [D^h(e^h) + D^f(e^f)]$

Ainsi, il prouve que lorsque la pollution est uniquement locale, l'existence d'une conscience environnementale n'a pas d'effet sur le bien-être et le niveau de pollution, comparé au cas où les deux firmes maximisent leur profit privé. Les actions en faveur de la préservation environnementale sont totalement compensées par les ajustements de la régulation environnementale (baisse de la taxe). Si la pollution est au minimum partiellement transfrontalière et si le degré de conscience environnementale est très élevé, le bien-être du pays dans lequel la firme consciente est située, est réduit. Si la firme était normale, ce phénomène n'apparaîtrait pas. De plus, une libéralisation commerciale de la forme d'une diminution symétrique des subventions aux exportations diminue le bien-être du pays dans lequel la firme consciente est localisée. En effet, la firme consciente subit deux effets. D'une part, quand les subventions diminuent, le gouvernement du pays où n'est pas localisée la firme consciente, diminue la taxe environnementale afin de détourner la rente de la firme consciente. D'autre part, le profit de la firme consciente diminue avec l'augmentation des dommages étrangers (la firme rivale produit plus et est moins taxée : elle réduit moins ses émissions).

2.3.2.7 Localisation endogène

Ulph et Valentini [1997 et 2001] analysent les effets d'une localisation endogène, c'est-à-dire la décision de l'établissement des firmes dans un pays plutôt que dans un autre, sur la politique environnementale stratégique. Le bien-être de chaque nation est la somme du surplus des consommateurs et, hypothétiquement, des profits de la ou des firmes, des dommages environnementaux et de la taxe aux émissions.

Ulph et Valentini [1997] présente un séquençage classique : les gouvernements fixent les taxes, les entreprises (deux secteurs, l'un en amont et l'autre en aval, de deux firmes chacun) choisissent dans quel pays elles s'installent puis se font concurrence. Les auteurs notent plusieurs effets :

- La taxe peut avoir un effet catastrophique, car dans certains cas, une hausse de celle-ci entraîne la fuite de toutes les entreprises. Le pays est ruiné.
- Un gouvernement qui augmente sa taxe peut attirer plus de firmes en présence de coûts de transport élevés. Il y a une incitation à l'agglomération.
- Il existe un effet d'hystérésis. Une élévation de la taxe incite les firmes à se délocaliser, mais un retour au niveau initial de la taxe ne les fait pas revenir.

L'effet principal qui est mis en valeur par cette modélisation, est que les gouvernements pratiquent un dumping écologique. Cette conclusion n'est pas robuste à un changement de séquençage comme le montre Ulph et Valentini [2001]. En effet, si les firmes s'implantent avant que la politique environnementale ne soit votée par les gouvernements, elles peuvent être soit dans le même pays, soit sur des territoires différents, soit être placées aléatoirement.

Ulph et Valentini [1997 et 2001] ont présenté des approches différentes de la politique environnementale stratégique. Le timing y joue une place prépondérante comme dans la politique commerciale stratégique.

2.3.2.8 Asymétries

Ulph [1997a et 1998] teste la robustesse de la politique environnementale stratégique à l'asymétrie. La première asymétrie concerne les différences dans les dommages environnementaux. Les firmes n'émettent pas les mêmes quan-

tités d'émission pour un même niveau de production d'un même bien. Dans un équilibre non coopératif, l'auteur montre que la taxe mise en place est plus élevée dans le pays où l'environnement se dégrade le plus. L'effet de détournement de rente est dominé par l'effet des dommages sur le bien-être dans le pays où les firmes polluent le plus. Ce résultat semble évident.

Ulph [1997a] modélise deux mécanismes de coopération quand les émissions sont asymétriques : l'harmonisation (des niveaux de taxation) et les taxes minimales. Il démontre que si les pays ont des fonctions de dommages suffisamment différentes, alors l'harmonisation ne peut pas effectuer une amélioration parétienne par rapport à la situation non coopérative. Le pays domestique qui a les dommages les plus élevés est contraint d'accepter une taxe non optimale du point de vue de son bien-être personnel. La taxe aux émissions est diminuée, la production de ses firmes augmente et les dommages augmentent. L'effet global est négatif. Le pays f est dans une situation encore moins avantageuse : la hausse des taxes limite la production et la pollution (la taxe oblige l'entreprise f à accroître ses réductions d'émission et à diminuer sa production), mais la production est réduite davantage avec l'accroissement non souhaité de la production h . A nouveau, l'effet total est négatif. L'auteur évalue la différence des dommages à 50% et plus pour que toute politique d'harmonisation soit inefficace. L'inverse se produit si des taxes environnementales minimales sont admises par les nations contractantes. Même si l'espace des taxes possibles est restreint, les autorités gouvernementales sont libres de maximiser leur bien-être tout en participant à un progrès général. Ce phénomène s'explique de la manière suivante. En information complète avec une asymétrie sur les dommages environnementaux, l'harmonisation requiert un régulateur fédéral qui alloue au pays dont les coûts sociaux de production sont les plus faibles, des parts de production plus élevées. Le pays aux coûts élevés obtient donc moins de parts de marché qu'avec une harmonisation des taxes.

Ulph [1997a] et [1998] étend cette analyse à l'asymétrie d'information⁸.

⁸Calmette [2000] propose une analyse de l'asymétrie d'information lors d'un passage d'une

Ces deux modèles font mention d'une double asymétrie : asymétrie entre les dommages environnementaux occasionnés par les firmes et asymétrie informationnelle sur la connaissance de la réalisation des dommages. L'auteur conclut que de telles asymétries garantissent la mise en place de politiques moins différenciées, c'est-à-dire plus harmonisées, entre les pays par rapport au cas d'information parfaite : pour empêcher les pays à dommages environnementaux élevés de prétendre être à dommages faibles, il est nécessaire pour un régulateur supranational de donner aux deux Etats, des parts de marché presque égales d'où une politique environnementale plus proche, à la différence de ce que préconise la solution de premier rang. La mise en place de décideurs supranationaux demeure plus efficace que l'harmonisation.

Nannerup [1998], dans le cas de normes environnementales, s'intéresse à l'avantage informationnel des entreprises face aux autorités. Pour faire face au problème informationnel, les gouvernements imposent une politique bidimensionnelle : ils cherchent à révéler les coûts des entreprises et à évaluer correctement l'effet de détournement de rente. Nannerup [1998] montre que les autorités imposent une législation toujours plus dure en information imparfaite quelle que soit leur type de croyance, stratégique ou non. Il explique ce résultat par le fait que les producteurs, faisant face à une politique en information parfaite, sont toujours incités à surestimer leurs coûts étant donné leur information privée. C'est pourquoi, pour obliger la révélation de l'information, un « screening effect » est inclus dans le calcul optimal de la norme sous information imparfaite. Cet effet contribue à durcir les normes environnementales. Dans ce modèle, l'asymétrie d'information contribue à limiter les distorsions économiques liées aux croyances stratégiques.

Duval et Hamilton [2002] n'analysent pas l'asymétrie d'information, mais

situation d'autarcie à une situation de libre-échange sur les niveaux de pollution mondiale. Malheureusement, cet article ne s'inscrit pas dans le cadre de la politique environnementale stratégique, mais il permet de rendre compte des impacts sur l'environnement de l'asymétrie d'information et des groupes de pression. De plus, il fournit une base solide pour l'adaptation à la politique commerciale stratégique.

admettent d'autres asymétries : différence du nombre de consommateurs, des systèmes de production et pollution locale, globale ou transfrontalière. Quand il y a une asymétrie des coûts de production, les auteurs montrent qu'une harmonisation de la taxation aux émissions n'est pas efficace. Pour toutes autres formes d'asymétries, en particulier dans les différences des consommateurs ou dans la part des dégâts globaux de pollution, Duval et Hamilton [2002] démontrent que l'harmonisation des politiques est optimale.

2.3.2.9 Autres développements

Cassing et Kuhn [2003] proposent une version novatrice de la politique environnementale stratégique. Des biens dits « sales » sont générés par les firmes des pays industrialisés et sont éventuellement exportés vers des pays moins développés si la pollution n'est pas abattue ou imposée aux résidents comme un coût de la taxe environnementale. L'offre de produits « sales » est oligopolistique tandis que la demande est parfaitement concurrentielle. Les gouvernements des nations industrialisées mettent en place une taxe environnementale sur les biens « sales » non exportés. Les autorités des PED appliquent une taxe par unité sur les biens « sales » importés. Les auteurs se placent donc dans une situation où trois distorsions existent : oligopole sur le marché du sale, dommages environnementaux dans les pays industrialisés et dans les pays en développement. Cassing et Kuhn [2003] concluent qu'une politique laxiste doit être pratiquée par les pays industrialisés, l'inverse étant constaté pour les PED qui poursuivent une politique dite de « green strategy ».

Un modèle de politique environnementale stratégique avec libre entrée des firmes est proposé par Bayındır-Upmann [2003]. Les entreprises qui souhaitent intégrer le marché, ne peuvent le réaliser que dans le pays f , l'auteur supposant un nombre fixe de firmes dans le pays domestique. Bayındır-Upmann [2003] démontre qu'en présence d'une telle asymétrie de structure de marché entre pays, il résulte une incapacité pour le gouvernement domestique à affecter la production et donc le prix mondial. Le traditionnel effet des termes de l'échange disparaît et, mis à part les aspects environnementaux de la taxe,

le gouvernement en revient à subventionner la production domestique afin de valoriser les firmes locales face à une frange concurrentielle. Par ailleurs, l'auteur soutient l'argument suivant : plus la pollution est transfrontalière plus le dumping écologique est fréquent.

Fees et Muehlheusser [2002] modélisent une industrie produisant un facteur propre avec effet d'apprentissage. Les entreprises se concurrençant sur un marché tiers ont la possibilité d'acheter des facteurs propres avant de décider de leurs niveaux de production. Le modèle est à deux périodes et dans chacune des périodes, il existe trois étapes : en premier lieu, les gouvernements choisissent le taux de la taxe environnementale, puis les entreprises choisissent la quantité de facteur propre à acheter et enfin les entreprises se concurrencent en quantité sur un marché tiers. Fees et Muehlheusser [2002] obtiennent qu'un taux de taxe élevé n'augmente pas nécessairement la demande de facteur propre. Un effet indirect négatif sur la demande (réduction des quantités produites) compense l'effet positif de la demande sur le changement de prix. Quand l'effet global sur la demande du facteur propre est positif, le pays domestique choisit un taux de taxe plus élevé que le pays étranger. Si l'effet sur les profits du secteur environnemental est assez fort, le taux de taxe optimal peut même s'avérer plus élevé que la taxe pigouvienne. Dans cet article, les auteurs montrent qu'en incluant un secteur de service environnemental qui produit une technologie propre à l'intérieur même d'une structure de politique environnementale stratégique, le résultat standard obtenu dans la littérature peut changer. A la place d'avoir des taux de taxes domestiques et étrangers inférieurs aux dommages marginaux, le pays dans lequel se situe l'industrie propre choisit une taxe inférieure aux dommages marginaux si et seulement si l'effet quantité de la demande ne compense pas l'effet substitution. De plus, le taux de taxe optimal dans ce pays peut excéder le dommage marginal puisque l'industrie environnementale est fonction d'un effet d'apprentissage : un effet inter-temporel sur le choix de la taxe à la première période existe. Fees et Muehlheusser [2002] suggèrent que la taxe environnementale de la période 1 est supérieure à celle de la période 2 si un gain à l'apprentissage est présent. Les auteurs donnent l'exemple de

l'Allemagne qui a poursuivi tôt une politique environnementale stricte et qui domine aujourd'hui ce marché. Nous retrouvons ici l'hypothèse de Porter selon laquelle une politique environnementale dure permet la croissance d'un secteur exportateur.

Greaker [2003] confirme la conjecture de Porter. En effet, si les émissions polluantes sont un bien inférieur – pour que les émissions soient un bien inférieur, l'entreprise doit pouvoir réduire ses émissions. La technologie d'abattements doit être telle que la firme choisit d'abattre davantage ses émissions plus elle produit. Les émissions totales sont une fonction décroissante de la production – alors les gouvernements doivent utiliser une « green strategy » c'est-à-dire une politique environnementale dure, lorsque les réductions d'émission et les niveaux de production sont décidés simultanément. Si la pollution est un bien normal, le résultat opposé est obtenu. La pollution est un bien inférieur ou normal en fonction de la taille du marché. Quand Greaker [2003] analyse le mode coopératif des autorités, les résultats sont inverses. Si la pollution est un bien inférieur, les régulateurs préfèrent le dumping écologique, car une politique environnementale stricte rend les firmes plus agressives. Les gouvernements ne souhaitent pas cette situation et diminuent la concurrence afin que les firmes se comportent en une sorte de monopole. Si la pollution est un bien normal, les autorités poursuivent une politique environnementale coopérative stricte.

2.3.3 Politique environnementale stratégique et permis d'émission négociables

Lorsque les gouvernements taxent les émissions polluantes, la politique environnementale stratégique est souvent coûteuse, en termes de bien-être, à la société. La guerre commerciale que se livrent les pays en faisant du dumping écologique, nuit au bien-être. Pourtant, la taxation optimale peut s'avérer efficace quand les pays respectent leurs engagements environnementaux, mais non pas quand les firmes ont des technologies de réduction des émissions asymé-

triques. Les permis d'émission négociables (PEN) peuvent corriger certaines distorsions que les taxes ou les normes ne parviennent pas à neutraliser.

A la différence des taxes ou des subventions, les permis d'émission négociables permettent l'internalisation de l'externalité qu'est la pollution par la création d'un nouveau marché, le marché des droits à polluer. Le protocole de Kyoto propose la mise en place d'un marché de PEN pour lutter contre le réchauffement climatique. Les pays signataires ont fixé le niveau environnemental souhaitable pour le bien-être de sa collectivité. Puis chaque régulateur vend ou distribue gratuitement, de manière précise ou aléatoire, un nombre de permis correspondant aux dommages environnementaux optimaux, chaque permis donnant droit à émettre une certaine quantité d'agents polluants. Ensuite, les firmes peuvent s'échanger ces permis sur le marché approprié afin d'optimiser leur mise en conformité environnementale. Les entreprises possèdent des technologies de production plus ou moins propres et peuvent réduire leurs émissions à un coût plus ou moins élevé. D'une part, celles qui ont des moyens peu coûteux pour diminuer leurs émissions le font et vendent leurs permis : vendre leurs droits à polluer accroît les profits. Elles en vendront jusqu'à ce qu'elles égalisent le coût marginal des réductions d'émission au gain marginal de la vente des permis. D'autre part, les entreprises ayant des coûts élevés achètent les permis proposés jusqu'à l'égalisation coût marginal des abattements et du prix marginal des permis acquis. Le processus s'arrête lorsque les coûts marginaux de réductions des émissions des firmes sont égaux.

Les permis d'émission négociables allouent les efforts de réduction d'émission entre les entreprises de façon à minimiser le coût d'abattement agrégé pour atteindre la réduction de la pollution souhaitée par les Etats. A la différence des taxes, ils permettent d'éliminer la distorsion due à l'asymétrie des firmes.

Sartzetakis et Constantatos [1995], Sartzetakis [1997] et Sartzetakis et McFertridge [1999] ont participé à la modélisation des permis négociables dans des environnements de concurrence imparfaite. Ils comparent notamment leur efficacité à celle des normes. Ils démontrent que les parts de marché des firmes régulées à l'aide de permis d'émission augmentent relativement par rapport à

celles contraintes par des normes, grâce à une meilleure allocation des réductions d'émission entre entreprises d'un pays.

Les analyses de ces auteurs demeurent néanmoins, sans action stratégique gouvernementale. Pratlong [2003 et 2005] étudie la politique environnementale stratégique dans le cadre des permis négociables. L'économie est composée de deux pays producteurs, deux secteurs oligopolistiques par nation (dont le nombre d'entreprises est identique entre secteurs et entre pays) et d'un marché tiers. Les coûts directs de production sont nuls, mais le processus de production génère une externalité négative que les firmes doivent réduire. Les entreprises ne sont pas symétriques dans le domaine de la dépollution : il est plus coûteux pour certaines d'abattre les émissions que pour d'autres. Le jeu se présente en deux étapes : les gouvernements définissent leurs objectifs de pollution correspondant à l'allocation des permis puis les entreprises déterminent leur niveau de production et leurs efforts de dépollution en considérant comme donnée l'allocation des permis. Les régulateurs de chaque pays ont le choix entre deux modalités de distribution des droits à polluer :

- L'obtention gratuite sur une base de droits acquis ou technologiques ce qui s'apparente à une allocation forfaitaire au prorata des émissions passées. Cette méthode s'appelle le « grandfathering ».

- L'achat à prix fixe ou par enchères.

Pratlong [2003 et 2005] retient le premier mode de distribution. L'allocation initiale est exogène. La production totale en bien i est donnée par la somme des productions des n firmes domestiques et étrangères : $X_i = X_i^h + X_i^f = nx_i^h + nx_i^f$. Les émissions polluantes se caractérisent par e_i^k et sont proportionnelles au niveau de production x_i^k et inversement proportionnelles aux efforts d'abattements a_i^k . Les entreprises déterminent leurs réductions d'émission au point où leur coût marginal de dépollution égalise le prix des permis. Cette condition assure une répartition des efforts d'abattement entre les entreprises des différents secteurs de sorte que le coût total associé à la politique de diminution des émissions soit minimisé pour le pays k . Chaque entreprise de l'oligopole i située dans le pays k reçoit gratuitement une allocation initiale de

permis \bar{e}_i^k et cherche à maximiser son profit :

$$\pi_i^k = p_i(X_i)x_i^k - A_i^k(x_i^k, a_i^k) - q^k(e_i^k - \bar{e}_i^k) \quad (2.12)$$

où q^k est le prix des permis échangés dans le pays k . $e_i^k - \bar{e}_i^k$ représente le choix de l'entreprise dans l'achat ou la vente de permis. Si $e_j^i - \bar{e}_j^i > 0$, la firme est peu efficace en termes de dépollution et achète donc les permis. Si $e_i^k - \bar{e}_i^k < 0$, l'entreprise vend ses PEN. Ainsi, e_i^k est le nombre de permis en fin de période et \bar{e}_i^k celui en début de période.

La raréfaction des PEN ou une hausse des prix domestiques des permis pénalisent les entreprises locales. Leur production est restreinte en raison des efforts de réduction d'émission supplémentaires nécessaires. Les autorités domestiques sont incitées à dévier de leur plan d'allocation optimale des permis et adoptent des exigences environnementales plus laxistes. Elles allouent un nombre supplémentaire de permis. Ainsi, le prix des permis diminue. La production des entreprises domestiques s'accroît alors que le niveau de production étranger baisse. Le bien-être du pays qui est la somme des profits des firmes locales moins les dommages environnementaux, est en hausse. Toutefois, l'effet en termes de pollution globale quand un seul gouvernement agit stratégiquement, demeure ambigu dans la mesure où la politique environnementale domestique diminue la production des firmes f ainsi que le niveau de leurs émissions.

L'allocation des permis d'émission négociables, comme les taxes environnementales, constitue un substitut aux instruments traditionnels de politique commerciale stratégique et peut mener au dilemme du prisonnier quand deux pays interviennent. Sartzetakis et Constantatos [1995] et Sartzetakis et McFertridge [1999] soulignent une autre difficulté : l'échange de permis ne permet pas d'atteindre l'objectif de minimisation des coûts lorsque le marché des droits à polluer n'est pas concurrentiel. Le pouvoir de marché crée des distorsions quels que soient les biens vendus et achetés.

Le principal instrument utilisé dans l'évaluation des effets de la politique environnementale stratégique est les taxes aux émissions. Cependant, cet outil

économique est vu comme un moyen de profiter de la distorsion sur le marché des produits (la concurrence oligopolistique) bien qu'il serve initialement à en corriger une autre : la pollution. Cette incitation qu'ont les gouvernements à dévier de la solution de premier rang demeure présente quel que soit l'instrument : norme, droits à polluer ou taxe aux émissions. Même si Walz et Wellisch [1997] ne partagent pas cette opinion, il peut paraître souhaitable de laisser à disposition des gouvernements, plusieurs outils économiques. Encore faut-il évaluer précisément les coûts et les bénéfices de chacun d'eux.

La politique environnementale stratégique s'inscrit dans la ligne directe de la politique commerciale stratégique et des problèmes similaires sont soulevés sans pour autant trouver de réponse. Par exemple, le passage d'un mode de concurrence à la Cournot à une concurrence à la Bertrand change radicalement les résultats. Seul Collie [2002] est parvenu à se défaire de cette situation. Toutefois, la politique environnementale stratégique est un domaine encore peu exploré. De nombreuses recherches demeurent envisageables. En effet, généraliser les ripostes des gouvernements, évaluer l'impact des permis d'émission négociables, intégrer des secteurs verticalement, mesurer l'influence de groupes de pression et de l'asymétrie d'information semble pertinent, le but étant de définir des moyens robustes pour lutter contre le dumping écologique.

Au niveau international, l'OMC peut chercher à s'appuyer sur des apports théoriques qui mettent en évidence l'attitude des Etats, notamment l'Union Européenne et les Etats-Unis, à contourner les législations en vigueur, afin de mieux contrôler ses membres. A l'heure actuelle, l'OMC préconise l'interdiction de l'usage de mécanismes protectionnistes telles les subventions. Mais cette solution paraît insuffisante puisque d'autres instruments, comme les taxes aux émissions ou les permis négociables, sont détournés de leur but premier à des fins de politiques commerciales.

Deuxième partie

Développements de la politique environnementale stratégique

Une des objections majeures des environmentalistes contre le libre-échange est que la concurrence internationale inciterait à diminuer les normes environnementales. Les économistes, de leur côté, peuvent ignorer l'influence de la concurrence sur la rigueur des politiques environnementales et attribuent parfois des politiques environnementales laxistes d'un pays à des facteurs naturels tels que les préférences sociales et le niveau de développement. Toutefois, les analyses théoriques récentes sur la politique environnementale stratégique suggèrent qu'en présence de concurrence imparfaite, les pouvoirs publics ont toujours une incitation à manipuler les politiques environnementales afin de promouvoir les exportations.

En utilisant la structure du modèle de Brander et Spencer [1985], Kennedy [1994], Conrad [1993] et Ulph [1996] fournissent des justifications aux préoccupations des environmentalistes et montrent que des gouvernements peuvent faire usage de réglementations environnementales faibles dans le but de soutenir la compétitivité de leurs entreprises polluantes. Ces travaux vont à l'encontre des thèses de Porter [1995] – l'adoption de normes environnementales rigoureuses est un facteur de développement des entreprises – et tendent à prévaloir notamment dans les milieux industriels : les politiques environnementales stratégiques pénalisent la compétitivité et la croissance économique. Toutefois, l'influence des groupes de pression apparaît souvent comme déterminante dans les politiques que choisissent les pouvoirs publics.

Dans cette perspective, nous étudions dans le chapitre 3 l'influence des groupes de pression sur la politique environnementale des pouvoirs publics lorsque ceux-ci mettent en place une taxe aux émissions. Nous évaluons dans quelle mesure les politiques environnementales sont modifiées quand les groupes de pression sont financés par les entreprises polluantes. Nous mesurons les effets en termes de bien-être des lobbies lorsqu'un seul ou deux gouvernements interviennent. Nous envisageons également les impacts de ces groupes de pression quand les pays coopèrent à la mise en place d'une politique environnementale.

Du point de vue théorique comme du point de vue pratique, les taxes environnementales semblent moins privilégiées que les permis d'émission né-

gociables dans les accords internationaux récents⁹. En effet, les permis d'émission négociables permettent d'internaliser l'externalité qu'est la pollution par la création d'un marché de permis. Nous consacrons ainsi le chapitre 4 à l'analyse unilatérale, bilatérale et coopérative des politiques environnementales lorsque les pouvoirs publics mettent en place un marché de permis d'émission négociables et agissent stratégiquement. Néanmoins, le fait qu'un marché de permis d'émission négociable conduise les entreprises à choisir de manière décentralisée le niveau de réduction des émissions – minimisant ainsi le coût global de la réglementation – nécessite que ce marché soit concurrentiel. Nous analysons donc, à la fin du chapitre 4, les conséquences de l'imperfection de la concurrence du marché des permis sur la politique des gouvernements.

⁹Le protocole prévoit l'instauration d'un marché international de permis de gaz à effet de serre, qui doit être mis en place pour la période 2008-2012 et l'Union Européenne s'est dotée, depuis le 1er janvier 2005, d'un marché du CO₂.

Chapitre 3

Influence des groupes de pression dans le choix d'une taxe environnementale

Depuis octobre 2000, la Communauté Européenne s'est dotée d'une directive cadre sur l'eau qui se fixe comme objectif d'atteindre le bon état écologique des eaux en 2015. Réaffirmant le lien entre santé et environnement, elle inscrit clairement dans ses objectifs de « préserver et améliorer l'état des écosystèmes aquatiques » afin de contribuer « à assurer un approvisionnement suffisant en eau [...] de bonne qualité pour les besoins d'une utilisation durable ». L'Union Européenne, mais également de nombreuses nations connaissant différents stades de développement, se préoccupent de l'avenir écologique de leur territoire et de la planète. Cependant, les mesures environnementales adoptées sont souvent reportées à des dates postérieures au prétexte de conjonctures internationales économiquement défavorables ou non adaptées. Ces motifs avancés sont-ils économiquement justifiés ? Les gouvernements choisissent-ils la solution environnementale efficiente face à des situations de commerce international données ?

Les liens entre les politiques environnementales et le commerce internatio-

nal ont été largement analysés dans la littérature récente¹. Est-il préférable de restreindre la libéralisation des échanges puisque celle-ci entraîne inévitablement un accroissement des flux commerciaux et donc des émissions nocives à l'environnement ? Ce phénomène s'appelle l'effet de taille. Stimuler la recherche et développement en sélectionnant des mesures environnementales restrictives dans le but que les firmes innovent dans des systèmes productifs moins ou peu polluant, est-il, comme le proclame Porter [1991], une méthode de croissance à long terme ? Ou bien, les politiques environnementales serviront-elles toujours de substitut aux interdictions d'usages des instruments de politiques commerciales ?

La plupart des modèles auxquels nous faisons référence dans notre analyse, s'appuient sur la politique environnementale stratégique qui, elle-même, repose sur le modèle de Brander et Spencer [1985], article fondateur de la politique commerciale stratégique.

Moore et Suranovic [1993] ont contribué au développement de la politique commerciale stratégique. Ils envisagent la présence de groupes de pression. Ces derniers sont financés par les entreprises. Ils cherchent à retirer un maximum de subventions à l'exportation de la part de leur gouvernement afin de bénéficier d'un avantage sur le marché et ainsi, détourner une part du profit étranger. Les auteurs en dégagent trois conclusions. Premièrement, la prise en compte des coûts du lobbying dans la fonction de bien-être nationale n'implique pas toujours que le gouvernement soit incité à délivrer une subvention, car si le coût du lobbying s'avère supérieur aux gains que l'entreprise pourrait escompter, le gouvernement n'a pas intérêt à fournir la subvention. Deuxièmement, même si une subvention positive existe, un gouvernement anticipant correctement les impacts du lobbying établit une subvention plus faible. La différence entre cette subvention et celle qu'établirait le gouvernement sans lobbying, équivaut à l'impact des groupes de pression sur le régulateur. Cette situation conduit à une diminution du bien-être par rapport à Brander et Spencer [1985] puisque le lobbying ne fait que créer un coût supplémentaire.

¹Pour un survol de la littérature voir, par exemple, Ulph [1997b].

Troisièmement, un gouvernement qui ne prend pas en compte le raisonnement stratégique de l'entreprise fixe une subvention soit supérieure, soit inférieure à son niveau d'équilibre. Cette situation est encore sous-optimale. Moore et Suranovic [1993] démontrent que la présence de lobbying diminue l'efficacité de la subvention donc de la politique commerciale stratégique.

Par ailleurs, Kennedy [1994], Conrad [1993] et Ulph [1996] analysent comment une taxe sur les émissions polluantes peut être utilisée par le régulateur pour profiter d'une situation de concurrence imparfaite sur le marché des biens. Ces différentes études se sont concentrées, à chaque fois, sur le rôle du gouvernement et le choix de sa politique optimale. L'influence des firmes sur les décisions des pouvoirs publics n'est donc jamais considérée dans ces analyses. Néanmoins, dans la lignée des travaux sur la politique commerciale stratégique, les firmes peuvent aussi exercer un comportement stratégique en réalisant des pressions sur les régulateurs.

En prenant comme référence l'article de Moore et Suranovic [1993] pour la modélisation du lobbying et Kennedy [1994] pour la modélisation de la taxe environnementale², nous cherchons à savoir quels choix adopteront les autorités faisant face à des groupes de pression et à des dommages environnementaux lorsque l'instrument de régulation est une taxe environnementale. Nous montrons comment le lobbying exercé par une entreprise, agence non bienveillante représentant les intérêts des entreprises, conduit à une modification de la politique environnementale des gouvernements. Le régulateur choisit la taxe environnementale de sorte qu'elle aide les entreprises nationales sur le marché des biens, mais cette taxe conduit à un bien-être inférieur à une situation sans lobbying. Lorsque le gouvernement étranger met également en place une politique environnementale, nous montrons que le bien-être de chaque pays se dégrade d'autant plus que les entreprises font du lobbying. Nous évaluons ensuite les incidences sur le bien-être de chacun des pays et sur le bien-être joint de ces deux pays, les conséquences de la coopération. Nous démontrons que

²Contrairement à Kennedy [1994], nous ne modélisons pas de pollution transfrontalière. Nous considérons un polluant local.

la coopération améliore toujours le bien-être des pays et le bien-être joint, car les gouvernements n'agissent plus stratégiquement. La taxe choisie est supérieure aux dommages environnementaux. Les régulateurs cherchent à corriger trois distorsions avec cette taxe : la pollution, la concurrence imparfaite sur le marché des produits et le lobbying des entreprises.

Notre travail s'organise de la façon suivante. Dans la première section de ce chapitre, nous décrivons le modèle de contrôle environnemental. La seconde section analyse le comportement de l'entreprise domestique qui fait du lobbying quand le régulateur met en place une taxe aux émissions. Dans une troisième section, nous évaluons la taxe optimale lorsque le gouvernement anticipe les groupes de pression ou lorsqu'il ne les anticipe pas. Nous étudions la situation bilatérale quand les deux pays mettent en place une taxe environnementale dans une quatrième section. Dans la cinquième section, nous analysons la politique coopérative. Enfin, la sixième section illustre nos résultats généraux d'un exemple.

3.1 Description du modèle

Dans un monde de concurrence imparfaite, deux firmes, soutenues par leurs gouvernements respectifs, se concurrencent sur un marché tiers. Elles produisent chacune un bien substituable x^h et x^f (x^h étant le bien domestique et x^f le bien étranger). Les coûts de production sont respectivement $c^h(x^h)$ et $c^f(x^f)$. Nous notons les dérivées des fonctions par des indices et nous supposons que les fonctions de coût de production sont croissantes et convexes, ces dernières s'écrivent $c_{x^h}^h > 0$, $c_{x^h x^h}^h > 0$, $c_{x^f}^f > 0$ et $c_{x^f x^f}^f > 0$. Le processus de production génère une externalité négative, la pollution, qui peut être limitée si l'entreprise entreprend des réductions d'émission (ou abattements) en quantités a^h .

Les coûts des réductions d'émission $A^h(a^h)$ ($A^f(a^f)$) qui représentent les dépenses entreprises par les firmes afin de limiter les émissions polluantes, dépendent du niveau de pollution abattu a^h (a^f) et sont croissants et convexes : $A_{a^h}^h > 0$ et $A_{a^h a^h}^h > 0$ ($A_{a^f}^f > 0$ et $A_{a^f a^f}^f > 0$). Nous supposons dans ce modèle une fonction d'émission linéaire. Ainsi, chaque unité de bien produit engendre une unité d'émission polluante. Cette unité peut être éliminée en réalisant des réductions d'émission : $e^h = x^h - a^h$ ($e^f = x^f - a^f$). Les émissions non abattues provoquent une dégradation de l'environnement exprimée par une fonction croissante et convexe de dommages environnementaux $D^h(e^h)$ ($D^f(e^f)$). Les entreprises ne subissent pas les répercussions des dommages environnementaux : la pollution n'a aucun impact sur leur production. Chaque firme choisit sa production en prenant celle de son rival comme étant donnée.

Les gouvernements mettent en place une taxe environnementale, t^h , pour limiter les dommages environnementaux. Ils maximisent le bien-être de la nation par rapport à la taxe. L'utilisation des taxes environnementales n'est pas interdite par l'Organisation Mondiale du Commerce contrairement aux subventions aux exportations³.

³L'Union Européenne et les Etats-Unis recourent encore largement les subventions aux exportations. Récemment les Etats-Unis ont été condamnés par l'institution juridique de l'OMC, L'Organisme de Règlement des Différends, pour avoir accordé des subventions dé-

La taxe environnementale rend les firmes moins compétitives : elles doivent réduire leurs émissions et/ou s'acquitter de la taxe. Les entreprises peuvent déployer des efforts de lobbying afin de diminuer le poids de la taxe environnementale. Les groupes de pression peuvent obtenir une baisse des taxes totales. $\sigma^h(L^h)$ mesure l'effet du lobbying sur la taxe : plus les ressources allouées au lobby, L^h , sont importantes, moins la taxe subie sera élevée. Ainsi, nous appelons $T^h = t^h - \sigma^h(L^h)$, la taxe appliquée par le gouvernement avec action des groupes de pression. La mise en place de groupes de pression n'est pas sans coût : l^h est le coût lié à la mise en place d'activité de lobbying L^h . $\sigma^h(L^h)$ est une fonction croissante et concave de L^h . $\sigma_{L^h}^h$ mesure l'efficacité marginale du lobby domestique : $\sigma_{L^h}^h > 0$ et $\sigma_{L^h L^h}^h < 0$. Le rendement marginal du lobby est décroissant.

Nous reprenons la modélisation du lobbying de Moore et Suranovic [1993]. Or, ces auteurs ne modélisent pas la redistribution des sommes investies dans les activités de lobbying. Les dépenses dans le lobbying apparaissent négativement dans la fonction de profit (investir dans des lobbies est coûteux pour l'entreprise), mais elles ne sont pas redistribuées aux consommateurs contrairement à l'analyse traditionnelle des groupes de pression⁴. De plus, nous ne pouvons pas non plus considérer le lobbying comme des investissements publicitaires (sur le bien produit ou sur la non toxicité des émissions), car il n'y a pas de probabilités portant sur l'éventualité de réalisation du lobbying. Nous reprenons donc le modèle de Moore et Suranovic [1993] qui ne modélise pas explicitement les considérations politiques. Ainsi, l'effet politique du lobby sur les pouvoirs publics pour le choix du niveau de la taxe environnementale n'est pas explicitement formulé. Il existe un jeu de lobbying en arrière plan que nous ne modélisons pas, car nous souhaitons nous concentrer sur les effets stratégiques de la taxe environnementale. Nous considérons alors que le lobby est l'effort qui modifie la perception que le gouvernement a sur les probabilités de

guisées à un grand nombre de ses firmes. Boeing, General Motors, etc. bénéficiaient d'exonération d'impôts à l'aide de filiales situées dans des paradis fiscaux. Ce fut la plus lourde sanction jamais prononcée par l'ORD.

⁴Voir Grossman G.H. et Helpman E. [2001].

réalisation des dommages. Notre chapitre combine les apports, d'une part, de Moore et Suranovic [1993] pour la modélisation du lobbying et, d'autre part, de Kennedy [1994] pour l'intervention stratégique du régulateur avec une taxe environnementale.

Nous sommes dans un jeu à deux étapes : à la première étape, le gouvernement annonce un programme de taxation des émissions. Il détermine la taxe initiale t^h de façon à maximiser le bien-être de la nation, W^h . W^h est la somme du profit de l'entreprise domestique et de la taxe environnementale de laquelle sont soustraits les dommages environnementaux. Cependant, la taxe finale est déterminée seulement après que la firme, à qui est appliquée la taxe, ait eu l'opportunité d'influencer la taxe à la baisse. Nous supposons que la taxe annoncée initialement par le gouvernement est déterminée en fonction de l'information disponible. Les activités de lobby de la firme ont pour but de diminuer la taxe⁵. A la seconde étape, les firmes choisissent leur niveau de production, de réductions d'émission et les investissements en lobbying afin de maximiser leur propre profit. Nous raisonnons par induction vers l'amont.

⁵Notons que le bien être national peut être plus élevé si le régulateur interdit les groupes de pression. Cependant, nous supposons qu'une telle interdiction est impossible, car les relations politiques (entre groupes de pression et pouvoirs publics) ne sont pas explicitement modélisées.

3.2 Seul le gouvernement domestique intervient

Dans cette section, seul le gouvernement domestique souhaite intervenir. Le profit domestique est la somme des recettes totales moins les coûts de productions, les coûts de mise en place de lobbying, les coûts de réductions d'émission et la taxe environnementale par unités d'émission non abattues :

$$\begin{aligned}\pi^h(x^h, x^f, a^h, L^h; t^h) &= p(x^h, x^f)x^h - c^h(x^h) - T^h e^h - l^h L^h - A^h(a^h) \\ \iff \pi^h(x^h, x^f, a^h, L^h; t^h) &= p(x^h, x^f)x^h - c^h(x^h) - [t^h - \sigma^h(L^h)] [x^h - a^h] \\ &\quad - l^h L^h - A^h(a^h)\end{aligned}\tag{3.1}$$

alors que le profit f correspond seulement aux recettes moins les coûts de production, car il n'y a pas de politique environnementale dans le pays f :

$$\pi^f(x^h, x^f; t^h) = p(x^h, x^f)x^f - c^f(x^f)\tag{3.2}$$

L'entreprise domestique maximise son profit. Les conditions de premier ordre de la maximisation du profit s'écrivent :

$$\pi_{x^h}^h = \frac{\partial \pi^h(x^h, x^f, a^h, L^h; t^h)}{\partial x^h} = p'x^h + p - c_{x^h}^h - t^h + \sigma^h(L^h) \leq 0\tag{3.3}$$

$$\pi_{a^h}^h = \frac{\partial \pi^h(x^h, x^f, a^h, L^h; t^h)}{\partial a^h} = [t^h - \sigma^h(L^h)] - A_{a^h}^h \leq 0\tag{3.4}$$

et

$$\pi_{L^h}^h = \frac{\partial \pi^h(x^h, x^f, a^h, L^h; t^h)}{\partial L^h} = \sigma_{L^h}^h [x^h - a^h] - l^h \leq 0\tag{3.5}$$

L'équation (3.5) est la condition de premier ordre pour le lobbying. Si les coûts du lobbying, l^h , sont suffisamment élevés ou si l'efficacité des activités des

lobbies, $\sigma^h(L^h)$, est suffisamment faible, alors investir dans le lobbying n'est pas profitable et le modèle se réduit à celui de Kennedy [1994]. Nous supposons alors que (3.5) est vérifiée avec l'égalité pour $L^h > 0$.

Les conditions de second ordre sont données par :

$$\pi_{x^h x^h}^h = \frac{\partial^2 \pi^h}{\partial x^{h2}} = p'' x^h + 2p' - c_{x^h x^h}^h < 0 \quad (3.6)$$

$$\pi_{a^h a^h}^h = \frac{\partial^2 \pi^h}{\partial a^{h2}} = -A_{a^h a^h}^h < 0 \quad (3.7)$$

$$\pi_{L^h L^h}^h = \frac{\partial^2 \pi^h}{\partial L^{h2}} = \sigma_{L^h L^h}^h [x^h - a^h] < 0 \quad (3.8)$$

Puisqu'il est impossible d'abattre plus que ce que génère comme pollution la production, les réductions d'émission ne peuvent être supérieures à la production. De plus, des CPO nous avons :

$$\begin{aligned} \pi_{x^h L^h}^h &= \sigma_{L^h}^h \\ \pi_{L^h x^h}^h &= \sigma_{L^h}^h \end{aligned} \quad (3.9)$$

Les conditions de second ordre de la maximisation du profit requièrent que $\pi_{x^h x^h}^h < 0$, $\pi_{L^h L^h}^h < 0$, $\pi_{a^h a^h}^h < 0$, $\pi_{x^h x^h}^h \pi_{a^h a^h}^h - \pi_{x^h a^h}^h \pi_{a^h x^h}^h > 0 \iff \pi_{x^h x^h}^h \pi_{a^h a^h}^h > 0$ et $\pi_{x^h x^h}^h \pi_{a^h a^h}^h \pi_{L^h L^h}^h - \sigma_{L^h}^{h2} (\pi_{x^h x^h}^h + \pi_{a^h a^h}^h) < 0$. Nous supposons que ses conditions sont vérifiées. Nous pouvons donc définir les valeurs optimales des variables x^h , a^h et L^h , car notre fonction objectif est concave.

Pour la firme étrangère, les conditions de premier et de second ordre de la maximisation de son profit sont :

$$\pi_{x^f}^f = \frac{\partial \pi^f(x^h, x^f; t^h)}{\partial x^f} = p' x^f + p - c_{x^f}^f \leq 0 \quad (3.10)$$

$$\pi_{x^f x^f}^f = \frac{\partial^2 \pi^f(x^h, x^f; t^h)}{\partial x^{f2}} = p'' x^h + 2p' - c_{x^f x^f}^f < 0 \quad (3.11)$$

Nous vérifions que le revenu marginal des firmes diminue avec une augmentation de la production de l'autre entreprise :

$$\pi_{x^f x^h}^f = \frac{\partial \pi^{f2}}{\partial x^f x^h} = p'' x^f + p' < 0 \quad (3.12)$$

$$\pi_{x^h x^f}^h = \frac{\partial^2 \pi^h}{\partial x^h x^f} = p'' x^h + p' < 0 \quad (3.13)$$

Nous supposons qu'il est possible d'obtenir à partir des conditions de premier et de second ordre, la valeur optimale de x^f . De (3.12) et de (3.13), nous déduisons que les effets d'un changement de sa propre production sur son profit marginal sont supérieurs à une modification de la production de la firme rivale :

$$\pi_{x^h x^h}^h < \pi_{x^h x^f}^h \iff p'' x^h + 2p' - c_{x^h x^h}^h - (p'' x^h + p') < 0 \iff p' - c_{x^h x^h}^h < 0 \quad (3.14)$$

car le prix est une fonction décroissante de la production ($p' < 0$) et $c_{x^h x^h}^h > 0$ d'après les hypothèses posées. De la même manière, on obtient : $\pi_{x^f x^f}^f < \pi_{x^f x^h}^f$. Nous sommes à même de spécifier la condition de stabilité des fonctions de réaction :

$$D \equiv \pi_{x^h x^h}^h \pi_{x^f x^f}^f - \pi_{x^h x^f}^h \pi_{x^f x^h}^f > 0 \quad (3.15)$$

Si les conditions (3.6), (3.11) et (3.15) tiennent globalement, elles impliquent l'unicité globale de l'équilibre. A partir des CPO (3.3), (3.4), (3.5) et (3.10), les valeurs d'équilibre x^h , a^h , L^h et x^f en fonction de t^h sont données par :

$$x^h = f(t^h), a^h = f(t^h), L^h = f(t^h), x^f = f(t^h) \quad (3.16)$$

Nous déterminons maintenant l'impact de la taxe environnementale sur nos variables. Nous cherchons à savoir comment évoluent x^h , a^h , L^h et x^f suite à un

changement de t^h . Nous faisons de la statique comparative⁶. Les réactions de la production domestique et étrangère, des réductions d'émission et du lobbying face à des variations de t^h , sont déterminées en dérivant (3.3), (3.4), (3.5) et (3.10). Ce processus assure que les décisions de lobbying, d'abattelements et de production soient ajustées de manière optimale à toute variation de t^h .

$$\begin{aligned}
d\pi_{x^h}^h &= \frac{\partial \pi_{x^h}^h}{\partial x^h} \frac{dx^h}{dt^h} + \frac{\partial \pi_{x^h}^h}{\partial a^h} \frac{da^h}{dt^h} + \frac{\partial \pi_{x^h}^h}{\partial x^f} \frac{dx^f}{dt^h} + \frac{\partial \pi_{x^h}^h}{\partial L^h} \frac{dL^h}{dt^h} + \pi_{x^h t^h}^h = 0 \quad (3.17) \\
d\pi_{a^h}^h &= \frac{\partial \pi_{a^h}^h}{\partial x^h} \frac{dx^h}{dt^h} + \frac{\partial \pi_{a^h}^h}{\partial a^h} \frac{da^h}{dt^h} + \frac{\partial \pi_{a^h}^h}{\partial x^f} \frac{dx^f}{dt^h} + \frac{\partial \pi_{a^h}^h}{\partial L^h} \frac{dL^h}{dt^h} + \pi_{a^h t^h}^h = 0 \\
d\pi_{L^h}^h &= \frac{\partial \pi_{L^h}^h}{\partial x^h} \frac{dx^h}{dt^h} + \frac{\partial \pi_{L^h}^h}{\partial a^h} \frac{da^h}{dt^h} + \frac{\partial \pi_{L^h}^h}{\partial x^f} \frac{dx^f}{dt^h} + \frac{\partial \pi_{L^h}^h}{\partial L^h} \frac{dL^h}{dt^h} + \pi_{L^h t^h}^h = 0 \\
d\pi_{x^f}^f &= \frac{\partial \pi_{x^f}^f}{\partial x^h} \frac{dx^h}{dt^h} + \frac{\partial \pi_{x^f}^f}{\partial a^h} \frac{da^h}{dt^h} + \frac{\partial \pi_{x^f}^f}{\partial x^f} \frac{dx^f}{dt^h} + \frac{\partial \pi_{x^f}^f}{\partial L^h} \frac{dL^h}{dt^h} + \pi_{x^f t^h}^f = 0
\end{aligned}$$

$\pi_{x^h x^h}^h$, $\pi_{a^h a^h}^h$, $\pi_{L^h L^h}^h$, $\pi_{x^h L^h}^h$ et $\pi_{L^h x^h}^h$, $\pi_{x^f x^f}^f$, $\pi_{x^f x^h}^f$ et $\pi_{x^h x^f}^h$ ont été déterminés par les équations (3.6), (3.7), (3.8), (3.9), (3.11), (3.12) et (3.13). Le calcul des autres dérivées partielles donne $\pi_{x^h t^h}^h = -1$, $\pi_{x^f t^h}^f = 0$, $\pi_{x^f L^h}^f = 0$, $\pi_{L^h t^h}^h = 0$, $\pi_{L^h x^f}^h = 0$, $\pi_{x^h a^h}^h = 0$, $\pi_{a^h x^h}^h = 0$, $\pi_{a^h x^f}^h = 0$, $\pi_{a^h t^h}^h = 1$, $\pi_{a^h L^h}^h = -\sigma_{L^h}^h$, $\pi_{L^h a^h}^h = -\sigma_{L^h}^h$ et $\pi_{x^f a^h}^f = 0$. L'interprétation est la suivante : la taxe n'a d'effets directs que sur la production et les réductions d'émission domestiques. La production de la firme étrangère n'est affectée qu'indirectement par la taxe environnementale domestique à travers les quantités produites par l'entreprise h . Il en est de même pour le lobbying qui n'agit directement que sur x^h et a^h . Nous réécrivons alors le système à quatre équations ci-dessus⁷ :

⁶Notre méthode d'analyse se réfère à William Novshek, Mathematics for economists [1993].

⁷Pour le détails des calculs, se référer à l'appendice A.

$$\begin{aligned}
\pi_{x^h x^h}^h \frac{dx^h}{dt^h} + 0 + \pi_{x^h x^f}^h \frac{dx^f}{dt^h} + \sigma_{L^h}^h \frac{dL^h}{dt^h} - 1 &= 0 \\
0 + \pi_{a^h a^h}^h \frac{da^h}{dt^h} + 0 - \sigma_{L^h}^h \frac{dL^h}{dt^h} + 1 &= 0 \\
\sigma_{L^h}^h \frac{dx^h}{dt^h} - \sigma_{L^h}^h \frac{da^h}{dt^h} + 0 + \pi_{L^h L^h}^h \frac{dL^h}{dt^h} + 0 &= 0 \\
\pi_{x^f x^h}^f \frac{dx^h}{dt^h} + 0 + \pi_{x^f x^f}^f \frac{dx^f}{dt^h} + 0 + 0 &= 0
\end{aligned}$$

Appelons Φ^h , le troisième mineur diagonal principal de la fonction de profit domestique : $\Phi^h = \pi_{x^h x^h}^h \pi_{L^h L^h}^h \pi_{a^h a^h}^h - \sigma_{L^h}^{h2} (\pi_{x^h x^h}^h + \pi_{a^h a^h}^h)$. Nous supposons $\Phi^h < 0$ afin que notre problème soit concave. Ainsi :

$$L_{t^h}^h = \frac{\sigma_{L^h}^h \pi_{x^h x^h}^h \left[D + \pi_{a^h a^h}^h \pi_{x^f x^f}^f \right]}{\Delta^{t^h}} < 0 \quad (3.18)$$

avec $\Delta^{t^h} = -D \left[\pi_{x^h x^h}^h \pi_{L^h L^h}^h \pi_{a^h a^h}^h - \sigma_{L^h}^{h2} (\pi_{x^h x^h}^h + \pi_{a^h a^h}^h) \right] + \sigma_{L^h}^{h2} \pi_{x^f x^h}^f \pi_{a^h a^h}^h \pi_{x^h x^f}^h$.

De (3.18), nous supposons que Δ^{t^h} est positif, soit $D \pi_{x^h x^h}^h \pi_{L^h L^h}^h \pi_{a^h a^h}^h < D \sigma_{L^h}^{h2} \pi_{x^h x^h}^h + \sigma_{L^h}^{h2} \pi_{a^h a^h}^h \pi_{x^h x^h}^h \pi_{x^f x^f}^f$. L'interprétation de cette conjecture peut se faire comme suit : une augmentation de la taxe influence de deux manières opposées les décisions de lobbying de la firme. D'une part, la taxe augmente les coûts de l'entreprise : hausse des dépenses pour réduire les émissions et/ou diminution des quantités produites (ce qui se traduit par une perte de parts de marché). La firme a donc intérêt à accroître les dépenses en lobbying afin de réduire le niveau de la taxe. D'autre part, l'accroissement de la taxe incite à diminuer la pollution en augmentant les réductions d'émission et/ou en diminuant la production. La fonction de profit marginal du lobby est décroissante. Il est donc moins intéressant pour la firme h d'investir dans les groupes de pression, car leur rentabilité baisse. Ainsi, compte-tenu des hypothèses et du signe de Δ^{t^h} , de ces deux effets le second domine le premier : lutter contre les émissions polluantes est plus efficace pour la firme que d'accroître les pressions sur les autorités. $L_{t^h}^h$ est donc négatif.

Les valeurs $x_{t^h}^h$, $x_{t^h}^f$ et $a_{t^h}^h$ sont données par :

$$x_{th}^f = \frac{\pi_{x^f x^h}^f \pi_{x^h x^h}^h \pi_{L^h L^h}^h \pi_{a^h a^h}^h}{\Delta^{th}} > 0 \quad (3.19)$$

(3.19) représente la réponse en termes de production de la firme étrangère face à la taxe aux émissions domestiques. L'effet de la taxe domestique sur x^h est donné par :

$$x_{th}^h = -\frac{\pi_{x^h x^h}^h \pi_{x^f x^f}^f \pi_{L^h L^h}^h \pi_{a^h a^h}^h}{\Delta^{th}} < 0 \quad (3.20)$$

L'impact de la taxe environnementale sur les abattements est :

$$a_{th}^h = \frac{D\pi_{x^h x^h}^h \pi_{L^h L^h}^h}{\Delta^{th}} > 0 \quad (3.21)$$

x_{th}^h , x_{th}^f , L_{th}^h et a_{th}^h mesurent l'impact de la taxe environnementale sur x^h , x^f , L^h et a^h . Concernant les effets sur les productions, les résultats obtenus sont conformes à ceux trouvés par Moore et Suranovic [1993], si le niveau de production est égal au niveau d'émission. Ce phénomène est la simple conséquence d'un changement d'instrument jouant en sens contraire : nous employons une taxe aux émissions tandis que Moore et Suranovic [1993] utilisent une subvention aux exportations. La taxe est un coût supplémentaire pour l'entreprise ce qui réduit sa production tandis que la subvention a pour but d'accroître la production. De plus, l'instrument ne cible pas la même variable : les émissions au lieu de la production. Nous constatons que la production de la firme f augmente avec la taxe. La firme étrangère est bénéficiaire, en termes de production, de la politique environnementale du pays domestique. La taxe aux émissions polluantes contribue d'une part à améliorer l'environnement (en incitant à la réduction des dommages), mais, d'autre part, à détourner une rente commerciale vers l'étranger. Le premier effet est la conséquence du gouvernement domestique qui incite la firme h à entreprendre des activités de réductions d'émission. Jusqu'à ce que le coût marginal des abattements égale la taxe par unité de pollution, l'entreprise domestique agit en faveur d'un environnement plus sain. Cependant, cette action occasionne une perte de compétitivité pour la firme qui réduit ses émissions. En effet, réduire les émis-

sions est coûteux. Le coût marginal total de la firme domestique devient plus élevé que celui de l'étranger, car les entreprises sont symétriques. En conséquence, l'entreprise domestique diminue ses quantités offertes tandis que sa rivale les augmente afin de détourner une part de la rente domestique. Globalement, les quantités mondialement exportées diminuent ce qui favorise la hausse du prix de ce bien. Nous le vérifions : d'après (3.19) et (3.20), nous avons $\left| -\frac{\pi_{x^h x^h}^h \pi_{x^f x^f}^f \pi_{L^h L^h}^h \pi_{a^h a^h}^h}{\Delta^{t^h}} \right| > \left| \frac{\pi_{x^h x^h}^h \pi_{x^f x^h}^f \pi_{L^h L^h}^h \pi_{a^h a^h}^h}{\Delta^{t^h}} \right| \iff \left| \pi_{x^f x^f}^f \right| > \left| \pi_{x^f x^h}^f \right|$ d'où $|x_{t^h}^h| > |x_{t^h}^f|$. L'entreprise f profite de la politique environnementale domestique. Elle produit et vend plus et à un prix plus élevé. Pour la firme h , la perte de parts de marché diminue son profit, mais elle est partiellement compensée par la hausse du prix⁸.

Quant au lobby, de (3.18), nous déduisons que si les pouvoirs publics choisissent d'alourdir la charge environnementale qui pèse sur l'entreprise, cette dernière préfère diminuer ses investissements dans les groupes de pression. Ce phénomène s'explique par le fait que : plus la taxe est élevée plus la firme réduit ses émissions, et, plus elle réalise de réduction d'émission moins elle a intérêt à investir dans le lobbying. Lorsque la taxe augmente, dépenser dans des activités de lobbying devient relativement plus coûteux que réduire ses émissions, c'est pourquoi, bien que le lobbying soit destiné à limiter la taxe environnementale, l'entreprise préfère réduire L^h .

Pour résumer, une augmentation de la taxe induit une hausse du prix mondial (les quantités mondialement produites sont plus faibles : $\pi_{x^f x^f}^f < \pi_{x^f x^h}^f$), une hausse du profit étranger (la fonction de réaction de la firme domestique se déplace vers la gauche), une diminution du profit domestique (l'entreprise domestique subit l'influence de son gouvernement et produit une quantité plus faible) et une amélioration (dégradation) de l'environnement domestique (étranger). Comme aucun effort n'est réalisé pour diminuer les émissions polluantes dans le pays f , l'accroissement (la baisse) de la production f (h) contri-

⁸Si l'effet de la hausse du prix fait plus que compenser l'effet de la baisse de la production sur le profit h , alors il est préférable de durcir la politique environnementale, car les profits augmentent et les dommages sont réduits. Une politique environnementale rigoureuse est préconisée lorsque la concurrence est à la Bertrand (cf. Conrad [1994]).

bue inévitablement à une détérioration (une amélioration) de l'environnement. Au niveau global, au total moins de biens sont produits et vendus, donc la pollution internationale se réduit. L'effet de la taxe sur le lobbying est donné par :

Une augmentation de la taxe environnementale domestique a pour conséquence une diminution de l'utilisation des ressources de lobbying. Il devient de moins en moins profitable pour la firme d'investir dans les groupes de pression à mesure que la taxe est accrue. L'entreprise h substitue les dépenses en lobby par des dépenses pour réduire ses émissions.

3.3 Evaluation de la taxe stratégique optimale aux émissions

Nous calculons dans cette section la taxe environnementale optimale mise en place par le régulateur lorsqu'il anticipe les groupes de pression ou lorsqu'il ne les anticipe pas. La taxe est le seul instrument disponible pour que les pouvoirs publics interviennent. Comme Kennedy [1994], Barrett [1994] et Xin [2000] l'ont fait remarquer, en concurrence imparfaite, l'absence d'un second instrument signifie que la taxe environnementale joue un double rôle : elle est utilisée par les autorités pour réguler les émissions polluantes, mais également pour profiter de l'imperfection de la concurrence sur le marché des produits. Ceci met en évidence l'utilisation stratégique des taxes environnementales. Par exemple, Kennedy [1994] montre que si le régulateur disposait de deux instruments, une taxe environnementale et une subvention à la production, alors la subvention servirait à corriger la distorsion sur le marché des produits et la taxe corrigerait l'externalité due à la pollution. La solution de premier rang ne peut être atteinte avec un seul instrument. Cette réflexion renvoie à Tinbergen [1952]. Ce dernier démontre qu'il est nécessaire de disposer d'autant d'instruments de mesure qu'il y a d'objectifs à atteindre pour réussir une politique économique. Cependant, si le nombre d'instruments est inférieur au nombre d'objectifs, il est nécessaire de se donner une échelle de préférence entre les objectifs d'autant plus stricte que le nombre d'instruments est limité.

Agir stratégiquement avec un instrument de politique environnementale en présence de concurrence imparfaite sur le marché des biens revient à diminuer les contraintes environnementales. Ceci joue comme une « subvention implicite », mais qui est coûteuse. Le bien-être peut diminuer parce que cette « subvention implicite » aggrave la pollution. Une subvention aux exportations, à la production ou à la recherche et développement n'est pas coûteuse. Elle représente simplement un transfert de ressources des pouvoirs publics vers une ou plusieurs entreprises. Ainsi, Barrett [1994] démontre que si le régulateur peut directement subventionner la production des entreprises locales, alors il

n'a aucune incitation à ne pas fixer une taxe environnementale égale aux dommages marginaux : il n'y a pas d'intervention stratégique avec l'instrument de politique environnementale.⁹

3.3.1 Le gouvernement a connaissance du lobbying de l'entreprise

Après avoir évalué les impacts d'une taxe environnementale sur les profits domestique et étranger, nous cherchons à déterminer la taxation optimale que désire mettre en application le gouvernement domestique. Nous sommes à la première étape du jeu. W^h est le bien-être domestique. Il se compose du profit de l'entreprise domestique et des recettes de la taxe environnementale auxquels les dommages environnementaux sont soustraits. Puisque toutes les variables sont exprimées en fonction de la taxe environnementale d'après (3.16), il s'écrit de la façon suivante¹⁰ :

$$W^h(t^h) = \pi^h(x^h, x^f, L^h, a^h; t^h) + (t^h - \sigma^h(L^h))e^h - D^h(e^h) \quad (3.22)$$

La taxe a pour objectif de limiter la pollution de l'entreprise locale, mais cette taxe a deux effets opposés sur le bien-être. Premièrement, la taxe pousse la firme à entreprendre des réductions d'émission jusqu'à ce que son coût marginal d'abattement égale la taxe. Deuxièmement, la taxation est coûteuse pour l'entreprise qui observe une augmentation de son coût marginal total. La firme h doit donc diminuer sa production compte tenu de (3.20). Or, si elle produit moins, la pollution diminue puisque chaque unité créée occasionne des émissions. Ainsi, du point de vue de la réduction de la pollution, diminuer la production ou accroître les abattements mène au même objectif : lutter contre

⁹Xin [2000] retrouve les résultats de Barrett [1994]. Il montre en plus qu'avec une taxe aux importations et une taxe environnementale, les pouvoirs publics dissuadent les autorités étrangères de faire du dumping écologique.

¹⁰Nous rappelons que nous ne modélisons pas explicitement le jeu du lobbying : les dépenses en lobbying des firmes, une fois entreprises, disparaissent de ce modèle.

les dommages environnementaux.

Le régulateur ayant connaissance des décisions des firmes, le gouvernement fixe une taxe aux émissions qui résulte de la maximisation de la fonction de bien-être domestique. Le régulateur choisit la taxe t^h qui maximise W^h sachant les niveaux de production h et f , de réduction d'émission et de lobbying. Etant donné la réaction de la firme étrangère, les pouvoirs publics favorisent l'entreprise nationale par une modification du taux de taxe par rapport à son niveau de premier rang¹¹. L'impact de la taxation sur le bien-être domestique est donné par la dérivée de W^h par rapport à t^h ¹².

$$W_{t^h}^h = \frac{d\pi^h}{dt^h} + (t^h - \sigma^h(L^h)) (x_{t^h}^h - a_{t^h}^h) + e^h - (\sigma_{L^h}^h \frac{\partial L^h}{\partial t^h}) e^h - D_{e^h}^h (x_{t^h}^h - a_{t^h}^h) \quad (3.23)$$

avec $\frac{d\pi^h}{dt^h} = \frac{\partial \pi^h}{\partial x^h} \frac{\partial x^h}{\partial t^h} + \frac{\partial \pi^h}{\partial a^h} \frac{\partial a^h}{\partial t^h} + \frac{\partial \pi^h}{\partial x^f} \frac{\partial x^f}{\partial t^h} + \frac{\partial \pi^h}{\partial L^h} \frac{\partial L^h}{\partial t^h} + \frac{\partial \pi^h}{\partial t^h} = \pi_{x^h}^h x_{t^h}^h + \pi_{a^h}^h a_{t^h}^h + \pi_{x^f}^h x_{t^h}^f + \pi_{L^h}^h L_{t^h}^h - (x^h - a^h) = x^h p' x_{t^h}^f - (x^h - a^h)$, car $\pi_{x^h}^h = 0$, $\pi_{a^h}^h = 0$ et $\pi_{L^h}^h = 0$ d'après les conditions de premier ordre (3.3), (3.4) et (3.5) respectivement. Donc, (3.23) donne :

$$W_{t^h}^h = x^h p' x_{t^h}^f - (x^h - a^h) + (t^h - \sigma^h(L^h)) (x_{t^h}^h - a_{t^h}^h) + (x^h - a^h) - \sigma_{L^h}^h e^h L_{t^h}^h - D_{e^h}^h (x_{t^h}^h - a_{t^h}^h)$$

$$\iff W_{t^h}^h = x^h p' x_{t^h}^f + (t^h - \sigma^h(L^h)) (x_{t^h}^h - a_{t^h}^h) - l^h L_{t^h}^h - D_{e^h}^h (x_{t^h}^h - a_{t^h}^h) \quad (3.24)$$

où $\sigma_{L^h}^h e^h = l^h$ d'après (3.5). Nous calculons la taxe optimale du gouvernement domestique¹³. La taxe environnementale optimale est donnée par :

¹¹La solution de premier rang à laquelle nous nous référons est la solution pigouvienne : la taxe aux émissions est égale aux dommages marginaux et aux coûts marginaux d'abattements.

¹² $W_{t^h t^h}^h > 0$ si $x_{t^h}^h p' x_{t^h}^f > a_{t^h}^h - x_{t^h}^h$, ce que nous supposons vérifié.

¹³Nous supposons que tout programme de taxation est bénéfique pour le pays h . Dans le

$$W_{t^h}^h = 0 \iff x^h p' x_{t^h}^f + (t^h - \sigma^h(L^h)) (x_{t^h}^h - a_{t^h}^h) - l^h L_{t^h}^h - D_{e^h}^h (x_{t^h}^h - a_{t^h}^h) = 0$$

$$\iff -t^h (x_{t^h}^h - a_{t^h}^h) = x^h p' x_{t^h}^f - l^h L_{t^h}^h - \sigma^h(L^h) (x_{t^h}^h - a_{t^h}^h) - D_{e^h}^h (x_{t^h}^h - a_{t^h}^h)$$

$$\iff t^h = -\frac{x^h p' x_{t^h}^f}{x_{t^h}^h - a_{t^h}^h} + \frac{l^h L_{t^h}^h}{x_{t^h}^h - a_{t^h}^h} + \sigma^h(L^h) + D_{e^h}^h \quad (3.25)$$

La taxe environnementale optimale déterminée par les pouvoirs publics h résulte d'un arbitrage entre plusieurs effets. Tout d'abord les autorités prennent en compte l'impact de la taxe sur les parts de marché de l'entreprise h et donc sur sa production (premier terme de (3.25)). Ce terme représente l'effet de détournement de rente que subit la firme domestique. Il est négatif. Ensuite, les deux termes suivants sont positifs. Ils tendent à renforcer la politique environnementale domestique. Ils rendent compte des effets du lobbying. L'effet de la distorsion du lobby prise en compte par les autorités est donné par $\frac{l^h L_{t^h}^h}{x_{t^h}^h - a_{t^h}^h}$: les pouvoirs publics tentent de réduire la distorsion que créent les groupes de pression en durcissant la politique environnementale, car $L_{t^h}^h < 0$ d'après (3.18). L'anticipation parfaite par le gouvernement de l'influence des lobbies sur la taxe est donnée par $\sigma^h(L^h)$. Enfin, les effets des dommages sont considérés : le dernier terme de (3.25) exprime la variation des dommages en fonction de la variation des émissions émises.

Ainsi, si les effets du lobbying $\sigma^h(L^h) + \frac{l^h L_{t^h}^h}{x_{t^h}^h - a_{t^h}^h}$ excèdent l'effet de détournement de rente, $-\frac{x^h p' x_{t^h}^f}{x_{t^h}^h - a_{t^h}^h}$, alors la politique environnementale est supérieure à la taxe pigouvienne ($t = D_e$). La politique de prévention de la pollution permet aux dommages environnementaux d'être bien plus faibles que dans le cas de non-intervention. La taxe incite l'entreprise à abattre ses émissions et/ou

cas contraire, il aurait été préférable de ne pas taxer les firmes polluantes. La non-intervention aurait été la politique optimale. Par exemple, un cas extrême aurait été tel que toute taxe, même minime, engendrerait la disparition de la firme par délocalisation ou faillite.

à réduire sa production. Cependant, si les coûts marginaux de réduction des émissions sont plus élevés que la taxe, la firme ne limite pas ses émissions et paie la taxe. Inversement, si la taxe est plus élevée que les coûts marginaux d'abattements, alors l'entreprise entreprend des activités de réduction des émissions jusqu'à ce que le coût marginal des abattements égale la taxe¹⁴.

Sachant que $T^h = t^h - \sigma^h(L^h)$ et en substituant (3.25) dans cette équation, on obtient la taxe totale mise en place par le gouvernement :

$$T^h = t^h - \sigma^h(L^h) = -\frac{x^h p' x_{t^h}^f}{x_{t^h}^h - a_{t^h}^h} + \frac{l^h L^h}{x_{t^h}^h - a_{t^h}^h} + D_{e^h}^h \quad (3.26)$$

Les effets des groupes de pression sur la taxe, $\sigma^h(L^h)$, sont pris en compte de manière parfaite par le gouvernement. Ainsi, les pouvoirs publics augmentent d'autant la taxe t^h fixée avant que les groupes de pression n'interviennent. Le lobby n'a donc aucun impact véritable. Il entraîne des coûts supplémentaires pour les firmes. Les autorités étant omniscientes, la taxe totale optimale, donnée par l'équation (3.26), est égale aux dommages marginaux environnementaux et aux coûts liés au lobbying moins l'effet de détournement de rente. Le détournement de rente est subi par la firme domestique parce que la taxe accroît ses coûts : l'entreprise h réduit sa production. Le profit perdu par la firme domestique constitue la rente détournée en faveur de l'entreprise f , $-\frac{x^h p' x_{t^h}^f}{x_{t^h}^h - a_{t^h}^h}$. Cette perte est partiellement compensée par l'accroissement du prix mondial (la diminution de la production domestique n'est que partiellement compensée par la hausse de la production étrangère) puisque $\pi_{x^f x^f}^f < \pi_{x^f x^h}^f$. Le bénéfice marginal s'accroît. Pour résumer, lorsque la taxe augmente, les entreprises diminuent leurs dépenses en lobby et les dommages baissent, et, lorsque la taxe diminue, le détournement de rente et les réductions d'émission diminuent. En particulier, la taxe est accrue quand les deux effets liés au lobbying – l'habileté de pression de la firme, $\sigma^h(L^h)$, et les coûts d'implémentation du lobbying, $l^h L^h$ – augmentent.

La taxe environnementale totale peut être soit supérieure, soit inférieure à

¹⁴Voir les théories sur la taxe pigouvienne.

la taxe pigouvienne, car deux effets s'opposent. La taxe égalise les dommages environnementaux marginaux aux coûts marginaux de réduction d'émission des firmes. Ainsi, la taxe aux émissions optimales que nous devrions obtenir serait $A_{a^h}^h = D_{e^h}^h$. Or, lorsque des firmes se disputent un marché et sont dans une situation de concurrence imparfaite, cet optimum est d'autant plus difficile à obtenir que les gouvernements interviennent stratégiquement. Nous mettons en évidence dans ce modèle qu'en présence de concurrence imparfaite et de lobbying, lorsqu'un unique instrument de politique environnementale est utilisé – et aucun de politique commerciale –, les pouvoirs publics tentent de pallier l'absence du second en faisant triple emploi du premier. La taxe, censée être une clause de sauvegarde de l'environnement, est alors diminuée par rapport à son niveau de premier rang dans le but de limiter les coûts supportés par les entreprises et donc de moins les désavantager sur le marché des produits. Les dommages marginaux qui nuisent au bien-être de la nation, augmentent. Ce phénomène représente ce que nous dénommons la politique environnementale stratégique.

Nous sommes dans une situation de politique environnementale stratégique si $-x^h p' x_{t^h}^f > l^h L_{t^h}^h$. Notons que $\frac{l^h L_{t^h}^h}{x_{t^h}^h - a_{t^h}^h}$ représente la distorsion créée par les groupes de pression. Ce terme correspond aux efforts gouvernementaux exercés pour corriger cette distorsion. Par conséquent, ce terme est positif et accroît le montant de la taxe dès lors que l'action des groupes de pression est anticipée par les autorités.

Lorsque l'Etat est omniscient, la taxe environnementale totale est choisie de manière optimale en compensant totalement le rôle des groupes de pression, en considérant l'effort des entreprises, en évaluant les dommages marginaux et en tentant de détourner le maximum de la rente de l'étranger.

3.3.2 Le gouvernement n'anticipe pas l'action des lobbies

Nous avons jusqu'à présent considéré que le gouvernement anticipe parfaitement l'action des groupes de pression. Cependant, nous levons cette hypothèse forte dans ce paragraphe afin de pouvoir comparer les effets à attendre de telles pressions sur le bien-être du pays domestique lorsque les autorités ne prévoient pas de telles actions. Nous nous référons à l'article de Moore et Suranovic [1993]. Nous mettons en évidence les conséquences sur la modification de l'équilibre par rapport à la situation où les pouvoirs publics anticipent parfaitement les lobbies.

Quand le gouvernement ne peut prévoir les impacts des groupes de pression sur la définition de sa politique environnementale, il cherche à maximiser (3.22) en considérant $L^h = 0$. Toutefois, les effets des groupes de pression demeurent : le profit n'est pas modifié. Nous conservons les valeurs d'équilibre de la seconde étape du jeu (voir (3.16)). Seule la première étape du jeu est modifiée :

$$W^h = \pi^h(x^h, x^f, a^h, L^h; t^h) + t^h e^h - D^h(e^h) \quad (3.27)$$

Notons que les autorités considèrent $\sigma(0) = 0$. L'effet de la taxation sur le bien-être domestique est mesuré par la dérivée de W^h par rapport à t^h sachant $L^h = 0$. Nous calculons la nouvelle taxe optimale, t_0^h .

$$W_{t^h}^h |_{L^h=0} = 0 \iff \frac{d\pi^h}{dt^h} + t^h (x_{t^h}^h - a_{t^h}^h) + e^h - D_{e^h}^h (x_{t^h}^h - a_{t^h}^h) = 0$$

$$\iff x^h p' x_{t^h}^f - (x_{t^h}^h - a_{t^h}^h) + t^h (x_{t^h}^h - a_{t^h}^h) + (x_{t^h}^h - a_{t^h}^h) - D_{e^h}^h (x_{t^h}^h - a_{t^h}^h) = 0$$

$$\iff t^h (x_{t^h}^h - a_{t^h}^h) = -x p' x_{t^h}^f + D_e (x_{t^h}^h - a_{t^h}^h)$$

$$\iff t_0^h = \frac{-x^h p' x_{t^h}^f}{x_{t^h}^h - a_{t^h}^h} + D_{e^h}^h \quad (3.28)$$

Comme les pouvoirs publics n'anticipent pas le lobbying de l'entreprise, les deuxième et troisième termes de (3.25) mesurant la distorsion créée par le lobbying et l'influence des lobbies disparaissent par rapport à (3.28). La taxe après intervention des groupes de pression est donnée par :

$$T_0^h = t_0^h - \sigma_0^h(L^h) = -\frac{x^h p' x_{t^h}^f}{x_{t^h}^h - a_{t^h}^h} + D_{e^h}^h - \hat{\sigma}^h(L^h) \quad (3.29)$$

A nouveau, les résultats sont conformes à Moore et Suranovic [1993]. Le gouvernement choisit initialement une taxe $\bar{t}^h = t_0^h$. Le lobbying de la seconde période a pour conséquence une taxe finale plus faible $T_0^h = t_0^h - \sigma_0^h(L^h)$ ($\sigma^h(L^h)$ représente l'effet des lobbies avec anticipation des autorités et $\sigma_0^h(L^h)$ représente l'effet des lobbies sans anticipation des autorités). La taxe totale mise en place par un gouvernement « naïf » (c'est-à-dire que le gouvernement ne prend pas en compte l'effet du lobbying) est plus faible que lorsque l'Etat est omniscient. La taxe environnementale s'éloigne encore davantage de la taxe optimale pigouvienne si $T^h > t_0^h \iff T^h > T_0^h + \sigma_0^h(L^h) \iff T^h - \sigma_0^h(L^h) > T_0^h$. Dans le cas contraire, si $T^h < t_0^h$, il est concevable que le lobby diminue la taxe finale et rapproche cette taxe environnementale de son niveau optimal avec anticipation des lobbies. Ce changement s'explique par la modification de la fonction de bien-être.

3.4 Intervention étrangère

Nous envisageons dans cette section la mise en place d'une politique environnementale de la part du régulateur f . Les hypothèses définies précédemment sont conservées et étendues à la firme étrangère ainsi qu'à son gouvernement. Le gouvernement étranger choisit une taxe environnementale et l'entreprise f réalise des pressions sur les pouvoirs publics f .

Les résultats de la section précédente restent valables puisque quelle que soit l'intervention étrangère, la taxe t^f agit totalement sur l'entreprise f , mais pas sur la firme h : $\pi_{x^h t^f}^h = 0$ et $\pi_{x^f t^f}^f = 1$. L'effet de t^f sur les profits domestiques et étrangers sont symétriques à l'effet de t^h . Toutefois, les valeurs optimales de nos variables ne sont pas identiques. En effet, lorsque seules les autorités domestiques interviennent, les productions optimales décrites par (3.16) sont de la forme $x^h = f(t^h)$ et $x^f = f(t^h)$. Quand les deux nations mettent en œuvre des politiques de protection de l'environnement, les productions, les réductions d'émission et les dépenses en lobbying optimales deviennent :

$$\begin{aligned} x^h &= f(t^h, t^f), x^f = f(t^h, t^f), a^h = f(t^h, t^f), \\ a^f &= f(t^h, t^f), L^h = f(t^h, t^f), L^f = f(t^h, t^f) \end{aligned} \quad (3.30)$$

Les conditions de premier et de second ordre sont symétriques. Nous ne réécrivons donc pas les valeurs obtenues dans la section précédente¹⁵. Il suffit de substituer les indices h par f et inversement. Les effets sont donc symétriques. Les politiques environnementales sont également symétriques, mais les fonctions de bien-être domestique et étranger s'écrivent désormais $W^h(t^h, t^f)$ et $W^f(t^h, t^f)$. Quand les pouvoirs publics h (f) fixent la taxe optimale bilatérale, ils prennent comme donnée l'effet de la taxe environnementale f (h).

Lorsque les deux pays interviennent dans le but de protéger leur environnement de manière non coopérative, le bien-être joint de ces deux nations se

¹⁵Ces valeurs sont reprises dans l'appendice B.

réduit par rapport à une situation sans intervention. Les taxes environnementales sont détournées de leur but premier, celui de diminuer les émissions. En effet, elles peuvent servir à un triple emploi. D'une part, les taxes diminuent production et/ou émissions de la firme locale et, d'autre part, la taxe opère un détournement de rente en faveur des concurrents. La baisse de la production dans un pays augmente la production de l'autre. Les régulateurs h et f ne souhaitent pas subir ce phénomène. Ils diminuent alors la taxe optimale afin de réduire le détournement de rente. Le pays qui fixe une taxe plus faible s'accapare une rente commerciale. Cet effet stratégique est important lorsque deux gouvernements interviennent. De plus, la présence du lobbying crée une distorsion supplémentaire. Les pouvoirs publics en tiennent compte et adaptent à nouveau leur taxe environnementale. Cependant, la prise en compte des groupes de pression par les gouvernements incite ces derniers à accroître la taxe. Cet effet compense partiellement l'effet de détournement de rente. De la même manière que pour le cas domestique, le gouvernement étranger prend totalement en considération le lobbying. Il établit un niveau de taxe supérieur de $\sigma^f(L^f)$ par rapport à la situation optimale. Seul le détournement de rente joue en faveur d'une réduction de la taxe par rapport à son niveau optimal. Si $-x^f p' x_{tf}^h > l^f L_{tf}^f$, la taxe, fixée par le gouvernement étranger, est inférieure aux dommages environnementaux marginaux. Les deux pays exercent donc la même politique et pratiquent du dumping écologique. C'est la situation du dilemme du prisonnier.

Toutefois, il est important de souligner que le bien-être des nations peut s'améliorer par rapport à la situation où seul un gouvernement intervient. Pour le pays f , l'implémentation de la politique environnementale permet de réduire les dommages. Cette réduction de dommages fait plus que compenser la diminution de profit de la firme f ¹⁶. Pour le pays h , deux raisons peuvent expliquer l'amélioration du bien-être. Premièrement, la firme domestique n'est plus désavantagée par rapport à la firme f , car une politique environnementale

¹⁶Dans une situation extrême, si l'effet de détournement de rente est très élevé, alors la taxe environnementale peut devenir une subvention aux émissions.

est appliquée dans les deux pays. Deuxièmement, la taxe h peut être plus élevée que dans la situation unilatérale ce qui entraîne deux conséquences opposées. D'une part, les dommages sont réduits et, d'autre part, la firme produit moins et/ou abat plus, ce qui renforce la première conséquence, mais réduit le profit de la firme. Ce sont pour ces raisons que le bien-être des pays peut s'améliorer malgré la pratique du dumping écologique.

Par ailleurs, nous avons remarqué que la taxe environnementale (comme les pays et les firmes sont symétriques, t^h et t^f sont symétriques) peut être plus élevée dans la situation bilatérale que dans la situation unilatérale. En effet, la mise en place de la taxe dans le pays f , augmente la production de x^h (d'après la symétrie de (3.19)) donc les dommages h s'accroissent. Si l'effet de la hausse des dommages est plus élevé que l'effet de la hausse du profit (grâce à l'augmentation de la production), alors les pouvoirs publics domestiques augmentent t^h . De plus, l'avantage concurrentiel dont bénéficiait l'entreprise f dans le cas unilatéral n'existe plus, les autorités h peuvent fixer une taxe environnementale plus élevée (le gouvernement h n'a plus autant besoin de soutenir la firme h).

3.5 Politiques environnementales et coopération

Nous allons déterminer dans cette section la taxe optimale coopérative. Les pouvoirs publics fixent cette dernière en cherchant à atteindre un niveau de bien-être joint le plus élevé possible. Ce bien-être est composé des profits des entreprises h et f , des revenus de la taxe et des dommages environnementaux des deux pays producteurs. Nous ne tenons pas compte du pays tiers dans le calcul du bien-être coopératif.

Nous supposons que les pouvoirs publics ont une connaissance parfaite du comportement des entreprises et, plus précisément, ils savent quel est l'effet des lobbies de l'entreprise h et de l'entreprise f sur leurs décisions. Dans ce cas, la taxe environnementale coopérative est déterminée en considérant les profits des entreprises évalués en t^h et en t^f de la situation bilatérale, et donc lorsque les quantités produites, les réductions d'émission et les dépenses en lobbying sont données par (3.30). On obtient¹⁷ :

$$\Omega = W^h(t^h, t^f) + W^f(t^h, t^f) \quad (3.31)$$

Les régulateurs choisissent t^h et t^f en maximisant le bien-être joint par rapport à t^h et par rapport à t^f . Nous obtenons¹⁸ :

¹⁷Nous supposons les CSO vérifiées : $\Omega_{t^h t^h} < 0$, $\Omega_{t^f t^f} < 0$ et $\Omega_{t^h t^h} \Omega_{t^f t^f} - \Omega_{t^h t^f} \Omega_{t^f t^h} > 0$.

¹⁸Se référer à l'appendice mathématique C.

$$\begin{aligned}
t^{hc} = & x^h p' \frac{\pi_{x^f x^h}^f \pi_{a^h a^h}^h}{\pi_{a^h a^h}^h \pi_{a^f a^f}^f + D + \pi_{x^h x^h}^h \pi_{a^f a^f}^f + \pi_{x^f x^f}^f \pi_{a^h a^h}^h} \\
& - x^f p' \frac{\pi_{a^h a^h}^h \left(\pi_{a^f a^f}^f + \pi_{x^f x^f}^f \right)}{\pi_{a^h a^h}^h \pi_{a^f a^f}^f + D + \pi_{x^h x^h}^h \pi_{a^f a^f}^f + \pi_{x^f x^f}^f \pi_{a^h a^h}^h} \\
& + D_{e^h}^h + \sigma^h(L^h) \\
& - \frac{l^h \sigma_{L^h}^h \left(\pi_{x^f x^f}^f \pi_{a^h a^h}^h + D \right) \left(\pi_{x^h x^h}^h \pi_{a^f a^f}^f + D \right)}{\pi_{L^h L^h}^h D \left[\pi_{a^h a^h}^h \pi_{a^f a^f}^f + D + \left(\pi_{x^h x^h}^h \pi_{a^f a^f}^f + \pi_{x^f x^f}^f \pi_{a^h a^h}^h \right) \right]} \\
& - \frac{l^f \sigma_{L^f}^f \left(\pi_{x^h x^h}^h \pi_{a^f a^f}^f + D \right) \pi_{x^f x^h}^f \pi_{a^h a^h}^h}{\pi_{L^f L^f}^f D \left[\pi_{a^h a^h}^h \pi_{a^f a^f}^f + D + \left(\pi_{x^h x^h}^h \pi_{a^f a^f}^f + \pi_{x^f x^f}^f \pi_{a^h a^h}^h \right) \right]}
\end{aligned} \tag{3.32}$$

$$\begin{aligned}
t^{fc} = & x^f p' \frac{\pi_{x^h x^f}^h \pi_{a^f a^f}^f}{\pi_{a^h a^h}^h \pi_{a^f a^f}^f + D + \pi_{x^h x^h}^h \pi_{a^f a^f}^f + \pi_{x^f x^f}^f \pi_{a^h a^h}^h} \\
& - x^h p' \frac{\left(\pi_{a^h a^h}^h + \pi_{x^h x^h}^h \right) \pi_{a^f a^f}^f}{\pi_{a^h a^h}^h \pi_{a^f a^f}^f + D + \pi_{x^h x^h}^h \pi_{a^f a^f}^f + \pi_{x^f x^f}^f \pi_{a^h a^h}^h} \\
& + D_{e^f}^f + \sigma^f(L^f) \\
& - \frac{l^h \sigma_{L^h}^h \left(D + \pi_{a^h a^h}^h \pi_{x^f x^f}^f \right) \pi_{x^h x^f}^h \pi_{a^f a^f}^f}{\pi_{L^h L^h}^h D \left[\pi_{a^h a^h}^h \pi_{a^f a^f}^f + D + \pi_{x^h x^h}^h \pi_{a^f a^f}^f + \pi_{a^h a^h}^h \pi_{x^f x^f}^f \right]} \\
& - \frac{l^f \sigma_{L^f}^f \left(\pi_{x^h x^h}^h \pi_{a^f a^f}^f \right) \left(\pi_{a^h a^h}^h \pi_{x^f x^f}^f + D \right)}{\pi_{L^f L^f}^f D \left[\pi_{a^h a^h}^h \pi_{a^f a^f}^f + D + \pi_{x^h x^h}^h \pi_{a^f a^f}^f + \pi_{a^h a^h}^h \pi_{x^f x^f}^f \right]}
\end{aligned} \tag{3.33}$$

La taxe environnementale domestique (étrangère¹⁹) optimale choisie de manière coopérative est de signe positif. Elle dépend de plusieurs effets. Les gouvernements prennent en compte l'effet de détournement de rente au profit de la firme domestique qui est négatif (premier terme de (3.32)) : si la taxe diminue, l'entreprise h devient plus compétitive et peut gagner des parts de marché. C'est un effet que nous avons dans le cas unilatéral et dans le cas bilatéral. Cependant, cet effet est compensé par l'effet de détournement de rente subi par

¹⁹Les commentaires sur t^{fc} sont similaires à ceux sur t^{hc} . Nous ne les reproduisons donc pas.

la firme f (second terme de (3.32)). L'entreprise f perd des parts de marché si t^h diminue, ce qui joue en faveur d'une réduction du bien-être du pays f . Ensuite, les régulateurs considèrent l'effet des dommages locaux sur le bien-être de chacun des pays (troisième terme de (3.32)). De plus, ils anticipent parfaitement l'action des lobbies, donc la taxe domestique coopérative optimale dépend de l'influence des groupes de pression (quatrième terme de (3.32)). Enfin, les effets des distorsions domestiques et étrangères du lobbying sont également considérés par les autorités (deux derniers termes de (3.32)). Ces dernières corrigent ces distorsions en augmentant la taxe environnementale.

Au total, la taxe optimale coopérative est supérieure à la taxe non coopérative et à la taxe pigouvienne. Les pouvoirs publics corrigent trois distorsions à l'aide d'un instrument de politique environnementale : la distorsion créée par les groupes de pression, les dommages environnementaux et la concurrence imparfaite.

Nous vérifions que l'effet de détournement de rente subi par la firme f est supérieur à l'effet de détournement de rente au profit de la firme h :

$$\begin{aligned}
& -x^f p' \frac{\pi_{a^h a^h}^h \left(\pi_{a^f a^f}^f + \pi_{x^f x^f}^f \right)}{\pi_{a^h a^h}^h \pi_{a^f a^f}^f + D + \pi_{x^h x^h}^h \pi_{a^f a^f}^f + \pi_{x^f x^f}^f \pi_{a^h a^h}^h} > \\
& x^h p' \frac{\pi_{x^f x^h}^f \pi_{a^h a^h}^h}{\pi_{a^h a^h}^h \pi_{a^f a^f}^f + D + \pi_{x^h x^h}^h \pi_{a^f a^f}^f + \pi_{x^f x^f}^f \pi_{a^h a^h}^h} \\
& \iff -x^f \pi_{a^h a^h}^h \left(\pi_{a^f a^f}^f + \pi_{x^f x^f}^f \right) > x^h \pi_{x^f x^h}^f \pi_{a^h a^h}^h \\
& \iff x^h \pi_{x^f x^h}^f \pi_{a^h a^h}^h + x^f \pi_{a^h a^h}^h \left(\pi_{a^f a^f}^f + \pi_{x^f x^f}^f \right) < 0
\end{aligned}$$

ce qui est vérifié d'après les résultats précédents. La taxe coopérative étant supérieure à la taxe non coopérative, les entreprises produisent moins qu'à l'équilibre non coopératif. Le prix du bien augmente ce qui compense au moins partiellement la réduction de la production. Le bien-être du pays tiers diminue puisque les quantités exportées baissent et le prix du bien augmente.

Nous remarquons également que l'effet négatif du détournement de rente

est plus faible avec la taxe coopérative qu'avec la taxe non-coopérative. Nous mesurons ce phénomène par, tout d'abord, la réécriture de l'équation (3.25) :

$$\begin{aligned}
t^h &= -\frac{x^h p' x_{t^h}^f}{x_{t^h}^h - a_{t^h}^h} + \frac{l^h L_{t^h}^h}{x_{t^h}^h - a_{t^h}^h} + \sigma^h(L^h) + D_{e^h}^h \\
\iff t^h &= -\frac{x^h p' \frac{\pi_{x^f x^h}^f \pi_{x^h x^h}^h \pi_{L^h L^h}^h \pi_{a^h a^h}^h}{\Delta^{t^h}}}{\frac{-\pi_{x^f x^f}^f \pi_{x^h x^h}^h \pi_{L^h L^h}^h \pi_{a^h a^h}^h}{\Delta^{t^h}} - \frac{D \pi_{x^h x^h}^h \pi_{L^h L^h}^h}{\Delta^{t^h}}} \\
&\quad + \frac{l^h \sigma_{L^h}^h \pi_{x^h x^h}^h \left[D + \pi_{a^h a^h}^h \pi_{x^f x^f}^f \right]}{\frac{-\pi_{x^f x^f}^f \pi_{x^h x^h}^h \pi_{L^h L^h}^h \pi_{a^h a^h}^h}{\Delta^{t^h}} - \frac{D \pi_{x^h x^h}^h \pi_{L^h L^h}^h}{\Delta^{t^h}}} + \sigma^h(L^h) + D_{e^h}^h \\
\iff t^h &= \frac{x^h p' \pi_{x^f x^h}^f \pi_{x^h x^h}^h \pi_{L^h L^h}^h \pi_{a^h a^h}^h}{\pi_{x^f x^f}^f \pi_{x^h x^h}^h \pi_{L^h L^h}^h \pi_{a^h a^h}^h + D \pi_{x^h x^h}^h \pi_{L^h L^h}^h} \\
&\quad - \frac{l^h \sigma_{L^h}^h \pi_{x^h x^h}^h \left[D + \pi_{a^h a^h}^h \pi_{x^f x^f}^f \right]}{\pi_{x^f x^f}^f \pi_{x^h x^h}^h \pi_{L^h L^h}^h \pi_{a^h a^h}^h + D \pi_{x^h x^h}^h \pi_{L^h L^h}^h} + \sigma^h(L^h) + D_{e^h}^h \\
\iff t^h &= \frac{x^h p' \pi_{x^f x^h}^f \pi_{a^h a^h}^h}{\pi_{x^f x^f}^f \pi_{a^h a^h}^h + D} - \frac{l^h \sigma_{L^h}^h \left[D + \pi_{a^h a^h}^h \pi_{x^f x^f}^f \right]}{\pi_{L^h L^h}^h \left[\pi_{x^f x^f}^f \pi_{a^h a^h}^h + D \right]} + \sigma^h(L^h) + D_{e^h}^h \\
\iff t^h &= \frac{x^h p' \pi_{x^f x^h}^f \pi_{a^h a^h}^h}{\pi_{x^f x^f}^f \pi_{a^h a^h}^h + D} - \frac{l^h \sigma_{L^h}^h}{\pi_{L^h L^h}^h} + \sigma^h(L^h) + D_{e^h}^h \tag{3.34}
\end{aligned}$$

L'effet de détournement de rente (premier terme de (3.34)) de la taxe domestique en mode non coopératif est plus important que l'effet de détournement de rente du mode coopératif²⁰ :

$$\frac{x^h p' \pi_{x^f x^h}^f \pi_{a^h a^h}^h}{\pi_{x^f x^f}^f \pi_{a^h a^h}^h + D} > x^h p' \frac{\pi_{x^f x^h}^f \pi_{a^h a^h}^h}{\pi_{a^h a^h}^h \pi_{a^f a^f}^f + D + \left(\pi_{x^h x^h}^h \pi_{a^f a^f}^f + \pi_{x^f x^f}^f \pi_{a^h a^h}^h \right)}$$

²⁰Par un procédé similaire, nous montrons que le détournement de rente du pays étranger en coopération a moins d'importance qu'en mode non coopératif.

$$\Leftrightarrow \frac{1}{\pi_{x^f x^f}^f \pi_{a^h a^h}^h + D} > \frac{1}{\pi_{a^h a^h}^h \pi_{a^f a^f}^f + D + \left(\pi_{x^h x^h}^h \pi_{a^f a^f}^f + \pi_{x^f x^f}^f \pi_{a^h a^h}^h \right)}$$

$$\Leftrightarrow \pi_{a^h a^h}^h \pi_{a^f a^f}^f + D + \left(\pi_{x^h x^h}^h \pi_{a^f a^f}^f + \pi_{x^f x^f}^f \pi_{a^h a^h}^h \right) > \pi_{x^f x^f}^f \pi_{a^h a^h}^h + D$$

$$\Leftrightarrow \pi_{a^f a^f}^f \left(\pi_{a^h a^h}^h + \pi_{x^h x^h}^h \right) > 0$$

ce qui est vérifié d'après les conditions de second ordre.

D'après Pigou, la taxe environnementale doit être égale aux dommages marginaux des émissions. Toutefois, la politique coopérative ne mène pas à cette solution. Nous montrons que la taxe optimale établie dans le mode coopératif est supérieure à la taxe pigouvienne. Ce phénomène s'explique par l'existence de trois distorsions qui ne sont corrigées que par notre unique instrument, la taxe environnementale : la distorsion issue de la concurrence oligopolistique, l'externalité négative des dommages environnementaux et la distorsion créée par les lobbies. C'est pourquoi les taxes t^{h^c} et t^{f^c} sont supérieures respectivement à t^h et t^f ²¹.

Les taxes environnementales coopératives totales sont données par :

²¹La preuve est exposée dans l'appendice C.

$$\begin{aligned}
T^{h^c} = & x^h p' \frac{\pi_{x^f x^h}^f \pi_{a^h a^h}^h}{\pi_{a^h a^h}^h \pi_{a^f a^f}^f + D + \pi_{x^h x^h}^h \pi_{a^f a^f}^f + \pi_{x^f x^f}^f \pi_{a^h a^h}^h} + D_{e^h}^h \quad (3.35) \\
& - x^f p' \frac{\pi_{a^h a^h}^h \left(\pi_{a^f a^f}^f + \pi_{x^f x^f}^f \right)}{\pi_{a^h a^h}^h \pi_{a^f a^f}^f + D + \pi_{x^h x^h}^h \pi_{a^f a^f}^f + \pi_{x^f x^f}^f \pi_{a^h a^h}^h} \\
& \frac{l^h \sigma_{L^h}^h \left(D + \pi_{a^h a^h}^h \pi_{x^f x^f}^f \right) \left(\pi_{x^h x^h}^h \pi_{a^f a^f}^f + D \right)}{\pi_{L^h L^h}^h D \left[\pi_{a^h a^h}^h \pi_{a^f a^f}^f + D + \pi_{x^h x^h}^h \pi_{a^f a^f}^f + \pi_{x^f x^f}^f \pi_{a^h a^h}^h \right]} \\
& \frac{l^f \sigma_{L^f}^f \left(D + \pi_{x^h x^h}^h \pi_{a^f a^f}^f \right) \pi_{x^f x^h}^f \pi_{a^h a^h}^h}{\pi_{L^f L^f}^f D \left[\pi_{a^h a^h}^h \pi_{a^f a^f}^f + D + \pi_{x^h x^h}^h \pi_{a^f a^f}^f + \pi_{x^f x^f}^f \pi_{a^h a^h}^h \right]}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
T^{f^c} = & x^f p' \frac{\pi_{x^h x^f}^h \pi_{a^f a^f}^f}{\pi_{a^h a^h}^h \pi_{a^f a^f}^f + D + \pi_{x^h x^h}^h \pi_{a^f a^f}^f + \pi_{x^f x^f}^f \pi_{a^h a^h}^h} + D_{e^f}^f \quad (3.36) \\
& - x^h p' \frac{\left(\pi_{a^h a^h}^h + \pi_{x^h x^h}^h \right) \pi_{a^f a^f}^f}{\pi_{a^h a^h}^h \pi_{a^f a^f}^f + D + \pi_{x^h x^h}^h \pi_{a^f a^f}^f + \pi_{x^f x^f}^f \pi_{a^h a^h}^h} \\
& \frac{l^h \sigma_{L^h}^h \left(D + \pi_{a^h a^h}^h \pi_{x^f x^f}^f \right) \pi_{x^h x^f}^h \pi_{a^f a^f}^f}{\pi_{L^h L^h}^h D \left[\pi_{a^h a^h}^h \pi_{a^f a^f}^f + D + \pi_{x^h x^h}^h \pi_{a^f a^f}^f + \pi_{x^f x^f}^f \pi_{a^h a^h}^h \right]} \\
& \frac{l^f \sigma_{L^f}^f \left(D + \pi_{x^h x^h}^h \pi_{a^f a^f}^f \right) \left(\pi_{a^h a^h}^h \pi_{x^f x^f}^f + D \right)}{\pi_{L^f L^f}^f D \left[\pi_{a^h a^h}^h \pi_{a^f a^f}^f + D + \pi_{x^h x^h}^h \pi_{a^f a^f}^f + \pi_{x^f x^f}^f \pi_{a^h a^h}^h \right]}
\end{aligned}$$

Les équations (3.35) et (3.36) montrent que les gouvernements anticipent la diminution de la taxe causée par les groupes de pression. La taxe coopérative avant action des lobbys, t^{h^c} pour le pays domestique et t^{f^c} pour l'étranger, est donc plus élevée. Le lobby n'a pas d'effet pour la firme sinon d'accroître son coût total et le coût en termes de bien-être pour la société comme dans le cas non coopératif. Mais, elle est obligée de réaliser des pressions puisque les autorités anticipent du lobby. Ce phénomène rejoint la conclusion de Moore et Suranovic [1993] dans l'optique de subventions à l'exportation. La taxe est choisie à un niveau supérieur qui compense parfaitement l'influence future du lobby et partiellement la distorsion que les lobbies occasionnent.

Par ailleurs, il est intéressant de noter que la correction de la distor-

sion créée par les groupes de pression n'est pas identique au mode non coopératif. Dans cette dernière situation, nous avons $\frac{l^f L_{tf}^f}{x_{tf}^f - a_{tf}^f}$, soit $\frac{l^h \sigma_{L^h}^h}{\pi_{L^h L^h}^h}$. Or, $\frac{(D + \pi_{a^h a^h}^h \pi_{x^f x^f}^f) \pi_{x^h x^f}^h \pi_{a^f a^f}^f}{D [\pi_{a^h a^h}^h \pi_{a^f a^f}^f + D + \pi_{x^h x^h}^h \pi_{a^f a^f}^f + \pi_{x^f x^f}^f \pi_{a^h a^h}^h]}$ est inférieur à 1. La prise en compte de la distorsion du lobby domestique dans la taxe optimale coopérative domestique est donc plus faible. Toutefois, nous ne pouvons pas évaluer la correction des distorsions dues aux lobbies h et f . Elle peut être soit plus forte soit plus petite que celle du mode non coopératif (sachant que dans le mode non coopératif, les autorités ne se préoccupaient uniquement du lobbying local), car chaque pays prend en compte en plus le lobby de l'autre pays. La coopération fait que les gouvernements se partagent la correction de la distorsion causée par les groupes de pression domestiques et étrangers, mais nous ne pouvons évaluer l'effet total sur la taxe aux émissions coopérative. Nous estimons que l'effet des groupes de pression pris en compte dans la taxe coopérative est plus faible, car la taxe est plus élevée que lorsque la politique est unilatérale : d'après (3.18), si t^h augmente, L^h diminue.

3.6 Un Exemple d'une taxe environnementale stratégique en présence de groupes de pression

Dans cette section, nous illustrons nos résultats généraux par un exemple. Les fonctions de coût de production, de coût de réduction d'émission, de coût de lobbying, de dommages, de demande inverse et de mesure de l'impact des groupes de pression sont spécifiées. Ainsi, nous établissons :

$$\begin{aligned}
 p(x^h, x^f) &\equiv 1 - (x^h + x^f) \\
 c^k(x^k) &\equiv \frac{x^{k2}}{2} \\
 A^k(a^k) &\equiv \frac{a^{k2}}{2} \\
 \sigma^k(L^k) &\equiv L^k \\
 D^k(E^k) &\equiv \frac{(x^k - a^k)^2}{2}
 \end{aligned}$$

avec $k = h, f$. De plus, la fonction liée au coût du lobbying s'écrit désormais $l^h \frac{L^{h2}}{2}$ qui est croissante et convexe. Nous insistons également sur la fonction de l'effet des groupes de pression. Alors que dans notre modélisation nous la supposons croissante et concave, dans cet exemple elle est linéaire, ceci afin de simplifier les calculs et le nombre de solutions possibles.

A chacun des comportements des gouvernements (non intervention du pays f , intervention de f et coopération), le paramètre exprimant le coût unitaire du lobbying peut prendre deux valeurs. Une valeur faible, $l^h = 1$, et une autre élevée, $l^h = 10$. Nous observons ainsi les réactions des entreprises et des autorités face à ce changement de paramètre.

Le second tableau de chaque sous partie décrit une situation dans laquelle les pouvoirs publics n'anticipent pas l'impact des groupes de pression²².

²²Notre problème est concave pour des valeurs de $l^h \geq \frac{2}{3}$.

3.6.1 Politique environnementale unilatérale

Puisque seul le gouvernement domestique intervient, l'entreprise domestique est la seule à supporter les coûts d'une politique environnementale. Lorsque le coût unitaire de l'investissement dans les groupes de pression est faible, sa production est inférieure à celle de sa rivale : 0.20 contre 0.26. Le profit de la firme h est par conséquent plus faible que celui de f et ce, d'autant plus que viennent s'ajouter les dépenses en lobbying et en réductions d'émission. Du point de vue du bien-être, les pertes commerciales sont compensées par la diminution des dommages environnementaux. En effet, le bien-être du pays h dépasse celui de f .

Avec $l^h = 10$, l'entreprise domestique diminue fortement ses investissements en groupes de pression (baisse de 85%). Elle consacre davantage de ressources à sa production. Parallèlement, le gouvernement h prend en compte le coût très élevé des groupes de pression. Il met ainsi en place une taxe aux émissions près de deux fois moins élevée, ce qui permet à la firme de diminuer sa lutte contre la pollution. Nous remarquons que bien que le taux de paiement de l'utilisation des ressources en lobbying soit multiplié par 10, le nombre d'unité de lobbying n'est pas divisé par 10. La firme domestique consacre donc, en proportion, plus de fonds aux lobbies lorsque l^h est élevé.

Comme la production de l'entreprise h est plus élevée quand $l^h = 10$, la production de f est plus faible. Toutefois, la production supplémentaire h n'est pas totalement compensée par la diminution de la production de f . La firme domestique met plus de biens en vente sur le marché et diminue ses abattements. Elle augmente son profit. L'inverse se réalise pour l'entreprise concurrente. Au total, le bien-être est plus faible dans le pays f et W^h est plus élevé. La diminution des dépenses en lobbying et le détournement de rente (accroissement de x^h) compensent la hausse des dommages environnementaux (ceux-ci augmentent, car la production augmente et, dans le même temps, les abattements diminuent). De plus, l'accroissement du bien-être du pays h fait plus que compenser la détérioration du bien-être de la nation f . Le bien-être global, dans lequel n'est pas considérée l'éventuelle présence d'un pays

consommateur, est donc plus élevé que lorsque le taux de paiement du lobbying est faible.

Tableau 3.1 : Intervention unilatérale et anticipation des groupes de pression

	$l^h = 1$	$l^h = 10$
x^h	0.201835	0.211829
x^f	0.266055	0.262724
a^h	0.12844	0.101788
L^h	0.0733945	0.0110041
t^h	0.201835	0.112792
T^h	0.12844	0.101788
π^h	0.0666611	0.0718825
π^f	0.106178	0.103535
W^h	0.0733945	0.0770289
W^f	0.0707853	0.0690236
Ω	0.14418	0.146053

Lorsque l'impact des groupes de pression n'est pas anticipé par les gouvernants, les valeurs sont fortement altérées. Ceci est d'autant plus vérifié quand le coût unitaire de l'utilisation des ressources en lobbying est faible. Si $l^h = 10$, la firme domestique investit peu dans les groupes de pression. Tout changement de comportement reste marginal. Les conséquences sont faibles.

Si $l^h = 1$, L^h est quatre fois plus élevé que dans la situation où les effets du lobbying sont anticipés. Il est très intéressant pour la firme domestique d'investir dans les groupes de pression, car l'Etat n'anticipant pas ses actions offre une subvention aux abattements (la taxe aux émissions est négative : $T^h = -0.0235294$). Ainsi, la firme h profite de cette subvention aux émissions afin de s'octroyer des parts de marché au détriment de sa rivale f . x^h est nettement supérieur à la situation dans laquelle les lobbies sont parfaitement anticipés par les gouvernements. Par conséquent, la production étrangère se

réduit. La subvention permet un détournement de rentes de l'entreprise f vers h . Ces actions de la firme h n'aboutissent pourtant pas à une augmentation de son profit. Produire davantage peut permettre un accroissement des profits, mais deux effets négatifs s'y opposent. Premièrement, la production mondiale s'est élevée de 0.467 à 0.505 (malgré la baisse de x^f), le prix a donc diminué. Deuxièmement, les dépenses en lobbying ont fortement cru. Ces deux effets négatifs font plus que compenser les produits liés à une vente accrue de biens, c'est pourquoi le profit diminue. Du point de vue de la firme domestique, il est préférable que les gouvernements anticipent les actions des groupes de pression.

De plus, la non anticipation des lobbies par les pouvoirs publics a des conséquences importantes en termes de bien-être. Celui-ci chute de 0.0733945 à 0.0266513. Pour le pays f , ce comportement de l'entreprise h est néfaste : la perte des parts de marché de l'entreprise f implique une réduction du profit et du bien-être du pays f . La diminution des émissions (conséquence de la baisse de x^f) est plus que compensée par la perte des parts de marché. Au total, le bien-être joint de ces deux pays producteurs se réduit.

Si $l^h = 10$, les remarques précédentes, pour le cas où $l^h = 1$, sont symétriques. Cependant, les effets sont plus faibles, car entreprendre des activités de lobbying est fort coûteux. La firme h cherche à capturer des rentes par une augmentation de sa production (de 0.212 à 0.216), ce qui lui est possible, car les lobbies sont plus efficaces puisque non anticipés. La taxe est donc moins élevée et la firme peut envisager de moins dépolluer (de 0.1018 à 0.0918). Contrairement à la situation où le coût du lobbying est faible, π^h est plus grand. L'entreprise domestique ne surinvestit pas dans les groupes de pression.

Cependant, quand bien même le profit augmente, la hausse des dommages environnementaux est plus élevée. Le bien-être, W^h , est réduit. W^f diminue également. L'entreprise f perd quelques parts de marché ce qui réduit ses bénéfices. La diminution de la pollution dans ce pays ne permet pas de compenser cette perte. Au total, Ω se réduit, mais dans une proportion moindre que lorsque $l^h = 1$: Ω décroît de 0.146 à 0.145.

Tableau 3.2 : Intervention unilatérale et non anticipation des groupes de pression

	$l^h = 1$	$l^h = 10$
x^h	0.258824	0.215575
x^f	0.247059	0.261475
a^h	-0.0235294	0.0917999
L^h	0.282353	0.0123775
t^h	0.258824	0.104177
T^h	-0.0235294	0.0917999
π^h	0.0608997	0.0731565
π^f	0.0915571	0.102554
W^h	0.0266513	0.0768589
W^f	0.0610381	0.0683692
Ω	0.0876894	0.145228

3.6.2 Interventions bilatérales

Lorsque les gouvernements appliquent la même politique environnementale, un premier constat s'impose. Les taxes aux émissions, avant effets du lobbying, sont plus élevées que dans le cas où seul un pays intervient. Etant donné que le désavantage dû à l'implémentation d'une taxe environnementale est désormais partagé par les deux firmes, les autorités domestiques compensent moins la perte commerciale de l'entreprise par une diminution de t^h la firme h n'est plus désavantagée par rapport à la firme f . La production étrangère diminue à cause de la nouvelle politique environnementale. L'entreprise h en bénéficie et les niveaux de production s'établissent à 0.214 (au lieu de 0.202 pour la firme h quand l'intervention était unilatérale et $l^h = 1$). La production mondiale est plus faible. Le prix augmente et permet une augmentation de π^h . π^f subit l'effet inverse, car sa production chute et s'ajoutent des coûts de lobbying et de réductions d'émission. Le bien-être des deux nations augmente, toutefois les causes sont différentes. Pour W^h l'effet du détournement de rente au profit de

la firme f est réduit, puisque le pays domestique n'est plus seul à intervenir. t^h augmente et incite à lutter davantage contre la pollution : a^h croît. De plus, x^h augmente. Les firmes partagent les parts de marché parce qu'elles subissent à l'identique les coûts environnementaux. L'entreprise f perd l'avantage de ne pas avoir à lutter contre la pollution. Ceci se traduit par une diminution de W^f , mais la réduction des dommages environnementaux compense cette baisse de la compétitivité. Comme W^h et W^f sont supérieurs à la situation unilatérale, Ω l'est également.

Dans cet exemple, nous remarquons que le bien-être de chacune des nations progresse par rapport au cas où seules les autorités de h intervenaient. Ce phénomène souligne l'importance de prendre des mesures face à des externalités négatives. Le dumping écologique est préférable en termes de bien-être à la non-intervention. Toutefois, il est souhaitable d'éviter le dilemme du prisonnier. Nous soulignons la nécessité de prendre des mesures de protection de l'environnement, même si elles font l'objet de dumping écologique.

Comparativement à $l^h = l^f = 1$, lorsque $l^h = l^f = 10$, les taxes aux émissions deviennent faibles, ceci afin de diminuer le coût des groupes de pression. Par conséquent, les niveaux de production, les profits et les biens-être s'accroissent alors que les abattements et les taxes totales baissent. Les entreprises gaspillent moins de ressource dans la mise en place de groupes de pression, ce qui compense la hausse des dommages (augmentation de la production et diminution des émissions). Ω augmente.

Par ailleurs, il ne faut pas oublier le fait que les autorités cherchent à donner un avantage commercial à leurs firmes par une diminution progressive de la taxe. Nous sommes dans une situation de dumping écologique. Sans cette tentation commerciale, les taxes environnementales seraient plus élevées. Comme notre exemple est symétrique, nous obtenons une taxe identique quel que soit le pays.

Tableau 3.3 : Interventions bilatérales et anticipation des groupes de pression

	$l^h = l^f = 1$	$l^h = l^f = 10$
x^h	0.214286	0.223279
x^f	0.214286	0.223279
a^h	0.142857	0.106883
a^f	0.142857	0.106883
L^h	0.0714286	0.0116396
L^f	0.0714286	0.0116396
t^h	0.214286	0.118523
t^f	0.214286	0.118523
T^h	0.142857	0.106883
T^f	0.142857	0.106883
π^h	0.0765306	0.079815
π^f	0.0765306	0.079815
W^h	0.0841837	0.0854818
W^f	0.0841837	0.0854818
Ω	0.168367	0.170964

La non-anticipation des groupes de pression en présence d'interventions bilatérales a des conséquences similaires au cas où seules les autorités domestiques agissent et ce, quelle que soit la valeur de l^k . En effet, la production y est plus élevée, les dépenses en lobbying également. Les réductions d'émission, le montant des taxes et le bien-être de chacune des nations se réduisent. A nouveau, ce phénomène est plus souligné avec l^k petit. Concernant les profits, si $l^h = l^f = 1$, ils diminuent, mais si $l^h = l^f = 10$, alors ils augmentent. Quand $l^h = l^f = 1$, la situation est particulière : la taxe totale disparaît, mais ne devient pas une subvention comme dans le cas précédent ; les entreprises ne mettent pas en œuvre de réductions d'émission. Toutefois, les profits diminuent : les dépenses occasionnées par les groupes de pression sont beaucoup trop importantes. Avec $l^h = l^f = 10$, il devient intéressant d'entretenir des lob-

bies et que ceux-ci ne soient pas anticipés. La hausse des profits est néanmoins faible : de 0.0798 à 0.0804.

Du point de vue du bien-être des pays producteurs, ne pas anticiper l'action des groupes de pression est fort coûteux (il n'y a pas de taxe environnementale quand $l^k = 1$). Plus l^k est petit, plus le bien-être collectif sera faible, car les entreprises surinvestissent dans les lobbies.

Tableau 3.4 : Interventions bilatérales et non anticipation des groupes de pression

	$l^h = l^f = 1$	$l^h = l^f = 10$
x^h	0.25	0.226049
x^f	0.25	0.226049
a^h	0	0.0958046
a^f	0	0.0958046
L^h	0.25	0.0130244
L^f	0.25	0.0130244
t^h	0.25	0.108829
t^f	0.25	0.108829
T^h	0	0.0958046
T^f	0	0.0958046
π^h	0.0625	0.0803882
π^f	0.0625	0.0803882
W^h	0.03125	0.0843844
W^f	0.03125	0.0843844
Ω	0.0625	0.168769

3.6.3 Coopération

Les pays h et f décident de coopérer. Par conséquent, les effets commerciaux conduisant au dumping écologique disparaissent. C'est pourquoi les taxes aux émissions augmentent de manière significative. Elles s'établissent à

0.209441 (0.142268 dans la situation bilatérale) si $l^h = l^f = 1$ ($l^h = l^f = 10$). En parallèle, l'anticipation de l'impact des groupes de pression se fait plus grande. Les pays prennent en compte le lobby de chaque entreprise. Ils corrigent les distorsions engendrées par les groupes de pression et la concurrence imparfaite sur le marché des produits. Ainsi, les entreprises pratiquent moins de lobbying : 0.0472 (0.0082) si $l^h = l^f = 1$ ($l^h = l^f = 10$) au lieu de 0.0714 (0.0116). Les niveaux de productions diminuent et les réductions d'émission augmentent.

Le bien-être de chacun des pays augmente. Cette amélioration est d'autant plus prononcée que l^k est grand : $W^{coopération} = 0.0844$ et $W^{bilatéral} = 0.0842$ si $l^k = 1$ et $W^{coopération} = 0.0866$ et $W^{bilatéral} = 0.0855$ si $l = 10$.

Une nouvelle fois, la variation du profit dépend du taux de paiement de l'utilisation des ressources en lobbying. Si $l^h = l^f = 1$, les profits h et f grandissent. L'inverse est obtenu si $l^h = l^f = 10$.

Tableau 3.5 : Coopération et anticipation des groupes de pression

	$l^h = l^f = 1$	$l^h = l^f = 10$
x^h	0.209441	0.216495
x^f	0.209441	0.216495
a^h	0.162234	0.134021
a^f	0.162234	0.134021
L^h	0.0472074	0.00824742
L^f	0.0472074	0.00824742
t^h	0.209441	0.142268
t^f	0.209441	0.142268
T^h	0.162234	0.134021
T^f	0.162234	0.134021
π^h	0.0778443	0.0789457
π^f	0.0778443	0.0789457
W^h	0.0843887	0.0865979
W^f	0.0843887	0.0865979
Ω	0.168777	0.173196

L'ignorance des lobbies dans le calcul de la taxe environnementale coopérative optimale offre des résultats similaires au cas non coopératif. Pourtant, les entreprises bénéficient de leur avantage informationnel au détriment de leur gouvernement respectif. Elles augmentent ainsi leurs dépenses en lobbying. Plus le coût de l'exploitation des ressources des groupes de pression est faible plus les investissements dans les lobbies sont élevés. Si $l^h = l^f = 1$, $L^h = L^f = 0.191805$ et si $l^h = l^f = 10$, $L^h = L^f = 0.009224$: le coût l^k est multiplié par 10, mais les dépenses sont divisées par 21. En conséquence, les niveaux de productions augmentent en même temps que diminuent les réductions d'émission et que les niveaux de bien-être baissent. Les effets s'estompent à mesure que l^k grandit. Les profits sont tantôt inférieurs ($l^h = l^f = 1$), tantôt supérieurs ($l^h = l^f = 10$) à ceux réalisés lorsqu'ils sont anticipés parfaitement par les pouvoirs publics. Les lobbies représentent un coût très important pour

les firmes quand $l^h = l^f = 1$. Les entreprises surinvestissent dans les groupes de pression ce qui se traduit par un profit plus faible. La hausse de l^h et de l^f joue comme un avertissement pour les entreprises qui seraient tentés d'y consacrer trop de ressources.

Tableau 3.6 : Coopération et non anticipation des groupes de pression

	$l^h = l^f = 1$	$l^h = l^f = 10$
x^h	0.238361	0.218448
x^f	0.238361	0.218448
a^h	0.046556	0.126208
a^f	0.046556	0.126208
L^h	0.191805	0.009224
L^f	0.191805	0.009224
t^h	0.202703	0.135432
t^f	0.202703	0.135432
T^h	0.046556	0.126208
T^f	0.046556	0.126208
π^h	0.0679131	0.0791181
π^f	0.0679131	0.0791181
W^h	0.0584482	0.0865054
W^f	0.0584482	0.0865054
Ω	0.116896	0.173011

A l'aide de cet exemple, nous avons pu mettre en évidence les résultats obtenus dans la section précédente. Le rôle des groupes de pression est complexe et tend à aggraver les comportements de dumping écologique lorsque l'action des lobbies n'est pas anticipée. De plus, les coûts engendrés par ces activités pénalisent l'ensemble de l'économie : le lobbying crée une nouvelle distorsion. Avec la coopération, les nations essaient de réguler à la fois les problèmes écologiques liés aux émissions polluantes, l'imperfection du marché des produits qui

mène régulièrement au dumping écologique, et les effets des groupes de pression. Cependant, comme nous avons pu auparavant le souligner, l'usage d'un seul instrument économique ne peut résorber ces distorsions. Il est préconisé d'attribuer un instrument par distorsion.

La présence de la taxe environnementale en concurrence imparfaite rend difficile l'obtention d'un optimum au sens de Pigou. Les gouvernements ne peuvent que dévier de la solution pigouvienne ou de premier rang préconisée, car trois distorsions sont présentes (le lobbying, la concurrence imparfaite et la pollution) et il n'y a qu'un instrument pour les corriger : la taxe environnementale. Les interactions stratégiques entre les différents agents, les firmes et les gouvernements, justifient la triple utilisation de la taxe comme instrument de régulation.

Dans les situations unilatérales et bilatérales, les pouvoirs publics soutiennent leur entreprise en utilisant la distorsion sur le marché des biens. Ils ne sont pas incités à réduire cette distorsion comme ils le font pour la pollution ou les lobbies. L'effet de l'imperfection de la concurrence est plus important que l'effet des groupes de pression. C'est pourquoi la taxe environnementale est plus faible que la taxe pigouvienne. Dans la situation bilatérale, deux effets opposés viennent s'ajouter aux précédents. Ils renforcent ou diminuent l'effet de la concurrence imparfaite en fonction des paramètres du modèle. D'une part, lorsque le pays étranger met en œuvre une politique environnementale, les entreprises font toutes face à des coûts de réductions d'émission, contrairement à la situation unilatérale. Les pouvoirs publics domestiques et étrangers ne sont pas incités à réduire leur taxe environnementale afin de diminuer un différentiel de coût entre les firmes. Au contraire, ils augmentent la taxe. D'autre part, chaque pays a intérêt de pratiquer une taxe légèrement plus faible que l'autre afin de détourner une rente.

La plupart de ces effets sont coûteux en termes de bien-être. Nous montrons donc que les gouvernements ont intérêt de coopérer afin d'améliorer leur bien-être. La coopération pousse les pouvoirs publics à accroître la taxe au-delà de la taxe pigouvienne. En effet, comme l'a démontré Barrett [1994] dans le cas de normes environnementales, les politiques bilatérales conduisent au dilemme du prisonnier : le bien-être des deux pays est plus faible. C'est pourquoi nous avons envisagé la coopération comme un moyen de résoudre les problèmes liés aux comportements stratégiques des agents. D'une part, les autorités ne donnent

plus un avantage stratégique à leur firme, mais ils corrigent la distorsion de la concurrence imparfaite en augmentant la taxe. D'autre part, nous avons démontré qu'avec la coopération les pouvoirs publics se partagent le contrôle des groupes de pression. La taxe coopérative de chacun des pays est plus élevée à cause de l'effet distordant des lobbies nationaux, mais également des lobbies de l'autre pays.

Par ailleurs, lorsque le gouvernement n'anticipe pas les groupes de pression, il n'a pas conscience du lobbying. Il ne cherche à corriger que deux distorsions, la concurrence imparfaite sur le marché des produits et la pollution. Cette situation peut mener à une dégradation du bien-être du pays.

Dans le chapitre suivant, nous analysons un marché de permis d'émission négociables pris comme instrument de régulation de la pollution quand la concurrence sur le marché des biens est imparfaite.

3.7 Appendices mathématiques du chapitre 3

3.7.1 Appendice A

Nous réécrivons les CPO :

$$\begin{aligned}\pi_{x^h}^h(x^h(t^h), x^f(t^h), a^h(t^h), L^h(t^h); t^h) &= 0 \\ \pi_{a^h}^h(x^h(t^h), x^f(t^h), a^h(t^h), L^h(t^h); t^h) &= 0 \\ \pi_{L^h}^h(x^h(t^h), x^f(t^h), a^h(t^h), L^h(t^h); t^h) &= 0 \\ \pi_{x^f}^f(x^h(t^h), x^f(t^h), a^h(t^h), L^h(t^h); t^h) &= 0\end{aligned}$$

Nous résolvons le système suivant²³ :

$$\begin{aligned}\pi_{x^h x^h}^h \frac{dx^h}{dt^h} + \pi_{x^h a^h}^h \frac{da^h}{dt^h} + \pi_{x^h x^f}^h \frac{dx^f}{dt^h} + \pi_{x^h L^h}^h \frac{dL^h}{dt^h} + \pi_{x^h t^h}^h &= 0 \quad (\text{A1}) \\ \pi_{a^h x^h}^h \frac{dx^h}{dt^h} + \pi_{a^h a^h}^h \frac{da^h}{dt^h} + \pi_{a^h x^f}^h \frac{dx^f}{dt^h} + \pi_{a^h L^h}^h \frac{dL^h}{dt^h} + \pi_{a^h t^h}^h &= 0 \\ \pi_{L^h x^h}^h \frac{dx^h}{dt^h} + \pi_{L^h a^h}^h \frac{da^h}{dt^h} + \pi_{L^h x^f}^h \frac{dx^f}{dt^h} + \pi_{L^h L^h}^h \frac{dL^h}{dt^h} + \pi_{L^h t^h}^h &= 0 \\ \pi_{x^f x^h}^f \frac{dx^h}{dt^h} + \pi_{x^f a^h}^f \frac{da^h}{dt^h} + \pi_{x^f x^f}^f \frac{dx^f}{dt^h} + \pi_{x^f L^h}^f \frac{dL^h}{dt^h} + \pi_{x^f t^h}^f &= 0\end{aligned}$$

Le système (A1) donne sous forme matricielle,

$$\begin{bmatrix} \pi_{x^h x^h}^h & 0 & \pi_{x^h x^f}^h & \sigma_{L^h}^h \\ 0 & \pi_{a^h a^h}^h & 0 & -\sigma_{L^h}^h \\ \sigma_{L^h}^h & -\sigma_{L^h}^h & 0 & \pi_{L^h L^h}^h \\ \pi_{x^f x^h}^f & 0 & \pi_{x^f x^f}^f & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \frac{dx^h}{dt^h} \\ \frac{da^h}{dt^h} \\ \frac{dx^f}{dt^h} \\ \frac{dL^h}{dt^h} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} -1 \\ 1 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

Par substitution, nous obtenons l'impact de t^h sur nos différentes variables.

²³Nous nous référons à Mathematics for economists de Novshek W. pour la résolution mathématique de notre problème.

$$\begin{aligned}
& \begin{bmatrix} \pi_{x^h x^h}^h & 0 & \pi_{x^h x^f}^h & \sigma_{L^h}^h \\ 0 & \pi_{a^h a^h}^h & 0 & -\sigma_{L^h}^h \\ 0 & \sigma_L \pi_{x^h x^h}^h & \pi_{x^h x^f}^h \sigma_{L^h}^h & \sigma_{L^h}^{h2} - \pi_{L^h L^h}^h \pi_{x^h x^h}^h \\ 0 & 0 & \pi_{x^h x^f}^h \pi_{x^f x^h}^f - \pi_{x^f x^f}^f \pi_{x^h x^h}^h & \sigma_{L^h}^h \pi_{x^f x^h}^f \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \frac{dx^h}{dt^h} \\ \frac{da^h}{dt^h} \\ \frac{dx^f}{dt^h} \\ \frac{dL^h}{dt^h} \end{bmatrix} \\
& + \begin{bmatrix} -1 \\ 1 \\ -\sigma_{L^h}^h \\ -\pi_{x^f x^h}^f \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& \Leftrightarrow \begin{bmatrix} \pi_{x^h x^h}^h & 0 & \pi_{x^h x^f}^h & \sigma_{L^h}^h \\ 0 & \pi_{a^h a^h}^h & 0 & -\sigma_{L^h}^h \\ 0 & 0 & -\pi_{a^h a^h}^h \pi_{x^h x^f}^h \sigma_{L^h}^h & -\sigma_{L^h}^{h2} \pi_{x^h x^h}^h \\ 0 & 0 & \pi_{x^h x^f}^h \pi_{x^f x^h}^f - \pi_{x^f x^f}^f \pi_{x^h x^h}^h & -\pi_{a^h a^h}^h [\sigma_{L^h}^{h2} - \pi_{L^h L^h}^h \pi_{x^h x^h}^h] \\ & & & \sigma_{L^h}^h \pi_{x^f x^h}^f \end{bmatrix} \\
& \times \begin{bmatrix} \frac{dx^h}{dt^h} \\ \frac{da^h}{dt^h} \\ \frac{dx^f}{dt^h} \\ \frac{dL^h}{dt^h} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} -1 \\ 1 \\ \sigma_{L^h}^h \pi_{a^h a^h}^h + \sigma_{L^h}^h \pi_{x^h x^h}^h \\ -\pi_{x^f x^h}^f \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& \Leftrightarrow \begin{bmatrix} \pi_{x^h x^h}^h & 0 & \pi_{x^h x^f}^h & \sigma_{L^h}^h \\ 0 & \pi_{a^h a^h}^h & 0 & -\sigma_{L^h}^h \\ 0 & 0 & -\pi_{a^h a^h}^h \pi_{x^h x^f}^h \sigma_{L^h}^h & \Phi^h \\ 0 & 0 & \pi_{x^h x^f}^h \pi_{x^f x^h}^f - \pi_{x^f x^f}^f \pi_{x^h x^h}^h & \sigma_{L^h}^h \pi_{x^f x^h}^f \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \frac{dx^h}{dt^h} \\ \frac{da^h}{dt^h} \\ \frac{dx^f}{dt^h} \\ \frac{dL^h}{dt^h} \end{bmatrix} \\
& + \begin{bmatrix} -1 \\ 1 \\ \sigma_{L^h}^h \pi_{a^h a^h}^h + \sigma_{L^h}^h \pi_{x^h x^h}^h \\ -\pi_{x^f x^h}^f \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}
\end{aligned}$$

$$\Leftrightarrow \begin{bmatrix} \pi_{x^h x^h}^h & 0 & \pi_{xx^*} & \sigma_{L^h}^h \\ 0 & \pi_{a^h a^h}^h & 0 & -\sigma_{L^h}^h \\ 0 & 0 & -\pi_{a^h a^h}^h \pi_{x^h x^f}^h \sigma_{L^h}^h & \Phi^h \\ 0 & 0 & 0 & -D\Phi^h + \sigma_{L^h}^{h2} \pi_{x^f x^h}^f \pi_{a^h a^h}^h \pi_{x^h x^f}^h \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} \frac{dx^h}{dt^h} \\ \frac{da^h}{dt^h} \\ \frac{dx^f}{dt^h} \\ \frac{dL^h}{dt^h} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} -1 \\ 1 \\ \sigma_{L^h}^h \pi_{a^h a^h}^h + \sigma_{L^h}^h \pi_{x^h x^h}^h \\ -D\sigma_{L^h}^h [\pi_{a^h a^h}^h + \pi_{x^h x^h}^h] \\ -\pi_{x^f x^h}^f \pi_{a^h a^h}^h \pi_{x^h x^f}^h \sigma_{L^h}^h \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

Avec $\Phi^h = \pi_{x^h x^h}^h \pi_{L^h L^h}^h \pi_{a^h a^h}^h - \sigma_{L^h}^{h2} (\pi_{x^h x^h}^h + \pi_{a^h a^h}^h) < 0$. Φ^h est le troisième mineur diagonal du système. Ainsi,

$$\begin{aligned} \frac{dL^h}{dt^h} &= \frac{D\sigma_{L^h}^h [\pi_{a^h a^h}^h + \pi_{x^h x^h}^h] + \pi_{x^f x^h}^f \pi_{a^h a^h}^h \pi_{x^h x^f}^h \sigma_{L^h}^h}{-D\Phi^h + \sigma_{L^h}^{h2} \pi_{x^f x^h}^f \pi_{a^h a^h}^h \pi_{x^h x^f}^h} \\ \Leftrightarrow L_{t^h}^h &= \frac{D\sigma_{L^h}^h \pi_{x^h x^h}^h + \pi_{a^h a^h}^h \pi_{x^h x^h}^h \pi_{x^f x^f}^f \sigma_{L^h}^h}{-D\Phi^h + \sigma_{L^h}^{h2} \pi_{x^f x^h}^f \pi_{a^h a^h}^h \pi_{x^h x^f}^h} \\ \Leftrightarrow L_{t^h}^h &= \frac{\sigma_{L^h}^h \pi_{x^h x^h}^h [D + \pi_{a^h a^h}^h \pi_{x^f x^f}^f]}{-D\Phi^h + \sigma_{L^h}^{h2} \pi_{x^f x^h}^f \pi_{a^h a^h}^h \pi_{x^h x^f}^h} \\ \Leftrightarrow L_{t^h}^h &= \frac{\sigma_{L^h}^h \pi_{x^h x^h}^h [D + \pi_{a^h a^h}^h \pi_{x^f x^f}^f]}{\Delta^{t^h}} < 0 \end{aligned} \quad (\text{A2})$$

avec $\Delta^{t^h} = -D [\Phi^h] + \sigma_{L^h}^{h2} \pi_{x^f x^h}^f \pi_{a^h a^h}^h \pi_{x^h x^f}^h > 0$.

L'évaluation de $x_{t^h}^f$ est donnée par :

$$\begin{aligned} -\pi_{a^h a^h}^h \pi_{x^h x^f}^h \sigma_{L^h}^h \frac{dx^f}{dt^h} + \Phi^h \frac{dL^h}{dt^h} &= -\sigma_{L^h}^h (\pi_{a^h a^h}^h + \pi_{x^h x^h}^h) \\ \Leftrightarrow \pi_{a^h a^h}^h \pi_{x^h x^f}^h \sigma_{L^h}^h \frac{dx^f}{dt^h} &= \Phi^h \frac{\sigma_{L^h}^h \pi_{x^h x^h}^h [D + \pi_{a^h a^h}^h \pi_{x^f x^f}^f]}{\Delta^{t^h}} + \sigma_{L^h}^h (\pi_{a^h a^h}^h + \pi_{x^h x^h}^h) \end{aligned}$$

$$\Leftrightarrow \pi_{a^h a^h}^h \pi_{x^h x^f}^h \sigma_{L^h}^h \frac{dx^f}{dt^h} = \frac{\Phi^h \sigma_{L^h}^h \pi_{x^h x^h}^h \left[D + \pi_{a^h a^h}^h \pi_{x^f x^f}^f \right] + \sigma_{L^h}^h \left(\pi_{a^h a^h}^h + \pi_{x^h x^h}^h \right) \Delta^{t^h}}{\Delta^{t^h}}$$

$$\Leftrightarrow \pi_{a^h a^h}^h \pi_{x^h x^f}^h \sigma_{L^h}^h x_{t^h}^f = \frac{\Phi^h \sigma_{L^h}^h \pi_{x^h x^h}^h \left[D + \pi_{a^h a^h}^h \pi_{x^f x^f}^f \right]}{\Delta^{t^h}} + \frac{\sigma_{L^h}^h \left(\pi_{a^h a^h}^h + \pi_{x^h x^h}^h \right) \left[-D \Phi^h + \sigma_{L^h}^{h2} \pi_{x^f x^h}^f \pi_{a^h a^h}^h \pi_{x^h x^f}^h \right]}{\Delta^{t^h}}$$

$$\Leftrightarrow \pi_{a^h a^h}^h \pi_{x^h x^f}^h \sigma_{L^h}^h x_{t^h}^f = \frac{\Phi^h \sigma_{L^h}^h \pi_{x^h x^h}^h D + \Phi^h \sigma_{L^h}^h \pi_{x^h x^h}^h \pi_{a^h a^h}^h \pi_{x^f x^f}^f}{\Delta^{t^h}} + \frac{\sigma_{L^h}^h \pi_{a^h a^h}^h \left(-D \Phi^h \right) + \sigma_{L^h}^h \pi_{x^h x^h}^h \left(-D \Phi^h \right)}{\Delta^{t^h}} + \frac{\sigma_{L^h}^h \pi_{a^h a^h}^h \sigma_{L^h}^{h2} \pi_{x^f x^h}^f \pi_{a^h a^h}^h \pi_{x^h x^f}^h + \sigma_{L^h}^h \pi_{x^h x^h}^h \sigma_{L^h}^{h2} \pi_{x^f x^h}^f \pi_{a^h a^h}^h \pi_{x^h x^f}^h}{\Delta^{t^h}}$$

$$\Leftrightarrow \pi_{a^h a^h}^h \pi_{x^h x^f}^h \sigma_{L^h}^h x_{t^h}^f = \frac{\Phi^h \sigma_{L^h}^h \pi_{x^h x^h}^h \pi_{a^h a^h}^h \pi_{x^f x^f}^f}{\Delta^{t^h}} + \frac{\sigma_{L^h}^h \pi_{a^h a^h}^h \left(-D \Phi^h \right)}{\Delta^{t^h}} + \frac{\sigma_{L^h}^h \pi_{a^h a^h}^h \sigma_{L^h}^{h2} \pi_{x^f x^h}^f \pi_{a^h a^h}^h \pi_{x^h x^f}^h + \sigma_{L^h}^h \pi_{x^h x^h}^h \sigma_{L^h}^{h2} \pi_{x^f x^h}^f \pi_{a^h a^h}^h \pi_{x^h x^f}^h}{\Delta^{t^h}}$$

$$\Leftrightarrow \pi_{a^h a^h}^h \pi_{x^h x^f}^h x_{t^h}^f = \frac{\Phi^h \pi_{x^h x^f}^h \pi_{a^h a^h}^h \pi_{x^f x^h}^f}{\Delta^{t^h}} + \frac{\sigma_{L^h}^{h2} \pi_{a^h a^h}^h \left(\pi_{a^h a^h}^h + \pi_{x^h x^h}^h \right) \pi_{x^f x^h}^f \pi_{x^h x^f}^h}{\Delta^{t^h}}$$

$$\Leftrightarrow x_{t^h}^f = \frac{\Phi^h \pi_{x^f x^h}^f + \sigma_{L^h}^{h2} \left(\pi_{a^h a^h}^h + \pi_{x^h x^h}^h \right) \pi_{x^f x^h}^f}{\Delta^{t^h}}$$

$$\Leftrightarrow x_{t^h}^f = \frac{[\pi_{x^h x^h}^h \pi_{L^h L^h}^h \pi_{a^h a^h}^h - \sigma_{L^h}^{h2} (\pi_{x^h x^h}^h + \pi_{a^h a^h}^h)] \pi_{x^f x^h}^f + \sigma_{L^h}^{h2} (\pi_{a^h a^h}^h + \pi_{x^h x^h}^h) \pi_{x^f x^h}^f}{\Delta^{t^h}}$$

$$\Leftrightarrow x_{t^h}^f = \frac{\pi_{x^f x^h}^f \pi_{x^h x^h}^h \pi_{L^h L^h}^h \pi_{a^h a^h}^h}{\Delta^{t^h}} > 0 \quad (\text{A3})$$

Puis $x_{t^h}^h$ est obtenu :

$$\pi_{x^h x^h}^h dx^h + \pi_{x^h x^f}^h dx^f - dt^h + \sigma_{L^h}^h dL^h = 0$$

$$\Leftrightarrow \pi_{x^h x^h}^h \frac{dx^h}{dt^h} + \pi_{x^h x^f}^h \frac{dx^f}{dt^h} + \sigma_{L^h}^h \frac{dL^h}{dt^h} = 1$$

$$\Leftrightarrow \pi_{x^h x^h}^h x_{t^h}^h + \pi_{x^h x^f}^h \frac{\pi_{x^f x^h}^f \pi_{x^h x^h}^h \pi_{L^h L^h}^h \pi_{a^h a^h}^h}{\Delta^{t^h}} + \sigma_{L^h}^h \frac{\sigma_{L^h}^h \pi_{x^h x^h}^h [D + \pi_{a^h a^h}^h \pi_{x^f x^f}^f]}{\Delta^{t^h}} = 1$$

$$\Leftrightarrow \pi_{x^h x^h}^h x_{t^h}^h = - \frac{\pi_{x^h x^f}^h \pi_{x^f x^h}^f \pi_{x^h x^h}^h \pi_{L^h L^h}^h \pi_{a^h a^h}^h}{\Delta^{t^h}} - \frac{\sigma_{L^h}^{h2} \pi_{x^h x^h}^h [D + \pi_{a^h a^h}^h \pi_{x^f x^f}^f]}{\Delta^{t^h}} + \frac{-D\Phi^h + \sigma_{L^h}^{h2} \pi_{x^f x^h}^f \pi_{a^h a^h}^h \pi_{x^h x^f}^h}{\Delta^{t^h}}$$

$$\Leftrightarrow \pi_{x^h x^h}^h x_{t^h}^h = - \frac{\pi_{x^h x^f}^h \pi_{x^f x^h}^f \pi_{x^h x^h}^h \pi_{L^h L^h}^h \pi_{a^h a^h}^h}{\Delta^{t^h}} + \frac{-D\sigma_{L^h}^{h2} \pi_{a^h a^h}^h}{\Delta^{t^h}} - \frac{\sigma_{L^h}^{h2} \pi_{x^h x^h}^h D}{\Delta^{t^h}} - \frac{D [\pi_{x^h x^h}^h \pi_{L^h L^h}^h \pi_{a^h a^h}^h - \sigma_{L^h}^{h2} (\pi_{x^h x^h}^h + \pi_{a^h a^h}^h)]}{\Delta^{t^h}}$$

$$\Leftrightarrow \pi_{x^h x^h}^h x_{t^h}^h = - \frac{\pi_{x^h x^f}^h \pi_{x^f x^h}^f \pi_{x^h x^h}^h \pi_{L^h L^h}^h \pi_{a^h a^h}^h}{\Delta^{t^h}} - \frac{D\sigma_{L^h}^{h2} (\pi_{x^h x^h}^h + \pi_{a^h a^h}^h)}{\Delta^{t^h}} - \frac{D [\pi_{x^h x^h}^h \pi_{L^h L^h}^h \pi_{a^h a^h}^h - \sigma_{L^h}^{h2} (\pi_{x^h x^h}^h + \pi_{a^h a^h}^h)]}{\Delta^{t^h}}$$

$$\begin{aligned}
\iff \pi_{x^h x^h}^h x_{t^h}^h &= - \frac{\left(\pi_{x^h x^f}^h \pi_{x^f x^h}^f + D \right) \pi_{L^h L^h}^h \pi_{a^h a^h}^h \pi_{x^h x^h}^h}{\Delta^{t^h}} \\
\iff \pi_{x^h x^h}^h x_{t^h}^h &= - \frac{\left(\pi_{x^h x^h}^h \pi_{x^f x^f}^f \right) \pi_{L^h L^h}^h \pi_{a^h a^h}^h \pi_{x^h x^h}^h}{\Delta^{t^h}} \\
\iff x_{t^h}^h &= - \frac{\pi_{x^h x^h}^h \pi_{x^f x^f}^f \pi_{L^h L^h}^h \pi_{a^h a^h}^h}{\Delta^{t^h}} < 0 \tag{A4}
\end{aligned}$$

et $a_{t^h}^h$ s'écrit :

$$\begin{aligned}
\pi_{a^h a^h}^h da^h + dt^h - \sigma_{L^h}^h dL^h &= 0 \\
\iff \pi_{a^h a^h}^h \frac{da^h}{dt^h} &= -1 + \sigma_{L^h}^h \frac{dL^h}{dt^h} \\
\iff \pi_{a^h a^h}^h a_{t^h}^h &= - \frac{-D\Phi^h + \sigma_{L^h}^{h2} \pi_{x^f x^h}^f \pi_{a^h a^h}^h \pi_{x^h x^f}^h}{\Delta^{t^h}} + \sigma_{L^h}^h \frac{\sigma_{L^h}^h \pi_{x^h x^h}^h \left[D + \pi_{a^h a^h}^h \pi_{x^f x^f}^f \right]}{\Delta^{t^h}} \\
\iff \pi_{a^h a^h}^h a_{t^h}^h &= \frac{D\Phi^h - \sigma_{L^h}^{h2} \pi_{x^f x^h}^f \pi_{a^h a^h}^h \pi_{x^h x^f}^h + \sigma_{L^h}^{h2} \pi_{x^h x^h}^h D + \sigma_{L^h}^2 \pi_{x^h x^h}^h \pi_{a^h a^h}^h \pi_{x^f x^f}^f}{\Delta^{t^h}} \\
\iff \pi_{a^h a^h}^h a_{t^h}^h &= \frac{D\Phi^h + \sigma_{L^h}^{h2} \pi_{x^h x^h}^h D + D\sigma_{L^h}^{h2} \pi_{a^h a^h}^h}{\Delta^{t^h}} \\
\iff \pi_{a^h a^h}^h a_{t^h}^h &= \frac{D \left[\Phi^h + \sigma_{L^h}^{h2} \left(\pi_{x^h x^h}^h + \pi_{a^h a^h}^h \right) \right]}{\Delta^{t^h}} \\
\iff a_{t^h}^h &= \frac{D \left[\Phi^h + \sigma_{L^h}^{h2} \left(\pi_{x^h x^h}^h + \pi_{a^h a^h}^h \right) \right]}{\pi_{a^h a^h}^h \Delta^{t^h}} \\
\iff a_{t^h}^h &= \frac{D \pi_{x^h x^h}^h \pi_{L^h L^h}^h \pi_{a^h a^h}^h}{\pi_{a^h a^h}^h \Delta^{t^h}}
\end{aligned}$$

$$\Leftrightarrow a_{t^h}^h = \frac{D\pi_{x^h x^h}^h \pi_{L^h L^h}^h}{\Delta^{t^h}} > 0 \quad (\text{A5})$$

3.7.2 Appendice B

Nous développons un processus similaire à celui utilisé dans l'appendice A. Les pouvoirs publics f mettent en place une taxe environnementale et l'entreprise f peut investir dans des groupes de pression pour baisser cette taxe. Il y a donc symétrie entre les agents du pays h et ceux du pays f .

$$\begin{aligned} & \begin{bmatrix} \pi_{x^f x^h}^f & 0 & \pi_{x^f x^f}^f & \sigma_{L^f}^f \\ 0 & \pi_{a^f a^f}^f & 0 & -\sigma_{L^f}^f \\ 0 & -\sigma_{L^f}^f & \sigma_{L^f}^f & \pi_{L^f L^f}^f \\ \pi_{x^h x^h}^h & 0 & \pi_{x^h x^f}^h & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \frac{dx^h}{dt^f} \\ \frac{da^f}{dt^f} \\ \frac{dx^f}{dt^f} \\ \frac{dL^f}{dt^f} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} -1 \\ 1 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \\ \\ \Leftrightarrow & \begin{bmatrix} \pi_{x^f x^h}^f & 0 & \pi_{x^f x^f}^f & \sigma_{L^f}^f \\ 0 & \pi_{a^f a^f}^f & 0 & -\sigma_{L^f}^f \\ \pi_{x^f x^h}^f \sigma_{L^f}^f & \sigma_{L^f}^f \pi_{x^f x^f}^f & 0 & \sigma_{L^f}^{f2} - \pi_{L^f L^f}^f \pi_{x^f x^f}^f \\ \pi_{x^f x^h}^f \pi_{x^h x^f}^h - \pi_{x^h x^h}^h \pi_{x^f x^f}^f & 0 & 0 & \sigma_{L^f}^f \pi_{x^h x^f}^h \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \frac{dx^h}{dt^f} \\ \frac{da^f}{dt^f} \\ \frac{dx^f}{dt^f} \\ \frac{dL^f}{dt^f} \end{bmatrix} \\ & + \begin{bmatrix} -1 \\ 1 \\ -\sigma_{L^f}^f \\ -\pi_{x^h x^f}^h \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \end{aligned}$$

$$\Leftrightarrow \begin{bmatrix} \pi_{x^f x^h}^f & 0 & \pi_{x^f x^f}^f & \sigma_{L^f}^f \\ 0 & \pi_{a^f a^f}^f & 0 & -\sigma_{L^f}^f \\ -\pi_{a^f a^f}^f \pi_{x^f x^h}^f \sigma_{L^f}^f & 0 & 0 & \pi_{a^f a^f}^f \pi_{L^f L^f}^f \pi_{x^f x^f}^f - \sigma_{L^f}^{f2} [\pi_{x^f x^f}^f + \pi_{a^f a^f}^f] \\ -D & 0 & 0 & \sigma_{L^f}^f \pi_{x^h x^f}^h \end{bmatrix} \\ \times \begin{bmatrix} \frac{dx^h}{dt^f} \\ \frac{da^f}{dt^f} \\ \frac{dx^f}{dt^f} \\ \frac{dL^f}{dt^f} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} -1 \\ 1 \\ \sigma_{L^f}^f \pi_{x^f x^f}^f + \sigma_{L^f}^f \pi_{a^f a^f}^f \\ -\pi_{x^h x^f}^h \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

$$\Leftrightarrow \begin{bmatrix} \pi_{x^f x^h}^f & 0 & \pi_{x^f x^f}^f & \sigma_{L^f}^f \\ 0 & \pi_{a^f a^f}^f & 0 & -\sigma_{L^f}^f \\ -\pi_{a^f a^f}^f \pi_{x^f x^h}^f \sigma_{L^f}^f & 0 & 0 & \Phi^f \\ 0 & 0 & 0 & -D\Phi^f + \sigma_{L^f}^{f2} \pi_{x^h x^f}^h \pi_{a^f a^f}^f \pi_{x^f x^h}^f \end{bmatrix} \\ \times \begin{bmatrix} \frac{dx^h}{dt^f} \\ \frac{da^f}{dt^f} \\ \frac{dx^f}{dt^f} \\ \frac{dL^f}{dt^f} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} -1 \\ 1 \\ \sigma_{L^f}^f [\pi_{x^f x^f}^f + \pi_{a^f a^f}^f] \\ -D\sigma_{L^f}^f [\pi_{x^f x^f}^f + \pi_{a^f a^f}^f] \\ -\pi_{x^h x^f}^h \pi_{a^f a^f}^f \pi_{x^f x^h}^f \sigma_{L^f}^f \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

Avec, $\Phi^f = \pi_{a^f a^f}^f \pi_{L^f L^f}^f \pi_{x^f x^f}^f - \sigma_{L^f}^{f2} [\pi_{x^f x^f}^f + \pi_{a^f a^f}^f]$ et $\Delta^{t^f} = -D\Phi^f + \sigma_{L^f}^{f2} \pi_{x^h x^f}^h \pi_{a^f a^f}^f \pi_{x^f x^h}^f > 0$, d'où :

$$\begin{aligned} & \left[-D\sigma_{L^f}^f [\pi_{x^f x^f}^f + \pi_{a^f a^f}^f] - \pi_{x^h x^f}^h \pi_{a^f a^f}^f \pi_{x^f x^h}^f \sigma_{L^f}^f \right] dt^f - D\Phi^f \\ & + \sigma_{L^f}^{f2} \pi_{x^h x^f}^h \pi_{a^f a^f}^f \pi_{x^f x^h}^f dL^f = 0 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
&\Leftrightarrow [-D\Phi^f + \sigma_{L^f}^{f2} \pi_{x^h x^f}^h \pi_{a^f a^f}^f \pi_{x^f x^h}^f] \frac{dL^f}{dt^f} = D\sigma_{L^f}^f \left[\pi_{x^f x^f}^f + \pi_{a^f a^f}^f \right] \\
&\quad + \pi_{x^h x^f}^h \pi_{a^f a^f}^f \pi_{x^f x^h}^f \sigma_{L^f}^f \\
&\Leftrightarrow \frac{dL^f}{dt^f} = \frac{D\sigma_{L^f}^f \left[\pi_{x^f x^f}^f + \pi_{a^f a^f}^f \right] + \pi_{x^h x^f}^h \pi_{a^f a^f}^f \pi_{x^f x^h}^f \sigma_{L^f}^f}{-D\Phi^f + \sigma_{L^f}^{f2} \pi_{x^h x^f}^h \pi_{a^f a^f}^f \pi_{x^f x^h}^f} \\
&\Leftrightarrow L_{t^f}^f = \frac{D\sigma_{L^f}^f \left[\pi_{x^f x^f}^f + \pi_{a^f a^f}^f \right] + \pi_{x^h x^f}^h \pi_{a^f a^f}^f \pi_{x^f x^h}^f \sigma_{L^f}^f}{\Delta^{t^f}} \\
&\Leftrightarrow L_{t^f}^f = \frac{\sigma_{L^f}^f \pi_{x^f x^f}^f \left[D + \pi_{x^h x^h}^h \pi_{a^f a^f}^f \right]}{\Delta^{t^f}} < 0 \tag{B1}
\end{aligned}$$

$$-\pi_{a^f a^f}^f \pi_{x^f x^h}^f \sigma_{L^f}^f \frac{dx^h}{dt^f} + \sigma_{L^f}^f \left[\pi_{x^f x^f}^f + \pi_{a^f a^f}^f \right] + \Phi^f \frac{dL^f}{dt^f} = 0$$

$$\Leftrightarrow \pi_{a^f a^f}^f \pi_{x^f x^h}^f \sigma_{L^f}^f x_{t^f}^h = \sigma_{L^f}^f \left[\pi_{x^f x^f}^f + \pi_{a^f a^f}^f \right] + \Phi^f \frac{\sigma_{L^f}^f \pi_{x^f x^f}^f \left[D + \pi_{x^h x^h}^h \pi_{a^f a^f}^f \right]}{\Delta^{t^f}}$$

$$\begin{aligned}
&\Leftrightarrow \pi_{a^f a^f}^f \pi_{x^f x^h}^f \sigma_{L^f}^f x_{t^f}^h = \sigma_{L^f}^f \left[\pi_{x^f x^f}^f + \pi_{a^f a^f}^f \right] \frac{-D\Phi^f + \sigma_{L^f}^{f2} \pi_{x^h x^f}^h \pi_{a^f a^f}^f \pi_{x^f x^h}^f}{\Delta^{t^f}} \\
&\quad + \Phi^f \frac{\sigma_{L^f}^f \pi_{x^f x^f}^f \left[D + \pi_{x^h x^h}^h \pi_{a^f a^f}^f \right]}{\Delta^{t^f}}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
&\Leftrightarrow \pi_{a^f a^f}^f \pi_{x^f x^h}^f x_{t^f}^h = \frac{-D\Phi^f \pi_{a^f a^f}^f + \left[\pi_{x^f x^f}^f + \pi_{a^f a^f}^f \right] \sigma_{L^f}^{f2} \pi_{x^h x^f}^h \pi_{a^f a^f}^f \pi_{x^f x^h}^f}{\Delta^{t^f}} \\
&\quad + \frac{\Phi^f \pi_{x^f x^f}^f \pi_{x^h x^h}^h \pi_{a^f a^f}^f}{\Delta^{t^f}}
\end{aligned}$$

$$\Leftrightarrow \pi_{afaf}^f \pi_{xfxh}^f x_{tf}^h = \frac{\left[\pi_{xfxf}^f + \pi_{afaf}^f \right] \sigma_{L^f}^{f2} \pi_{x^hxf}^h \pi_{afaf}^f \pi_{xfxh}^f}{\Delta^{tf}} + \frac{\pi_{x^hxf}^h \pi_{xfxh}^f \Phi^f \pi_{afaf}^f}{\Delta^{tf}}$$

$$\Leftrightarrow x_{tf}^h = \frac{\left[\pi_{xfxf}^f + \pi_{afaf}^f \right] \sigma_{L^f}^{f2} \pi_{x^hxf}^h}{\Delta^{tf}} + \frac{\pi_{x^hxf}^h \left(\pi_{afaf}^f \pi_{L^f L^f}^f \pi_{xfxf}^f - \sigma_{L^f}^{f2} \left[\pi_{xfxf}^f + \pi_{afaf}^f \right] \right)}{\Delta^{tf}}$$

$$\Leftrightarrow x_{tf}^h = \frac{\pi_{x^hxf}^h \pi_{afaf}^f \pi_{L^f L^f}^f \pi_{xfxf}^f}{\Delta^{tf}} > 0 \quad (\text{B2})$$

$$\pi_{xfxh}^f dx^h + \pi_{xfxf}^f dx^f - dt^f + \sigma_{L^f}^f dL^f = 0$$

$$\Leftrightarrow \pi_{xfxh}^f \frac{dx^h}{dt^f} + \pi_{xfxf}^f \frac{dx^f}{dt^f} + \sigma_{L^f}^f \frac{dL^f}{dt^f} = 1$$

$$\Leftrightarrow \pi_{xfxf}^f x_{tf}^f = 1 - \pi_{xfxh}^f \frac{\pi_{x^hxf}^h \pi_{afaf}^f \pi_{L^f L^f}^f \pi_{xfxf}^f}{\Delta^{tf}} - \sigma_{L^f}^f \frac{\sigma_{L^f}^f \pi_{xfxf}^f \left[D + \pi_{x^h x^h}^h \pi_{afaf}^f \right]}{\Delta^{tf}}$$

$$\Leftrightarrow \pi_{xfxf}^f x_{tf}^f = \frac{-D \Phi^f + \sigma_{L^f}^{f2} \pi_{x^hxf}^h \pi_{afaf}^f \pi_{xfxh}^f}{\Delta^{tf}} - \frac{\pi_{xfxh}^f \pi_{x^h x^h}^h \pi_{afaf}^f \pi_{L^f L^f}^f \pi_{xfxf}^f}{\Delta^{tf}} - \frac{\sigma_{L^f}^{f2} \pi_{xfxf}^f \left[D + \pi_{x^h x^h}^h \pi_{afaf}^f \right]}{\Delta^{tf}}$$

$$\begin{aligned}
\iff \pi_{x^f x^f}^f x_{t^f}^f &= \frac{-D \left[\pi_{a^f a^f}^f \pi_{L^f L^f}^f \pi_{x^f x^f}^f - \sigma_{L^f}^{f2} \left[\pi_{x^f x^f}^f + \pi_{a^f a^f}^f \right] \right]}{\Delta^{t^f}} \\
&\quad - \frac{\pi_{x^f x^h}^f \pi_{x^h x^f}^h \pi_{a^f a^f}^f \pi_{L^f L^f}^f \pi_{x^f x^f}^f}{\Delta^{t^f}} \\
&\quad - \frac{\sigma_{L^f}^{f2} \pi_{x^f x^f}^f D + D \sigma_{L^f}^{f2} \pi_{a^f a^f}^f}{\Delta^{t^f}} \\
\iff \pi_{x^f x^f}^f x_{t^f}^f &= \frac{-D \pi_{a^f a^f}^f \pi_{L^f L^f}^f \pi_{x^f x^f}^f + \sigma_{L^f}^{f2} \left[\pi_{x^f x^f}^f + \pi_{a^f a^f}^f \right]}{\Delta^{t^f}} \\
&\quad - \frac{\pi_{x^f x^h}^f \pi_{x^h x^f}^h \pi_{a^f a^f}^f \pi_{L^f L^f}^f \pi_{x^f x^f}^f}{\Delta^{t^f}} \\
&\quad - \frac{\sigma_{L^f}^{f2} D \left[\pi_{x^f x^f}^f + \pi_{a^f a^f}^f \right]}{\Delta^{t^f}} \\
\iff \pi_{x^f x^f}^f x_{t^f}^f &= \frac{-\pi_{x^h x^h}^h \pi_{x^f x^f}^f \pi_{a^f a^f}^f \pi_{L^f L^f}^f \pi_{x^f x^f}^f}{\Delta^{t^f}} \\
\iff x_{t^f}^f &= \frac{-\pi_{x^h x^h}^h \pi_{a^f a^f}^f \pi_{L^f L^f}^f \pi_{x^f x^f}^f}{\Delta^{t^f}} < 0 \tag{B3}
\end{aligned}$$

$$\pi_{a^f a^f}^f da^f + dt^f - \sigma_{L^f}^f dL^f = 0$$

$$\iff \pi_{a^f a^f}^f \frac{da^f}{dt^f} = -1 + \sigma_{L^f}^f \frac{dL^f}{dt^f}$$

$$\begin{aligned}
\iff \pi_{a^f a^f}^f a_{t^f}^f &= -\frac{D \left[\pi_{a^f a^f}^f \pi_{L^f L^f}^f \pi_{x^f x^f}^f - \sigma_{L^f}^{f2} \left[\pi_{x^f x^f}^f + \pi_{a^f a^f}^f \right] \right]}{\Delta^{t^f}} \\
&\quad + \frac{\sigma_{L^f}^{f2} \pi_{x^h x^f}^h \pi_{a^f a^f}^f \pi_{x^f x^h}^f}{\Delta^{t^f}} + \sigma_{L^f}^f \frac{\sigma_{L^f}^f \pi_{x^f x^f}^f \left[D + \pi_{x^h x^h}^h \pi_{a^f a^f}^f \right]}{\Delta^{t^f}}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\iff \pi_{afaf}^f a_{tf}^f &= -\frac{-D \left[\pi_{afaf}^f \pi_{L^f L^f}^f \pi_{x^f x^f}^f - \sigma_{L^f}^{f2} \pi_{afaf}^f \right]}{\Delta^{tf}} \\
&+ \frac{D \sigma_{L^f}^{f2} \pi_{afaf}^f}{\Delta^{tf}} \\
\iff a_{tf}^f &= \frac{D \pi_{L^f L^f}^f \pi_{x^f x^f}^f}{\Delta^{tf}} > 0
\end{aligned} \tag{B4}$$

3.7.3 Appendice C

Calcul des taxes coopératives optimales domestique et étrangère, t^{hc} et t^{fc}

Nous calculons les conditions de premier ordre de la fonction de bien-être jointe :

$$\frac{d\Omega}{dt^h} = 0 \iff W_{t^h}^h + W_{t^h}^f = 0 \tag{C1}$$

$$\begin{aligned}
\iff & \frac{\partial \pi^h}{\partial x^h} \frac{\partial x^h}{\partial t^h} + \frac{\partial \pi^h}{\partial x^f} \frac{\partial x^f}{\partial t^h} + \frac{\partial \pi^h}{\partial a^f} \frac{\partial a^f}{\partial t^h} + \frac{\partial \pi^h}{\partial L^f} \frac{\partial L^f}{\partial t^h} \\
& + [t^h - \sigma^h(L^h)] \left(\frac{\partial x^h}{\partial t^h} - \frac{\partial a^h}{\partial t^h} \right) - e^h \sigma_{L^h}^h \frac{\partial L^h}{\partial t^h} - D_{e^h}^h \left(\frac{\partial x^h}{\partial t^h} - \frac{\partial a^h}{\partial t^h} \right) \\
& + \frac{\partial \pi^f}{\partial x^h} \frac{\partial x^h}{\partial t^h} + \frac{\partial \pi^f}{\partial x^f} \frac{\partial x^f}{\partial t^h} + \frac{\partial \pi^f}{\partial a^f} \frac{\partial a^f}{\partial t^h} + \frac{\partial \pi^f}{\partial L^f} \frac{\partial L^f}{\partial t^h} \\
& + [t^f - \sigma^f(L^f)] \frac{\partial x^f}{\partial t^h} - D_{e^f}^f x_{t^h}^f = 0
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\iff & x^h p' x_{t^h}^f + (t^h - \sigma^h(L^h)) (x_{t^h}^h - a_{t^h}^h) - l^h L_{t^h}^h - D_{e^h}^h (x_{t^h}^h - a_{t^h}^h) \\
& + x^f p' x_{t^h}^h + [t^f - \sigma^f(L^f)] x_{t^h}^f - D_{e^f}^f x_{t^h}^f = 0
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \iff -t^f x_{t^h}^f &= t^h (x_{t^h}^h - a_{t^h}^h) + x^h p' x_{t^h}^f + x^f p' x_{t^h}^h - \sigma^h(L^h) (x_{t^h}^h - a_{t^h}^h) - l^h L_{t^h}^h \\ &- \sigma^f(L^f) x_{t^h}^f - D_{e^h}^h (x_{t^h}^h - a_{t^h}^h) - D_{e^f}^f x_{t^h}^f \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \iff -t^f \frac{\pi_{x^f x^h}^f \pi_{x^h x^h}^h \pi_{L^h L^h}^h \pi_{a^h a^h}^h}{\Delta^{t^h}} &= t^h \left(\frac{-\pi_{x^f x^f}^f \pi_{x^h x^h}^h \pi_{L^h L^h}^h \pi_{a^h a^h}^h}{\Delta^{t^h}} - \frac{D \pi_{x^h x^h}^h \pi_{L^h L^h}^h}{\Delta^{t^h}} \right) \\ &+ x^h p' \frac{\pi_{x^f x^h}^f \pi_{x^h x^h}^h \pi_{L^h L^h}^h \pi_{a^h a^h}^h}{\Delta^{t^h}} \\ &+ x^f p' \frac{-\pi_{x^f x^f}^f \pi_{x^h x^h}^h \pi_{L^h L^h}^h \pi_{a^h a^h}^h}{\Delta^{t^h}} - l^h \frac{\sigma_{L^h}^h \pi_{x^h x^h}^h [D + \pi_{a^h a^h}^h \pi_{x^f x^f}^f]}{\Delta^{t^h}} \\ -\sigma^h(L^h) \left(\frac{-\pi_{x^f x^f}^f \pi_{x^h x^h}^h \pi_{L^h L^h}^h \pi_{a^h a^h}^h}{\Delta^{t^h}} - \frac{D \pi_{x^h x^h}^h \pi_{L^h L^h}^h}{\Delta^{t^h}} \right) &- \sigma^f(L^f) \frac{\pi_{x^f x^h}^f \pi_{x^h x^h}^h \pi_{L^h L^h}^h \pi_{a^h a^h}^h}{\Delta^{t^h}} \\ -D_{e^h}^h \left(\frac{-\pi_{x^f x^f}^f \pi_{x^h x^h}^h \pi_{L^h L^h}^h \pi_{a^h a^h}^h}{\Delta^{t^h}} - \frac{D \pi_{x^h x^h}^h \pi_{L^h L^h}^h}{\Delta^{t^h}} \right) &- D_{e^f}^f \frac{\pi_{x^f x^h}^f \pi_{x^h x^h}^h \pi_{L^h L^h}^h \pi_{a^h a^h}^h}{\Delta^{t^h}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \iff -t^f \pi_{x^f x^h}^f \pi_{x^h x^h}^h \pi_{L^h L^h}^h \pi_{a^h a^h}^h &= t^h \left(-\pi_{x^f x^f}^f \pi_{x^h x^h}^h \pi_{L^h L^h}^h \pi_{a^h a^h}^h - D \pi_{x^h x^h}^h \pi_{L^h L^h}^h \right) \\ &+ x^h p' \pi_{x^f x^h}^f \pi_{x^h x^h}^h \pi_{L^h L^h}^h \pi_{a^h a^h}^h \\ &- x^f p' \pi_{x^f x^f}^f \pi_{x^h x^h}^h \pi_{L^h L^h}^h \pi_{a^h a^h}^h - l^h \sigma_{L^h}^h \pi_{x^h x^h}^h [D + \pi_{a^h a^h}^h \pi_{x^f x^f}^f] \\ &- \sigma^h(L^h) \left(-\pi_{x^f x^f}^f \pi_{x^h x^h}^h \pi_{L^h L^h}^h \pi_{a^h a^h}^h - D \pi_{x^h x^h}^h \pi_{L^h L^h}^h \right) \\ &- \sigma^f(L^f) \pi_{x^f x^h}^f \pi_{x^h x^h}^h \pi_{L^h L^h}^h \pi_{a^h a^h}^h \\ &- D_{e^h}^h \left(-\pi_{x^f x^f}^f \pi_{x^h x^h}^h \pi_{L^h L^h}^h \pi_{a^h a^h}^h - D \pi_{x^h x^h}^h \pi_{L^h L^h}^h \right) \\ &- D_{e^f}^f \pi_{x^f x^h}^f \pi_{x^h x^h}^h \pi_{L^h L^h}^h \pi_{a^h a^h}^h \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\iff & -t^f \pi_{x^f x^h}^f \pi_{x^h x^h}^h \pi_{L^h L^h}^h \pi_{a^h a^h}^h = -t^h \pi_{x^h x^h}^h \pi_{L^h L^h}^h \left(\pi_{x^f x^f}^f \pi_{a^h a^h}^h + D \right) \\
& + x^h p' \pi_{x^f x^h}^f \pi_{x^h x^h}^h \pi_{L^h L^h}^h \pi_{a^h a^h}^h \\
& - x^f p' \pi_{x^f x^f}^f \pi_{x^h x^h}^h \pi_{L^h L^h}^h \pi_{a^h a^h}^h - l^h \sigma_{L^h}^h \pi_{x^h x^h}^h \left[D + \pi_{a^h a^h}^h \pi_{x^f x^f}^f \right] \\
& + \sigma^h(L^h) \pi_{x^h x^h}^h \pi_{L^h L^h}^h \left(\pi_{x^f x^f}^f \pi_{a^h a^h}^h + D \right) - \sigma^f(L^f) \pi_{x^f x^h}^f \pi_{x^h x^h}^h \pi_{L^h L^h}^h \pi_{a^h a^h}^h \\
& + D_{e^h}^h \pi_{x^h x^h}^h \pi_{L^h L^h}^h \left(\pi_{x^f x^f}^f \pi_{a^h a^h}^h + D \right) - D_{e^f}^f \pi_{x^f x^h}^f \pi_{x^h x^h}^h \pi_{L^h L^h}^h \pi_{a^h a^h}^h
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\iff & t^f = t^h \frac{\pi_{x^f x^f}^f \pi_{a^h a^h}^h + D}{\pi_{x^f x^h}^f \pi_{a^h a^h}^h} - x^h p' + x^f p' \frac{\pi_{x^f x^f}^f}{\pi_{x^f x^h}^f} + l^h \sigma_{L^h}^h \frac{\pi_{x^f x^f}^f \pi_{a^h a^h}^h + D}{\pi_{x^f x^h}^f \pi_{L^h L^h}^h \pi_{a^h a^h}^h} \\
& - \sigma^h(L^h) \left(\frac{\pi_{x^f x^f}^f \pi_{a^h a^h}^h + D}{\pi_{x^f x^h}^f \pi_{a^h a^h}^h} \right) + \sigma^f(L^f) - D_{e^h}^h \left(\frac{\pi_{x^f x^f}^f \pi_{a^h a^h}^h + D}{\pi_{x^f x^h}^f \pi_{a^h a^h}^h} \right) + D_{e^f}^f
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\iff & t^f = (t^h - \sigma^h(L^h) - D_{e^h}^h) \frac{\pi_{x^f x^f}^f \pi_{a^h a^h}^h + D}{\pi_{x^f x^h}^f \pi_{a^h a^h}^h} - x^h p' \quad (C2) \\
& + x^f p' \frac{\pi_{x^f x^f}^f}{\pi_{x^f x^h}^f} + l^h \sigma_{L^h}^h \frac{\pi_{x^f x^f}^f \pi_{a^h a^h}^h + D}{\pi_{x^f x^h}^f \pi_{L^h L^h}^h \pi_{a^h a^h}^h} + \sigma^f(L^f) + D_{e^f}^f
\end{aligned}$$

$$\frac{d\Omega}{dt^f} = 0 \iff W_{t^f}^h + W_{t^f}^f = 0 \quad (C3)$$

$$\begin{aligned}
\iff & \frac{\partial \pi^h}{\partial x^h} \frac{\partial x^h}{\partial t^f} + \frac{\partial \pi^h}{\partial x^f} \frac{\partial x^f}{\partial t^f} + \frac{\partial \pi^h}{\partial a^h} \frac{\partial a^h}{\partial t^f} + \frac{\partial \pi^h}{\partial L^h} \frac{\partial L^h}{\partial t^f} \\
& + [t^h - \sigma^h(L^h)] \frac{\partial x^f}{\partial t^f} - D_{e^h}^h \frac{\partial x^h}{\partial t^f} \\
& + \frac{\partial \pi^f}{\partial x^h} \frac{\partial x^h}{\partial t^f} + \frac{\partial \pi^f}{\partial x^f} \frac{\partial x^f}{\partial t^f} + \frac{\partial \pi^f}{\partial a^f} \frac{\partial a^f}{\partial t^f} + \frac{\partial \pi^f}{\partial L^f} \frac{\partial L^f}{\partial t^f} \\
& + (t^f - \sigma^f(L^f)) \left(\frac{\partial x^f}{\partial t^f} - \frac{\partial a^f}{\partial t^f} \right) - \sigma_{L^f}^f e^f L_{t^f}^f - D_{e^f}^f \left(\frac{\partial x^f}{\partial t^f} - \frac{\partial a^f}{\partial t^f} \right)
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned} &\iff p'x^h x_{tf}^f + [t^h - \sigma^h(L^h)] x_{tf}^h - D_{e^h}^h x_{tf}^h + x^f p' x_{tf}^h \\ &+ (t^f - \sigma^f(L^f)) (x_{tf}^f - a_{tf}^f) - l^f L_{tf}^f - D_{e^f}^f (x_{tf}^f - a_{tf}^f) = 0 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \iff & -t^h \frac{\pi_{x^h x^f}^h \pi_{a^f a^f}^f \pi_{L^f L^f}^f \pi_{x^f x^f}^f}{\Delta^{tf}} = p' x^h \frac{-\pi_{x^h x^h}^h \pi_{a^f a^f}^f \pi_{L^f L^f}^f \pi_{x^f x^f}^f}{\Delta^{tf}} \\ & - \sigma^h(L^h) \frac{\pi_{x^h x^f}^h \pi_{a^f a^f}^f \pi_{L^f L^f}^f \pi_{x^f x^f}^f}{\Delta^{tf}} \\ & - D_{e^h}^h \frac{\pi_{x^h x^f}^h \pi_{a^f a^f}^f \pi_{L^f L^f}^f \pi_{x^f x^f}^f}{\Delta^{tf}} + x^f p' \frac{\pi_{x^h x^f}^h \pi_{a^f a^f}^f \pi_{L^f L^f}^f \pi_{x^f x^f}^f}{\Delta^{tf}} \\ & + (t^f - \sigma^f(L^f)) \left(\frac{-\pi_{x^h x^h}^h \pi_{a^f a^f}^f \pi_{L^f L^f}^f \pi_{x^f x^f}^f}{\Delta^{tf}} - \frac{D \pi_{L^f L^f}^f \pi_{x^f x^f}^f}{\Delta^{tf}} \right) \\ & - l^f \frac{\sigma_{L^f}^f \pi_{x^f x^f}^f \left[D + \pi_{x^h x^h}^h \pi_{a^f a^f}^f \right]}{\Delta^{tf}} \\ & - D_{e^f}^f \left(\frac{-\pi_{x^h x^h}^h \pi_{a^f a^f}^f \pi_{L^f L^f}^f \pi_{x^f x^f}^f}{\Delta^{tf}} - \frac{D \pi_{L^f L^f}^f \pi_{x^f x^f}^f}{\Delta^{tf}} \right) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \iff & -t^h \pi_{x^h x^f}^h \pi_{a^f a^f}^f \pi_{L^f L^f}^f \pi_{x^f x^f}^f = -p' x^h \pi_{x^h x^h}^h \pi_{a^f a^f}^f \pi_{L^f L^f}^f \pi_{x^f x^f}^f \\ & - D_{e^h}^h \pi_{x^h x^f}^h \pi_{a^f a^f}^f \pi_{L^f L^f}^f \pi_{x^f x^f}^f + x^f p' \pi_{x^h x^f}^h \pi_{a^f a^f}^f \pi_{L^f L^f}^f \pi_{x^f x^f}^f \\ & + (t^f - \sigma^f(L^f) - D_{e^f}^f) \left(-\pi_{x^h x^h}^h \pi_{a^f a^f}^f \pi_{L^f L^f}^f \pi_{x^f x^f}^f - D \pi_{L^f L^f}^f \pi_{x^f x^f}^f \right) \\ & - l^f \sigma_{L^f}^f \pi_{x^f x^f}^f \left[D + \pi_{x^h x^h}^h \pi_{a^f a^f}^f \right] - \sigma^h(L^h) \pi_{x^h x^f}^h \pi_{a^f a^f}^f \pi_{L^f L^f}^f \pi_{x^f x^f}^f \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \iff & t^h = x^h p' \frac{\pi_{x^h x^h}^h}{\pi_{x^h x^f}^h} + D_{e^h}^h - x^f p' + l^f \sigma_{L^f}^f \frac{D + \pi_{x^h x^h}^h \pi_{a^f a^f}^f}{\pi_{x^h x^f}^h \pi_{a^f a^f}^f \pi_{L^f L^f}^f} \quad (C4) \\ & + \left(t^f - \sigma^f(L^f) - D_{e^f}^f \right) \left(\frac{D + \pi_{x^h x^h}^h \pi_{a^f a^f}^f}{\pi_{x^h x^f}^h \pi_{a^f a^f}^f} \right) + \sigma^h(L^h) \end{aligned}$$

Nous substituons (C4) dans (C2) :

$$\begin{aligned}
t^h &= x^h p' \frac{\pi^h_{x^h x^h}}{\pi^h_{x^h x^f}} + D_{e^h}^h - x^f p' + l^f \sigma_{L^f}^f \frac{D + \pi^h_{x^h x^h} \pi^f_{a^f a^f}}{\pi^h_{x^h x^f} \pi^f_{a^f a^f} \pi^f_{L^f L^f}} \\
&+ (t^h - \sigma^h(L^h) - D_{e^h}^h) \frac{\pi^f_{x^f x^f} \pi^h_{a^h a^h} + D}{\pi^f_{x^f x^h} \pi^h_{a^h a^h}} \left(\frac{\pi^h_{x^h x^h} \pi^f_{a^f a^f} + D}{\pi^h_{x^h x^f} \pi^f_{a^f a^f}} \right) \\
&+ \left(-x^h p' + x^f p' \frac{\pi^f_{x^f x^f}}{\pi^f_{x^f x^h}} + l^h \sigma_{L^h}^h \frac{D + \pi^h_{a^h a^h} \pi^f_{x^f x^f}}{\pi^f_{x^f x^h} \pi^h_{L^h L^h} \pi^h_{a^h a^h}} \right) \left(\frac{\pi^h_{x^h x^h} \pi^f_{a^f a^f} + D}{\pi^h_{x^h x^f} \pi^f_{a^f a^f}} \right) \\
&+ \left(\sigma^f(L^f) + D_{e^f}^f - \sigma^f(L^f) - D_{e^f}^f \right) \left(\frac{D + \pi^h_{x^h x^h} \pi^f_{a^f a^f}}{\pi^h_{x^h x^f} \pi^f_{a^f a^f}} \right) + \sigma^h(L^h)
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
&\Leftrightarrow t^h \left(1 - \frac{\pi^f_{x^f x^f} \pi^h_{a^h a^h} + D}{\pi^f_{x^f x^h} \pi^h_{a^h a^h}} \frac{\pi^h_{x^h x^h} \pi^f_{a^f a^f} + D}{\pi^h_{x^h x^f} \pi^f_{a^f a^f}} \right) \\
&= x^h p' \frac{\pi^h_{x^h x^h}}{\pi^h_{x^h x^f}} - x^h p' \frac{\pi^h_{x^h x^h} \pi^f_{a^f a^f} + D}{\pi^h_{x^h x^f} \pi^f_{a^f a^f}} + l^f \sigma_{L^f}^f \frac{D + \pi^h_{x^h x^h} \pi^f_{a^f a^f}}{\pi^h_{x^h x^f} \pi^f_{a^f a^f} \pi^f_{L^f L^f}} \\
&+ D_{e^h}^h - D_{e^h}^h \frac{\pi^f_{x^f x^f} \pi^h_{a^h a^h} + D}{\pi^f_{x^f x^h} \pi^h_{a^h a^h}} \left(\frac{\pi^h_{x^h x^h} \pi^f_{a^f a^f} + D}{\pi^h_{x^h x^f} \pi^f_{a^f a^f}} \right) \\
&+ \sigma^h(L^h) - \sigma^h(L^h) \frac{\pi^f_{x^f x^f} \pi^h_{a^h a^h} + D}{\pi^f_{x^f x^h} \pi^h_{a^h a^h}} \frac{\pi^h_{x^h x^h} \pi^f_{a^f a^f} + D}{\pi^h_{x^h x^f} \pi^f_{a^f a^f}} \\
&+ x^f p' \frac{\pi^f_{x^f x^f}}{\pi^f_{x^f x^h}} \frac{\pi^h_{x^h x^h} \pi^f_{a^f a^f} + D}{\pi^h_{x^h x^f} \pi^f_{a^f a^f}} - x^f p' \\
&+ l^h \sigma_{L^h}^h \frac{\pi^f_{x^f x^f} \pi^h_{a^h a^h} + D}{\pi^f_{x^f x^h} \pi^h_{a^h a^h} \pi^h_{L^h L^h}} \frac{\pi^h_{x^h x^h} \pi^f_{a^f a^f} + D}{\pi^h_{x^h x^f} \pi^f_{a^f a^f}}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
&\Leftrightarrow t^h \left(1 - \frac{\pi_{x^f x^f}^f \pi_{a^h a^h}^h + D \pi_{x^h x^h}^h \pi_{a^f a^f}^f + D}{\pi_{x^f x^h}^f \pi_{a^h a^h}^h \pi_{x^h x^f}^h \pi_{a^f a^f}^f} \right) = \\
&x^h p' \left[\frac{\pi_{x^h x^h}^h - \frac{\pi_{x^h x^h}^h \pi_{a^f a^f}^f + D}{\pi_{x^h x^f}^h \pi_{a^f a^f}^f}}{\pi_{x^h x^f}^h} \right] \\
&+ x^f p' \left[\frac{\frac{\pi_{x^f x^f}^f \pi_{a^h a^h}^h + D}{\pi_{x^f x^h}^f \pi_{a^h a^h}^h} - 1}{\pi_{x^h x^f}^h \pi_{a^f a^f}^f} \right] \\
&+ D_{e^h}^h \left[1 - \frac{\pi_{x^f x^f}^f \pi_{a^h a^h}^h + D \pi_{x^h x^h}^h \pi_{a^f a^f}^f + D}{\pi_{x^f x^h}^f \pi_{a^h a^h}^h \pi_{x^h x^f}^h \pi_{a^f a^f}^f} \right] \\
&+ \sigma^h(L^h) \left[1 - \frac{\pi_{x^f x^f}^f \pi_{a^h a^h}^h + D \pi_{x^h x^h}^h \pi_{a^f a^f}^f + D}{\pi_{x^f x^h}^f \pi_{a^h a^h}^h \pi_{x^h x^f}^h \pi_{a^f a^f}^f} \right] \\
&+ l^h \sigma_{L^h}^h \frac{\pi_{x^f x^f}^f \pi_{a^h a^h}^h + D \pi_{x^h x^h}^h \pi_{a^f a^f}^f + D}{\pi_{x^f x^h}^f \pi_{a^h a^h}^h \pi_{L^h L^h}^h \pi_{x^h x^f}^h \pi_{a^f a^f}^f} + l^f \sigma_{L^f}^f \frac{D + \pi_{x^h x^h}^h \pi_{a^f a^f}^f}{\pi_{x^h x^f}^h \pi_{a^f a^f}^f \pi_{L^f L^f}^f}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
&\Leftrightarrow t^h \left[\frac{\pi_{x^f x^h}^f \pi_{a^h a^h}^h \pi_{x^h x^f}^h \pi_{a^f a^f}^f - \pi_{x^f x^f}^f \pi_{a^h a^h}^h \pi_{x^h x^h}^h \pi_{a^f a^f}^f - D^2 - D \left(\pi_{x^h x^h}^h \pi_{a^f a^f}^f + \pi_{x^f x^f}^f \pi_{a^h a^h}^h \right)}{\pi_{x^f x^h}^f \pi_{a^h a^h}^h \pi_{x^h x^f}^h \pi_{a^f a^f}^f} \right] = \\
&- x^h p' \frac{D}{\pi_{x^h x^f}^h \pi_{a^f a^f}^f} + x^f p' \left[D \left(\frac{\pi_{a^f a^f}^f + \pi_{x^f x^f}^f}{\pi_{x^f x^h}^f \pi_{x^h x^f}^h \pi_{a^f a^f}^f} \right) \right] \\
&+ D_{e^h}^h \left[1 - \frac{\pi_{x^f x^f}^f \pi_{a^h a^h}^h + D \pi_{x^h x^h}^h \pi_{a^f a^f}^f + D}{\pi_{x^f x^h}^f \pi_{a^h a^h}^h \pi_{x^h x^f}^h \pi_{a^f a^f}^f} \right] \\
&+ \sigma^h(L^h) \left[1 - \frac{\pi_{x^f x^f}^f \pi_{a^h a^h}^h + D \pi_{x^h x^h}^h \pi_{a^f a^f}^f + D}{\pi_{x^f x^h}^f \pi_{a^h a^h}^h \pi_{x^h x^f}^h \pi_{a^f a^f}^f} \right] \\
&+ \frac{l^h \sigma_{L^h}^h \pi_{x^f x^f}^f \pi_{a^h a^h}^h + D \pi_{x^h x^h}^h \pi_{a^f a^f}^f + D}{\pi_{L^h L^h}^h \pi_{x^f x^h}^f \pi_{a^h a^h}^h \pi_{x^h x^f}^h \pi_{a^f a^f}^f} + \frac{l^f \sigma_{L^f}^f D + \pi_{x^h x^h}^h \pi_{a^f a^f}^f}{\pi_{L^f L^f}^f \pi_{x^h x^f}^h \pi_{a^f a^f}^f}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
&\Leftrightarrow t^h \left[\frac{-D\pi_{a^h a^h}^h \pi_{a^f a^f}^f - D^2 - D \left(\pi_{x^h x^h}^h \pi_{a^f a^f}^f + \pi_{x^f x^f}^f \pi_{a^h a^h}^h \right)}{\pi_{x^f x^h}^f \pi_{a^h a^h}^h \pi_{x^h x^f}^h \pi_{a^f a^f}^f} \right] = \\
&-x^h p' \frac{D}{\pi_{x^h x^f}^h \pi_{a^f a^f}^f} + x^f p' \left[D \left(\frac{\pi_{a^f a^f}^f + \pi_{x^f x^f}^f}{\pi_{x^f x^h}^f \pi_{x^h x^f}^h \pi_{a^f a^f}^f} \right) \right] \\
&+ D_{e^h}^h \left[1 - \frac{\pi_{x^f x^f}^f \pi_{a^h a^h}^h + D \pi_{x^h x^h}^h \pi_{a^f a^f}^f + D}{\pi_{x^f x^h}^f \pi_{a^h a^h}^h \pi_{x^h x^f}^h \pi_{a^f a^f}^f} \right] \\
&+ \sigma^h(L^h) \left[1 - \frac{\pi_{x^f x^f}^f \pi_{a^h a^h}^h + D \pi_{x^h x^h}^h \pi_{a^f a^f}^f + D}{\pi_{x^f x^h}^f \pi_{a^h a^h}^h \pi_{x^h x^f}^h \pi_{a^f a^f}^f} \right] \\
&+ \frac{l^h \sigma_{L^h}^h \pi_{x^f x^f}^f \pi_{a^h a^h}^h + D \pi_{x^h x^h}^h \pi_{a^f a^f}^f + D}{\pi_{L^h L^h}^h \pi_{x^f x^h}^f \pi_{a^h a^h}^h \pi_{x^h x^f}^h \pi_{a^f a^f}^f} + \frac{l^f \sigma_{L^f}^f D + \pi_{x^h x^h}^h \pi_{a^f a^f}^f}{\pi_{L^f L^f}^f \pi_{x^h x^f}^h \pi_{a^f a^f}^f}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
&\Leftrightarrow t^h \left[-D \frac{\pi_{a^h a^h}^h \pi_{a^f a^f}^f + D + \left(\pi_{x^h x^h}^h \pi_{a^f a^f}^f + \pi_{x^f x^f}^f \pi_{a^h a^h}^h \right)}{\pi_{x^f x^h}^f \pi_{a^h a^h}^h \pi_{x^h x^f}^h \pi_{a^f a^f}^f} \right] = \\
&-x^h p' \frac{D}{\pi_{x^h x^f}^h \pi_{a^f a^f}^f} + x^f p' \left[D \left(\frac{\pi_{a^f a^f}^f + \pi_{x^f x^f}^f}{\pi_{x^f x^h}^f \pi_{x^h x^f}^h \pi_{a^f a^f}^f} \right) \right] \\
&+ D_{e^h}^h \left[1 - \frac{\pi_{x^f x^f}^f \pi_{a^h a^h}^h + D \pi_{x^h x^h}^h \pi_{a^f a^f}^f + D}{\pi_{x^f x^h}^f \pi_{a^h a^h}^h \pi_{x^h x^f}^h \pi_{a^f a^f}^f} \right] \\
&+ \sigma^h(L^h) \left[1 - \frac{\pi_{x^f x^f}^f \pi_{a^h a^h}^h + D \pi_{x^h x^h}^h \pi_{a^f a^f}^f + D}{\pi_{x^f x^h}^f \pi_{a^h a^h}^h \pi_{x^h x^f}^h \pi_{a^f a^f}^f} \right] \\
&+ \frac{l^h \sigma_{L^h}^h \pi_{x^f x^f}^f \pi_{a^h a^h}^h + D \pi_{x^h x^h}^h \pi_{a^f a^f}^f + D}{\pi_{L^h L^h}^h \pi_{x^f x^h}^f \pi_{a^h a^h}^h \pi_{x^h x^f}^h \pi_{a^f a^f}^f} + \frac{l^f \sigma_{L^f}^f D + \pi_{x^h x^h}^h \pi_{a^f a^f}^f}{\pi_{L^f L^f}^f \pi_{x^h x^f}^h \pi_{a^f a^f}^f}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\iff t^{hc} &= x^h p' \frac{\pi_{x^f x^h}^f \pi_{a^h a^h}^h}{\pi_{a^h a^h}^h \pi_{a^f a^f}^f + D + \pi_{x^h x^h}^h \pi_{a^f a^f}^f + \pi_{x^f x^f}^f \pi_{a^h a^h}^h} \quad (C5) \\
&- x^f p' \frac{\pi_{a^h a^h}^h (\pi_{a^f a^f}^f + \pi_{x^f x^f}^f)}{\pi_{a^h a^h}^h \pi_{a^f a^f}^f + D + \pi_{x^h x^h}^h \pi_{a^f a^f}^f + \pi_{x^f x^f}^f \pi_{a^h a^h}^h} \\
&+ D_{e^h}^h + \sigma^h(L^h) \\
&- \frac{l^h \sigma_{L^h}^h (\pi_{x^f x^f}^f \pi_{a^h a^h}^h + D) (\pi_{x^h x^h}^h \pi_{a^f a^f}^f + D)}{\pi_{L^h L^h}^h D [\pi_{a^h a^h}^h \pi_{a^f a^f}^f + D + \pi_{x^h x^h}^h \pi_{a^f a^f}^f + \pi_{x^f x^f}^f \pi_{a^h a^h}^h]} \\
&- \frac{l^f \sigma_{L^f}^f (\pi_{x^h x^h}^h \pi_{a^f a^f}^f + D) \pi_{x^f x^h}^f \pi_{a^h a^h}^h}{\pi_{L^f L^f}^f D [\pi_{a^h a^h}^h \pi_{a^f a^f}^f + D + \pi_{x^h x^h}^h \pi_{a^f a^f}^f + \pi_{x^f x^f}^f \pi_{a^h a^h}^h]}
\end{aligned}$$

D'où,

$$\begin{aligned}
t^f &= \left(x^h p' \frac{\pi_{x^h x^h}^h}{\pi_{x^h x^f}^h} + D_{e^h}^h - x^f p' + \sigma^h(L^h) - \sigma^h(L^h) - D_{e^h}^h \right) \frac{\pi_{x^f x^f}^f \pi_{a^h a^h}^h + D}{\pi_{x^f x^h}^f \pi_{a^h a^h}^h} \\
&+ l^f \sigma_{L^f}^f \frac{D + \pi_{x^h x^h}^h \pi_{a^f a^f}^f}{\pi_{x^h x^f}^h \pi_{a^f a^f}^f \pi_{L^f L^f}^f} \frac{\pi_{x^f x^f}^f \pi_{a^h a^h}^h + D}{\pi_{x^f x^h}^f \pi_{a^h a^h}^h} \\
&+ \left(t^f - \sigma^f(L^f) - D_{e^f}^f \right) \left(\frac{\pi_{x^h x^h}^h \pi_{a^f a^f}^f + D}{\pi_{x^h x^f}^h \pi_{a^f a^f}^f} \right) \frac{\pi_{x^f x^f}^f \pi_{a^h a^h}^h + D}{\pi_{x^f x^h}^f \pi_{a^h a^h}^h} \\
&+ l^h \sigma_{L^h}^h \frac{D + \pi_{a^h a^h}^h \pi_{x^f x^f}^f}{\pi_{x^f x^h}^f \pi_{L^h L^h}^h \pi_{a^h a^h}^h} + \sigma^f(L^f) + D_{e^f}^f - x^h p' + x^f p' \frac{\pi_{x^f x^f}^f}{\pi_{x^f x^h}^f}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\iff & t^f \left[1 - \frac{\pi_{x^h x^h}^h \pi_{a^f a^f}^f + D \pi_{x^f x^f}^f \pi_{a^h a^h}^h + D}{\pi_{x^h x^f}^h \pi_{a^f a^f}^f} \frac{\pi_{x^f x^f}^f \pi_{a^h a^h}^h + D}{\pi_{x^f x^h}^f \pi_{a^h a^h}^h} \right] = \\
& x^h p' \left(\frac{\pi_{x^h x^h}^h \pi_{x^f x^f}^f \pi_{a^h a^h}^h + D}{\pi_{x^h x^f}^h \pi_{x^f x^h}^f \pi_{a^h a^h}^h} - 1 \right) \\
& + x^f p' \left(\frac{\pi_{x^f x^f}^f}{\pi_{x^f x^h}^f} - \frac{\pi_{x^f x^f}^f \pi_{a^h a^h}^h + D}{\pi_{x^f x^h}^f \pi_{a^h a^h}^h} \right) \\
& + \sigma^f(L^f) \left[1 - \frac{\pi_{x^h x^h}^h \pi_{a^f a^f}^f + D \pi_{x^f x^f}^f \pi_{a^h a^h}^h + D}{\pi_{x^h x^f}^h \pi_{a^f a^f}^f} \frac{\pi_{x^f x^f}^f \pi_{a^h a^h}^h + D}{\pi_{x^f x^h}^f \pi_{a^h a^h}^h} \right] \\
& + D_{ef}^f \left[1 - \frac{\pi_{x^h x^h}^h \pi_{a^f a^f}^f + D \pi_{x^f x^f}^f \pi_{a^h a^h}^h + D}{\pi_{x^h x^f}^h \pi_{a^f a^f}^f} \frac{\pi_{x^f x^f}^f \pi_{a^h a^h}^h + D}{\pi_{x^f x^h}^f \pi_{a^h a^h}^h} \right] \\
& + l^h \sigma_{L^h}^h \frac{D + \pi_{a^h a^h}^h \pi_{x^f x^f}^f}{\pi_{x^f x^h}^f \pi_{L^h L^h}^h \pi_{a^h a^h}^h} + l^f \sigma_{L^f}^f \frac{D + \pi_{x^h x^h}^h \pi_{a^f a^f}^f}{\pi_{x^h x^f}^h \pi_{a^f a^f}^f \pi_{L^f L^f}^f} \frac{\pi_{x^f x^f}^f \pi_{a^h a^h}^h + D}{\pi_{x^f x^h}^f \pi_{a^h a^h}^h}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\iff & t^f \left[-D \frac{\left[\pi_{a^h a^h}^h \pi_{a^f a^f}^f + D + \pi_{x^h x^h}^h \pi_{a^f a^f}^f + \pi_{x^f x^f}^f \pi_{a^h a^h}^h \right]}{\pi_{x^h x^f}^h \pi_{a^f a^f}^f \pi_{x^f x^h}^f \pi_{a^h a^h}^h} \right] = \\
& -x^f p' \frac{D}{\pi_{x^f x^h}^f \pi_{a^h a^h}^h} + x^h p' \frac{D (\pi_{a^h a^h}^h + \pi_{x^h x^h}^h)}{\pi_{x^f x^h}^f \pi_{a^h a^h}^h \pi_{x^h x^f}^h} \\
& + \sigma^f(L^f) \left[1 - \frac{\pi_{x^h x^h}^h \pi_{a^f a^f}^f + D \pi_{x^f x^f}^f \pi_{a^h a^h}^h + D}{\pi_{x^h x^f}^h \pi_{a^f a^f}^f} \frac{\pi_{x^f x^f}^f \pi_{a^h a^h}^h + D}{\pi_{x^f x^h}^f \pi_{a^h a^h}^h} \right] \\
& + D_{ef}^f \left[1 - \frac{\pi_{x^h x^h}^h \pi_{a^f a^f}^f + D \pi_{x^f x^f}^f \pi_{a^h a^h}^h + D}{\pi_{x^h x^f}^h \pi_{a^f a^f}^f} \frac{\pi_{x^f x^f}^f \pi_{a^h a^h}^h + D}{\pi_{x^f x^h}^f \pi_{a^h a^h}^h} \right] \\
& + l^h \sigma_{L^h}^h \frac{D + \pi_{a^h a^h}^h \pi_{x^f x^f}^f}{\pi_{x^f x^h}^f \pi_{L^h L^h}^h \pi_{a^h a^h}^h} + l^f \sigma_{L^f}^f \frac{D + \pi_{x^h x^h}^h \pi_{a^f a^f}^f}{\pi_{x^h x^f}^h \pi_{a^f a^f}^f \pi_{L^f L^f}^f} \frac{\pi_{x^f x^f}^f \pi_{a^h a^h}^h + D}{\pi_{x^f x^h}^f \pi_{a^h a^h}^h}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\iff t^{fc} &= x^f p' \frac{\pi_{x^h x^f}^h \pi_{a^f a^f}^f}{\pi_{a^h a^h}^h \pi_{a^f a^f}^f + D + \pi_{x^h x^h}^h \pi_{a^f a^f}^f + \pi_{x^f x^f}^f \pi_{a^h a^h}^h} \\
&- x^h p' \frac{(\pi_{a^h a^h}^h + \pi_{x^h x^h}^h) \pi_{a^f a^f}^f}{\pi_{a^h a^h}^h \pi_{a^f a^f}^f + D + \pi_{x^h x^h}^h \pi_{a^f a^f}^f + \pi_{x^f x^f}^f \pi_{a^h a^h}^h} \\
&+ \sigma^f(L^f) + D_{ef}^f \\
&\frac{l^h \sigma_{L^h}^h}{\pi_{L^h L^h}^h} \frac{(D + \pi_{a^h a^h}^h \pi_{x^f x^f}^f) \pi_{x^h x^f}^h \pi_{a^f a^f}^f}{D \left[\pi_{a^h a^h}^h \pi_{a^f a^f}^f + D + \pi_{x^h x^h}^h \pi_{a^f a^f}^f + \pi_{a^h a^h}^h \pi_{x^f x^f}^f \right]} \\
&\frac{l^f \sigma_{L^f}^f}{\pi_{L^f L^f}^f} \frac{(\pi_{x^h x^h}^h \pi_{a^f a^f}^f) (\pi_{a^h a^h}^h \pi_{x^f x^f}^f + D)}{D \left[\pi_{a^h a^h}^h \pi_{a^f a^f}^f + D + \pi_{x^h x^h}^h \pi_{a^f a^f}^f + \pi_{a^h a^h}^h \pi_{x^f x^f}^f \right]}
\end{aligned} \tag{C6}$$

Preuve : les taxes coopératives sont supérieures aux taxes non coopératives

$$t^{hc} > t^h$$

$$\begin{aligned}
\iff &x^h p' \frac{\pi_{x^f x^h}^f \pi_{a^h a^h}^h}{\pi_{a^h a^h}^h \pi_{a^f a^f}^f + D + (\pi_{x^h x^h}^h \pi_{a^f a^f}^f + \pi_{x^f x^f}^f \pi_{a^h a^h}^h)} \\
&- x^f p' \frac{\pi_{a^h a^h}^h (\pi_{a^f a^f}^f + \pi_{x^f x^f}^f)}{\pi_{a^h a^h}^h \pi_{a^f a^f}^f + D + (\pi_{x^h x^h}^h \pi_{a^f a^f}^f + \pi_{x^f x^f}^f \pi_{a^h a^h}^h)} \\
&+ D_{eh}^h + \sigma^h(L^h) \\
&\frac{l^h \sigma_{L^h}^h}{\pi_{L^h L^h}^h} \frac{(\pi_{x^f x^f}^f \pi_{a^h a^h}^h + D) (\pi_{x^h x^h}^h \pi_{a^f a^f}^f + D)}{D \left[\pi_{a^h a^h}^h \pi_{a^f a^f}^f + D + (\pi_{x^h x^h}^h \pi_{a^f a^f}^f + \pi_{x^f x^f}^f \pi_{a^h a^h}^h) \right]} \\
&\frac{l^f \sigma_{L^f}^f}{\pi_{L^f L^f}^f} \frac{(\pi_{x^h x^h}^h \pi_{a^f a^f}^f + D) \pi_{x^f x^h}^f \pi_{a^h a^h}^h}{D \left[\pi_{a^h a^h}^h \pi_{a^f a^f}^f + D + (\pi_{x^h x^h}^h \pi_{a^f a^f}^f + \pi_{x^f x^f}^f \pi_{a^h a^h}^h) \right]} \\
> &\frac{x^h p' \pi_{x^f x^h}^f \pi_{a^h a^h}^h}{\pi_{x^f x^f}^f \pi_{a^h a^h}^h + D} - \frac{l^h \sigma_{L^h}^h}{\pi_{L^h L^h}^h} + \sigma^h(L^h) + D_{eh}^h
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
&\Leftrightarrow x^h p' \frac{\pi_{x^f x^h}^f \pi_{a^h a^h}^h}{\pi_{a^h a^h}^h \pi_{a^f a^f}^f + D + \pi_{x^h x^h}^h \pi_{a^f a^f}^f + \pi_{x^f x^f}^f \pi_{a^h a^h}^h} - \frac{x^h p' \pi_{x^f x^h}^f \pi_{a^h a^h}^h}{\pi_{x^f x^f}^f \pi_{a^h a^h}^h + D} \\
&\quad - x^f p' \frac{\pi_{a^h a^h}^h \left(\pi_{a^f a^f}^f + \pi_{x^f x^f}^f \right)}{\pi_{a^h a^h}^h \pi_{a^f a^f}^f + D + \left(\pi_{x^h x^h}^h \pi_{a^f a^f}^f + \pi_{x^f x^f}^f \pi_{a^h a^h}^h \right)} \\
&\quad - \frac{l^h \sigma_{L^h}^h}{\pi_{L^h L^h}^h} \frac{\left(\pi_{x^f x^f}^f \pi_{a^h a^h}^h + D \right) \left(\pi_{x^h x^h}^h \pi_{a^f a^f}^f + D \right)}{D \left[\pi_{a^h a^h}^h \pi_{a^f a^f}^f + D + \pi_{x^h x^h}^h \pi_{a^f a^f}^f + \pi_{x^f x^f}^f \pi_{a^h a^h}^h \right]} + \frac{l^h \sigma_{L^h}^h}{\pi_{L^h L^h}^h} \\
&\quad - \frac{l^f \sigma_{L^f}^f}{\pi_{L^f L^f}^f} \frac{\left(\pi_{x^h x^h}^h \pi_{a^f a^f}^f + D \right) \pi_{x^f x^h}^f \pi_{a^h a^h}^h}{D \left[\pi_{a^h a^h}^h \pi_{a^f a^f}^f + D + \pi_{x^h x^h}^h \pi_{a^f a^f}^f + \pi_{x^f x^f}^f \pi_{a^h a^h}^h \right]} > 0
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
&\Leftrightarrow x^h p' \pi_{x^f x^h}^f \pi_{a^h a^h}^h \\
&\quad \times \frac{\pi_{x^f x^f}^f \pi_{a^h a^h}^h + D - \pi_{a^h a^h}^h \pi_{a^f a^f}^f - D - \pi_{x^h x^h}^h \pi_{a^f a^f}^f - \pi_{x^f x^f}^f \pi_{a^h a^h}^h}{\left[\pi_{a^h a^h}^h \pi_{a^f a^f}^f + D + \pi_{x^h x^h}^h \pi_{a^f a^f}^f + \pi_{x^f x^f}^f \pi_{a^h a^h}^h \right] \left[\pi_{x^f x^f}^f \pi_{a^h a^h}^h + D \right]} \\
&\quad - x^f p' \frac{\pi_{a^h a^h}^h \left(\pi_{a^f a^f}^f + \pi_{x^f x^f}^f \right)}{\pi_{a^h a^h}^h \pi_{a^f a^f}^f + D + \left(\pi_{x^h x^h}^h \pi_{a^f a^f}^f + \pi_{x^f x^f}^f \pi_{a^h a^h}^h \right)} \\
&\quad + \frac{l^h \sigma_{L^h}^h}{\pi_{L^h L^h}^h} \frac{\pi_{a^h a^h}^h \pi_{a^f a^f}^f D - \pi_{a^h a^h}^h \pi_{x^f x^f}^f \pi_{x^h x^h}^h \pi_{a^f a^f}^f}{D \left[\pi_{a^h a^h}^h \pi_{a^f a^f}^f + D + \pi_{x^h x^h}^h \pi_{a^f a^f}^f + \pi_{x^f x^f}^f \pi_{a^h a^h}^h \right]} \\
&\quad - \frac{l^f \sigma_{L^f}^f}{\pi_{L^f L^f}^f} \frac{\left(\pi_{x^h x^h}^h \pi_{a^f a^f}^f + D \right) \pi_{x^f x^h}^f \pi_{a^h a^h}^h}{D \left[\pi_{a^h a^h}^h \pi_{a^f a^f}^f + D + \pi_{x^h x^h}^h \pi_{a^f a^f}^f + \pi_{x^f x^f}^f \pi_{a^h a^h}^h \right]} > 0
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
&\Leftrightarrow -x^h p' \frac{\pi_{x^f x^h}^f \pi_{a^h a^h}^h \pi_{a^f a^f}^f (\pi_{a^h a^h}^h + \pi_{x^h x^h}^h)}{\left[\pi_{a^h a^h}^h \pi_{a^f a^f}^f + D + \pi_{x^h x^h}^h \pi_{a^f a^f}^f + \pi_{x^f x^f}^f \pi_{a^h a^h}^h \right] \left[\pi_{x^f x^f}^f \pi_{a^h a^h}^h + D \right]} \\
&-x^f p' \frac{\pi_{a^h a^h}^h (\pi_{a^f a^f}^f + \pi_{x^f x^f}^f)}{\pi_{a^h a^h}^h \pi_{a^f a^f}^f + D + (\pi_{x^h x^h}^h \pi_{a^f a^f}^f + \pi_{x^f x^f}^f \pi_{a^h a^h}^h)} \\
&\frac{l^h \sigma_{L^h}^h}{\pi_{L^h L^h}^h D \left[\pi_{a^h a^h}^h \pi_{a^f a^f}^f + D + \pi_{x^h x^h}^h \pi_{a^f a^f}^f + \pi_{x^f x^f}^f \pi_{a^h a^h}^h \right]} \frac{\pi_{a^h a^h}^h \pi_{a^f a^f}^f \pi_{x^h x^f}^h \pi_{x^f x^h}^f}{\pi_{L^h L^h}^h D \left[\pi_{a^h a^h}^h \pi_{a^f a^f}^f + D + \pi_{x^h x^h}^h \pi_{a^f a^f}^f + \pi_{x^f x^f}^f \pi_{a^h a^h}^h \right]} \\
&\frac{l^f \sigma_{L^f}^f}{\pi_{L^f L^f}^f D \left[\pi_{a^h a^h}^h \pi_{a^f a^f}^f + D + \pi_{x^h x^h}^h \pi_{a^f a^f}^f + \pi_{x^f x^f}^f \pi_{a^h a^h}^h \right]} \frac{(\pi_{x^h x^h}^h \pi_{a^f a^f}^f + D) \pi_{x^f x^h}^f \pi_{a^h a^h}^h}{\pi_{L^f L^f}^f D \left[\pi_{a^h a^h}^h \pi_{a^f a^f}^f + D + \pi_{x^h x^h}^h \pi_{a^f a^f}^f + \pi_{x^f x^f}^f \pi_{a^h a^h}^h \right]} > 0
\end{aligned}$$

Chaque membre de l'équation étant positif, nous obtenons ce que nous voulions démontrer : la taxe domestique en mode coopératif est supérieure à celle de l'analyse non coopérative. Un résultat identique survient par comparaison des taxes environnementales étrangères :

$$t^{fc} > t^f$$

$$\begin{aligned}
&\Leftrightarrow x^f p' \frac{\pi_{x^h x^f}^h \pi_{a^f a^f}^f}{\pi_{a^h a^h}^h \pi_{a^f a^f}^f + D + \pi_{x^h x^h}^h \pi_{a^f a^f}^f + \pi_{x^f x^f}^f \pi_{a^h a^h}^h} \\
&-x^h p' \frac{(\pi_{a^h a^h}^h + \pi_{x^h x^h}^h) \pi_{a^f a^f}^f}{\pi_{a^h a^h}^h \pi_{a^f a^f}^f + D + \pi_{x^h x^h}^h \pi_{a^f a^f}^f + \pi_{x^f x^f}^f \pi_{a^h a^h}^h} \\
&+ \sigma^f(L^f) + D_{ef}^f \\
&\frac{l^h \sigma_{L^h}^h}{\pi_{L^h L^h}^h D \left[\pi_{a^h a^h}^h \pi_{a^f a^f}^f + D + \pi_{x^h x^h}^h \pi_{a^f a^f}^f + \pi_{x^f x^f}^f \pi_{a^h a^h}^h \right]} \frac{(D + \pi_{a^h a^h}^h \pi_{x^f x^f}^f) \pi_{x^h x^f}^h \pi_{a^f a^f}^f}{\pi_{L^h L^h}^h D \left[\pi_{a^h a^h}^h \pi_{a^f a^f}^f + D + \pi_{x^h x^h}^h \pi_{a^f a^f}^f + \pi_{x^f x^f}^f \pi_{a^h a^h}^h \right]} \\
&\frac{l^f \sigma_{L^f}^f}{\pi_{L^f L^f}^f D \left[\pi_{a^h a^h}^h \pi_{a^f a^f}^f + D + \pi_{x^h x^h}^h \pi_{a^f a^f}^f + \pi_{x^f x^f}^f \pi_{a^h a^h}^h \right]} \frac{(D + \pi_{x^h x^h}^h \pi_{a^f a^f}^f) (\pi_{x^f x^f}^f \pi_{a^h a^h}^h + D)}{\pi_{L^f L^f}^f D \left[\pi_{a^h a^h}^h \pi_{a^f a^f}^f + D + \pi_{x^h x^h}^h \pi_{a^f a^f}^f + \pi_{x^f x^f}^f \pi_{a^h a^h}^h \right]} \\
&> \frac{x^f p' \pi_{x^h x^f}^h \pi_{a^f a^f}^f}{\pi_{x^h x^h}^h \pi_{a^f a^f}^f + D} - \frac{l^f \sigma_{L^f}^f}{\pi_{L^f L^f}^f} + \sigma^f(L^f) + D_{ef}^f
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\iff & x^f p' \frac{\pi_{x^h x^f}^h \pi_{a^f a^f}^f}{\pi_{a^h a^h}^h \pi_{a^f a^f}^f + D + \pi_{x^h x^h}^h \pi_{a^f a^f}^f + \pi_{x^f x^f}^f \pi_{a^h a^h}^h} - \frac{x^f p' \pi_{x^h x^f}^h \pi_{a^f a^f}^f}{\pi_{x^h x^h}^h \pi_{a^f a^f}^f + D} \\
& - x^h p' \frac{(\pi_{a^h a^h}^h + \pi_{x^h x^h}^h) \pi_{a^f a^f}^f}{\pi_{a^h a^h}^h \pi_{a^f a^f}^f + D + \pi_{x^h x^h}^h \pi_{a^f a^f}^f + \pi_{x^f x^f}^f \pi_{a^h a^h}^h} \\
& - \frac{l^h \sigma_{L^h}^h}{\pi_{L^h L^h}^h} \frac{(D + \pi_{a^h a^h}^h \pi_{x^f x^f}^f) \pi_{x^h x^f}^h \pi_{a^f a^f}^f}{D \left[\pi_{a^h a^h}^h \pi_{a^f a^f}^f + D + \pi_{x^h x^h}^h \pi_{a^f a^f}^f + \pi_{x^f x^f}^f \pi_{a^h a^h}^h \right]} \\
& - \frac{l^f \sigma_{L^f}^f}{\pi_{L^f L^f}^f} \frac{(D + \pi_{x^h x^h}^h \pi_{a^f a^f}^f) (\pi_{x^f x^f}^f \pi_{a^h a^h}^h + D)}{D \left[\pi_{a^h a^h}^h \pi_{a^f a^f}^f + D + \pi_{x^h x^h}^h \pi_{a^f a^f}^f + \pi_{x^f x^f}^f \pi_{a^h a^h}^h \right]} + \frac{l^f \sigma_{L^f}^f}{\pi_{L^f L^f}^f} > 0
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\iff & -x^f p' \frac{\pi_{x^h x^f}^h \pi_{a^f a^f}^f \pi_{a^h a^h}^h (\pi_{a^f a^f}^f + \pi_{x^f x^f}^f)}{\left[\pi_{a^h a^h}^h \pi_{a^f a^f}^f + D + \pi_{x^h x^h}^h \pi_{a^f a^f}^f + \pi_{x^f x^f}^f \pi_{a^h a^h}^h \right] \left[\pi_{x^h x^h}^h \pi_{a^f a^f}^f + D \right]} \\
& - x^h p' \frac{(\pi_{a^h a^h}^h + \pi_{x^h x^h}^h) \pi_{a^f a^f}^f}{\pi_{a^h a^h}^h \pi_{a^f a^f}^f + D + \pi_{x^h x^h}^h \pi_{a^f a^f}^f + \pi_{x^f x^f}^f \pi_{a^h a^h}^h} \\
& - \frac{l^h \sigma_{L^h}^h}{\pi_{L^h L^h}^h} \frac{(D + \pi_{a^h a^h}^h \pi_{x^f x^f}^f) \pi_{x^h x^f}^h \pi_{a^f a^f}^f}{D \left[\pi_{a^h a^h}^h \pi_{a^f a^f}^f + D + \pi_{x^h x^h}^h \pi_{a^f a^f}^f + \pi_{x^f x^f}^f \pi_{a^h a^h}^h \right]} \\
& - \frac{l^f \sigma_{L^f}^f}{\pi_{L^f L^f}^f} \frac{\pi_{a^h a^h}^h \pi_{a^f a^f}^f \pi_{x^h x^f}^h \pi_{x^f x^h}^f}{D \left[\pi_{a^h a^h}^h \pi_{a^f a^f}^f + D + \pi_{x^h x^h}^h \pi_{a^f a^f}^f + \pi_{x^f x^f}^f \pi_{a^h a^h}^h \right]} > 0
\end{aligned}$$

Chapitre 4

Permis d'émission négociables politiques stratégiques

Le Protocole de Kyoto tardait à être appliqué en partie à cause des réticences des Etats-Unis. La Russie, en novembre 2004, a été le cinquante-cinquième pays à ratifier ce Protocole ce qui a permis sa mise en œuvre effective. Les négociations concernant ce Protocole ont duré sept années. L'instrument de réduction des émissions, choisi par les signataires du Protocole, est le marché de permis d'émission négociables (PEN). Il a été préféré aux taxes environnementales. Pourtant, la taxe et le marché de PEN permettent tous les deux l'internalisation de l'externalité qu'est la pollution et répondent à une logique de décentralisation. En effet, c'est le pollueur qui prend la décision de dépollution, car il est parfaitement informé de son coût marginal de réduction des émissions. Les taxes sont un instrument « prix » alors que les permis sont un instrument « quantités ». Le législateur prescrit donc directement le résultat environnemental dans le cas du marché des PEN, contrairement au principe de la taxe, révélant ainsi une faiblesse de celle-ci. De plus, le « prix » – le taux de taxe – est déterminé par une autorité publique ce qui en fait un prix administré tandis que le prix des PEN peut s'ajuster librement en cas de chocs exogènes. Ces avantages ont joué en faveur de l'adoption des PEN au sein du Protocole de Kyoto. Les membres signataires doivent encore faire leurs preuves dans l'application du Protocole.

L'intérêt des marchés de permis de pollution est multiple¹. Les pouvoirs publics fixent le plafond de pollution et laissent aux entreprises le libre choix du nombre de permis à détenir. Ainsi, la possibilité d'échanger des permis permet aux entreprises de faire un arbitrage entre réduire ses émissions en payant le coût correspondant et continuer à émettre des substances polluantes en achetant des permis au prix prévalant sur le marché. Ainsi, le marché conduit les entreprises à choisir, de façon décentralisée, le niveau de réduction des émissions qui minimise le coût global de la réglementation. Les réductions choisies satisfont ce que l'on appelle le critère d'efficacité par les coûts. De plus, cette répartition est obtenue quelle que soit l'allocation initiale des permis. Les pouvoirs publics peuvent ainsi distribuer les permis selon leurs objectifs – c'est-à-dire obtenir ou non un revenu – ou selon leur sens de l'équité – dans le cas d'une distribution gratuite – sans modifier ce résultat d'efficacité.

Notre modélisation se réfère aux travaux de Barrett [1994], Conrad [1993a et 1993b], Kennedy [1994], Ulph [1996b] et Pralong [2003 et 2005]. Ces auteurs démontrent l'intérêt des nations à pratiquer des politiques environnementales stratégiques. Pralong [2003 et 2005] en utilisant un marché de PEN concurrentiel, démontre que le plafond optimal d'émission est toujours plus élevé lorsqu'un gouvernement adopte un comportement stratégique que lorsqu'il n'en a pas. Dans ce cas, le coût engendré par la pollution qui augmente (c'est-à-dire les dommages), fait plus que compenser les gains des entreprises qui accroissent leur production et l'effet total sur le bien-être est négatif.

Suivant Pralong [2003 et 2005]², nous supposons donc que deux pays commercent ensemble. Dans chaque pays, les firmes n'appartiennent pas au même secteur d'activité, mais elles émettent le même polluant. Cette hypothèse permet – en simplifiant les écritures des équilibres sur le marché des produits – de mettre en évidence les effets de la création d'un marché de PEN. Les permis sont attribués de manière gratuite par les gouvernements. Le marché des PEN sert à réguler un polluant local (dioxyde de soufre, dioxyde de carbone,

¹Un marché de permis d'émission négociables peut être international. Cependant, nous n'envisageons qu'un marché national d'échange de droits dans cette thèse.

²Voir la section 2.3.3 du chapitre 2.

pollution par mercure des eaux des fleuves et rivières, etc.).

L'objet de ce chapitre est l'analyse de l'impact des politiques environnementales de pays exportateurs qui cherchent à contourner la législation en vigueur, et ce, lorsque le marché des PEN est concurrentiel ou qu'il existe une manipulation des prix sur le marché des PEN. Nous reprenons dans une première section les travaux de Pralong [2005] afin d'établir un cadre de référence. Nous supposons qu'un seul pays met en place un marché de PEN et que ce dernier est concurrentiel. Nous évaluons ensuite les effets sur les profits, sur les niveaux de production et sur les dommages environnementaux de la présence d'un second pays dont les autorités interviennent stratégiquement. Nous retrouvons le dilemme du prisonnier, situation habituelle lorsque plusieurs régulateurs agissent stratégiquement. Quand les gouvernements coopèrent pour la protection de l'environnement, nous montrons que les Etats durcissent leur politique environnementale. Toutefois, contrairement au cas où l'instrument de politique environnementale est une taxe, de nouveaux effets apparaissent. Certains de ces effets contribuent au durcissement et d'autres au relâchement de la politique environnementale coopérative par rapport à la situation bilatérale. Cependant, les nouveaux effets jouant en faveur d'une politique environnementale moins rigoureuse sont dominés par les nouveaux effets menant à une politique environnementale plus contraignante. Par la suite, nous envisageons, en collaboration avec Sonia Schwartz, une manipulation des prix des permis d'émission par une entreprise, à la manière de Sartzetakis [1994]. Nous montrons que les gouvernements adoptent toujours un comportement stratégique, c'est-à-dire que le plafond de pollution est plus élevé – la charge environnementale pour les entreprises diminue – afin de soutenir les firmes nationales sur les marchés des produits. Ce plafond de pollution est moins élevé lorsqu'il n'y a pas de manipulation sur le marché des permis, mais le bien-être est plus faible. Ce phénomène peut s'expliquer d'une part, par la modification des comportements des entreprises, et d'autre part, par le fait que les pays utilisent deux variables d'ajustement : le plafond de pollution et la dotation initiale de permis attribuée à l'entreprise dominante. De plus, nous mettons en évidence

que l'entreprise dominante sur le marché des permis n'exerce ni une manipulation par exclusion, car les entreprises ne sont pas sur le même marché, ni une manipulation simple, parce qu'elle prend en compte le marché des biens pour fixer le prix des permis. Nous présentons donc de nouveaux comportements stratégiques à la fois de la part des entreprises et de la part du régulateur. En effet, les pouvoirs publics délèguent une partie de leur pouvoir stratégique à l'entreprise qui manipule.

Notre travail s'organise de la façon suivante. Dans la première section, nous décrivons les hypothèses du modèle. Le modèle de référence est abordé dans une seconde section : avec un cadre de concurrence imparfaite sur le marché des biens, un pays intervient afin de mettre en œuvre une politique environnementale. Ceci se traduit par la création d'un marché de PEN, lequel est concurrentiel. Les troisième et quatrième sections traitent de l'intervention du pays étranger qui met en place une politique environnementale et de la coopération nécessaire face à de telles politiques. La cinquième section analyse l'intervention du gouvernement domestique qui met en œuvre un marché de PEN malgré l'existence de manipulation de prix sur le marché des PEN. Un exemple est considéré dans une dernière section.

4.1 Description du modèle

Dans un monde de concurrence imparfaite, deux secteurs coexistent dans lesquels seules deux firmes soutenues par leurs Etats nationaux respectifs (indexés par k , $k = h, f$) se concurrencent sur un marché tiers. Les firmes ne sont pas toutes présentes au sein du même secteur d'activité : deux entreprises, l'une domestique, h , l'autre étrangère, f , appartiennent au secteur 1, les deux autres aux secteurs 2³. Dans chaque secteur indicé par $i = 1, 2$, les entreprises produisent chacune un bien substituable en quantités x_i^k (x_i^h étant les biens domestiques et x_i^f les biens étrangers du duopole i) à un coût $c_i^k(x_i^k)$. Les fonctions de coûts sont croissantes et convexes : $c_{ix_i^k}^k > 0$, $c_{ix_i^h x_i^h}^k > 0 \forall k, \forall i$. On pose $c_i^k(x_i^k) = \frac{x_i^{k2}}{2}$ Les firmes se font une concurrence de type Cournot. La production totale en bien i est donnée par $X_i = x_i^h + x_i^f$. Le prix du bien i est représenté par la fonction de demande inverse $p_i = p_i(X_i)$ qui est continue et décroissante où $p_i = \alpha - (x_i^h + x_i^f)$. Le processus de production génère une externalité négative, la pollution, qui peut être limitée si l'entreprise du secteur i entreprend des abattements en quantités a_i^h . Les deux secteurs d'activités n'ont aucune relation entre eux mises à part leurs émissions polluantes qui sont de même nature. Les émissions sont purement locales⁴.

Les coûts de réductions d'émission $A_i^h(a_i^h)$ représentent les dépenses entreprises par les firmes afin de réduire les émissions polluantes. Ils dépendent du niveau de pollution abattu a_i^h et sont également croissants et convexes. On pose $A_i^h(a_i^h) = \frac{a_i^{h2}}{2}$ Nous supposons dans ce modèle une fonction d'émission linéaire. Ainsi, chaque unité de bien produit engendre une unité d'émission polluante. Cette unité peut être éliminée en réalisant un abattement. La pollution engendrée par l'entreprise i est e_i^h , avec $e_i^h = x_i^h - a_i^h$. Les émissions non abattues provoquent une dégradation de l'environnement exprimée par

³L'existence de ces deux secteurs nous permet de modéliser les échanges de permis nationaux. S'il n'y a pas plus d'une firme par pays, la création du marché de permis d'émission négociables est inutile et se résume à la fixation d'un quotas de pollution par les pouvoirs publics.

⁴C'est le cas par exemple du SO₂ qui occasionne des pluies acides là où cette pollution est émise, contrairement au CO₂ qui se diffuse dans l'atmosphère.

une fonction croissante et convexe de dommages environnementaux $D^h(E^h)$. On pose $D^h(E^h) = \sum_{i=1}^2 \frac{e_i^{h2}}{2}$.

Les entreprises ont des coûts de réductions d'émission différents $\gamma_i^h A_i^h(a_i^h)$ où γ_i^h est un paramètre technologique spécifique aux entreprises d'un même secteur et représente l'efficacité de la technologie de dépollution. Par exemple, $\gamma_1^h > \gamma_2^h$ signifie que les entreprises domestiques du secteur 2 disposent d'une plus grande efficacité en matière de dépollution que celles du secteur 1. Pour γ_i^h donné et des fonctions de coût de réductions d'émission identiques, le coût de chaque réduction d'émission supplémentaire de la firme du secteur 2 ($\gamma_2^h A_{2a_2}^h$) sera moins élevé. Nous nous concentrons, plus particulièrement, sur les modifications directement induites par les diverses politiques environnementales d'allocations des permis d'émission négociables.

Les autorités de chaque pays choisissent la réduction de la pollution de leurs firmes grâce à l'instauration d'un marché de droits. Les émissions domestiques des deux secteurs ciblés sont représentées par $E^h = \sum_{i=1}^2 e_i^h = e_1^h + e_2^h$ (resp. $E^f = \sum_{i=1}^2 e_i^f$), tandis que le plafond d'émission fixé par les gouvernants s'exprime par $\bar{E}^h = \sum_{i=1}^2 \bar{e}_i^h$ (resp. $\bar{E}^f = \sum_{i=1}^2 \bar{e}_i^f$). Chaque permis donne le droit à émettre une unité de pollution. Le nombre total de ces permis définit le nombre total d'émissions autorisées. Nous supposons que les entreprises reçoivent une allocation initiale de permis par "grandfathering", c'est-à-dire gratuitement : \bar{e}_i^h (resp. \bar{e}_i^f). Les firmes considèrent comme donné \bar{e}_i^h (resp. \bar{e}_i^f) tout comme le prix d'équilibre des permis d'émission, q^h (resp. q^f). La dotation initiale de permis de pollution accordée à l'entreprise 1 est une proportion φ_1^h (resp. φ_1^f) du plafond de pollution, soit $\bar{e}_1^h = \varphi_1^h \bar{E}^h$, avec $\varphi_i^h \in [0, 1]$ et $\varphi_1^h = 1 - \varphi_2^h$. Dans les sections suivantes, nous considérons un marché des permis parfaitement concurrentiel. Nous leverons cette hypothèse dans la cinquième section.

Le prix d'équilibre des permis d'émission s'établit en fonction de l'offre initiale globale du gouvernement \bar{E}^h (resp. \bar{E}^f) et de la demande totale de permis des entreprises E^h (resp. E^f) (qui elle-même dépend de la production,

des réductions d'émission et de l'efficacité technologique à dépolluer)⁵.

Le jeu se déroule comme suit : à la première étape, le gouvernement annonce la mise en place d'un marché de permis d'émission négociables. Il détermine le plafond de pollution \bar{E}^h (\bar{E}^f) de façon à maximiser le bien-être de la nation W^h (W^f). A la seconde étape, les firmes choisissent : leur niveau de production (en prenant celui de leur rivale comme donné) et leur niveau de réductions d'émission afin de maximiser leur propre profit, compte-tenu du plafond de pollution choisi à la première étape. Nous raisonnons par induction vers l'amont.

La section suivante se réfère aux travaux de Pratlong [2003 et 2005] afin d'établir un cadre de référence. Dans l'article de Pratlong [2003], les entreprises n'ont pas de coûts de production ce qui réduit les possibilités de comportements stratégiques des firmes. Pratlong [2005] suppose au contraire que les entreprises ont des coûts de production. De plus, il pose que la pollution est transfrontalière et que les entreprises sont au nombre de n par pays sur un seul marché de biens. Nous ne retenons pas ces hypothèses, la première ayant été largement commentée par Kennedy [1994]. Par ailleurs, Pratlong [2003 et 2005] retient l'hypothèse que seul un gouvernement agit stratégiquement (ce que nous remettons en cause dans les sections 4.3 et 4.4). Nous supposons que les firmes ont des coûts de production comme Pratlong [2005]. De plus, nous supposons l'existence de deux marchés de biens distincts (les processus de production génèrent toutefois un même polluant) à la différence de Pratlong [2005] et de Sartzetakis [1994]. La modélisation de la section 4.2 est donc proche des résultats de Pratlong [2003 et 2005]. Elle nous sert de cadre de référence.

⁵La mise en réserve des permis n'est pas envisagée dans ce modèle comme leurs échanges internationaux contrairement à ce qu'envisage le Protocole de Kyoto. Ce Protocole propose aux entreprises de conserver des permis d'émission afin de les utiliser ou de les vendre dans une période future.

4.2 Marché des permis d'émission négociables concurrentiel et politique environnementale domestique

Nous supposons pour le moment que seules les autorités domestiques cherchent à réduire les émissions polluantes à l'aide de la création d'un marché domestique de permis d'émission négociables⁶. Le profit domestique de l'entreprise du secteur i , réalisé en vendant toute sa production sur un marché tiers, s'exprime par les recettes totales moins le coût total de production, le coût total des abattements et plus (moins) les gains (coûts) liés à la vente (l'achat) de permis :

$$\begin{aligned} \pi_i^h(x_i^h, x_i^f, a_i^h; \bar{e}_i^h) &= p_i(x_i^h, x_i^f)x_i^h - c_i^h(x_i^h) - \gamma_i^h A_i^h(a_i^h) \\ &\quad - q^h [e_i^h - \bar{e}_i^h] \\ \iff \pi_i^h(x_i^h, x_i^f, a_i^h; \bar{e}_i^h) &= \left(\alpha - (x_i^h + x_i^f) \right) x_i^h - \frac{x_i^{h2}}{2} - \gamma_i^h \frac{a_i^{h2}}{2} \\ &\quad - q^h [x_i^h - a_i^h - \bar{e}_i^h] \end{aligned} \quad (4.1)$$

L'entreprise domestique du secteur i cherche à maximiser son profit. A la seconde étape du jeu, le producteur prend comme donnés : le nombre de permis initiaux alloués par le gouvernement, \bar{e}_i , le prix des permis, q^h , et la production de sa rivale, x_i^f . Il choisit ensuite sa propre production, x_i^h et le niveau de réduction d'émission, a_i^h . $\bar{e}_i^h > e_i^h$ signifie que la dotation initiale en permis est supérieure au nombre de permis détenus en fin de période. L'entreprise a donc vendu ses permis excédentaires et en a retiré un revenu. Si $e_i^h - \bar{e}_i^h > 0$, alors l'entreprise demande des permis. La firme à γ_i faible aura tendance à offrir ses permis, et l'autre, à γ_i élevé, devrait les lui acheter. Pour qu'une firme accepte de vendre ses permis, les gains retirés de la vente de permis doivent

⁶L'intégration d'un marché de permis négociables dans le pays f est réalisée dans une prochaine section.

être supérieurs aux coûts. Les coûts se composent des réductions d'émission supplémentaires réalisées et/ou de la diminution de la production. La perte liée à la baisse de la production est elle-même partiellement compensée par la hausse du prix mondial. L'entreprise qui a un γ_i faible, détient un avantage technologique. Elle peut s'en servir pour en dégager une rente grâce à la vente de permis.

Les conditions de premier ordre de la maximisation du profit s'écrivent :

$$\pi_{ix_i^h}^h = \frac{\partial \pi_i^h (x_i^h, x_i^f, a_i^h; \bar{e}_i^h)}{\partial x_i^h} = \alpha - 3x_i^h - x_i^f - q^h \leq 0 \quad (4.2)$$

et

$$\pi_{ia_i^h}^h = \frac{\partial \pi_i^h (x_i^h, x_i^f, a_i^h; \bar{e}_i^h)}{\partial a_i^h} = -\gamma_i^h a_i^h + q^h \leq 0 \quad (4.3)$$

La firme entreprend des réductions d'émission jusqu'à ce que le coût marginal d'abattement soit égal au prix des permis d'émission négociables. La mise en place d'un tel marché par le gouvernement incite à la réduction des émissions. Sans la présence de cet instrument, la firme ne ferait aucun effort pour préserver l'environnement ($a_i^h = 0$). La condition (4.3) assure une répartition optimale des efforts de réduction d'émission des entreprises des différents secteurs. Ainsi, le coût total associé à la politique de réduction des émissions est minimisé dans le pays h .

Le coût total d'abattements est d'autant plus faible que l'efficacité de la technologie de dépollution est grande. Si $\gamma_1^h > \gamma_2^h$, l'entreprise du secteur 2 a des coûts de réduction d'émission plus faibles que celle du secteur 1 pour un même niveau de production ($\gamma_2^h A_2^h < \gamma_1^h A_1^h$). La firme du secteur 2 peut choisir d'abattre plus d'émissions que ne lui impose son plafond d'émission (\bar{e}_2^h) et donc vendre à la firme du secteur 1 son excès de permis tant qu'il lui est plus avantageux de réduire les émissions et de vendre des permis que de garder les permis pour son usage personnel, c'est-à-dire, jusqu'à ce que son coût marginal d'abattements égalise le prix des permis. Au final, elle accroît son profit puisqu'au départ elle détient une technologie plus efficiente en matière de préservation de l'environnement. L'entreprise 2 obtient une « prime à la

propreté ». L'entreprise la moins polluante est récompensée par l'application d'un marché de permis d'émission négociables.

Comme le gouvernement étranger n'envisage aucune intervention sur les émissions polluantes des firmes f , la fonction de profit de la firme étrangère intervenant sur le marché i s'écrit :

$$\pi_i^f(x_i^h, x_i^f; \bar{e}_i^h) = p_i(x_i^h, x_i^f) x_i^f - c_i^f(x_i^f) \quad (4.4)$$

Les conditions de premier et de second ordres de la maximisation du profit de la firme étrangère du secteur i sont décrites par :

$$\pi_{ix_i^f}^f = \frac{\partial \pi_i^f(x_i^h, x_i^f; \bar{e}_i^h)}{\partial x_i^f} = \alpha - 3x_i^f - x_i^h \leq 0 \quad (4.5)$$

$$\pi_{ix_i^f x_i^f}^f = \frac{\partial^2 \pi_i^f(x_i^h, x_i^f; \bar{e}_i^h)}{\partial x_i^f{}^2} = -3 < 0 \quad (4.6)$$

Les conditions de second ordre de la maximisation du profit requièrent que notre problème soit concave. Les conditions de second ordre de la fonction de profit h sont données par :

$$\pi_{ix_i^h x_i^h}^h = \frac{\partial^2 \pi_i^h}{\partial x_i^h{}^2} = -3 < 0 \quad (4.7)$$

$$\pi_{ia_i^h a_i^h}^h = \frac{\partial^2 \pi_i^h}{\partial a_i^h{}^2} = -\gamma_i^h < 0 \quad (4.8)$$

De plus, nous vérifions que le revenu marginal des firmes diminue avec une augmentation de la production de l'autre entreprise :

$$\pi_{ix_i^f x_i^h}^f = \frac{\partial^2 \pi_i^f}{\partial x_i^f \partial x_i^h} = -1 < 0 \quad (4.9)$$

$$\pi_{ix_i^h x_i^f}^h = \frac{\partial^2 \pi_i^h}{\partial x_i^h \partial x_i^f} = -1 < 0 \quad (4.10)$$

L'unicité globale de l'équilibre est vérifiée : $\pi_{ix_i^h x_i^h}^h < 0$, $\pi_{ia_i^h a_i^h}^h < 0$ et $\pi_{ix_i^h x_i^h}^h \pi_{ia_i^h a_i^h}^h - \pi_{ix_i^h a_i^h}^h \pi_{ia_i^h x_i^h}^h > 0$. Nous pouvons définir les valeurs optimales des variables x_i^h et a_i^h . De plus, l'effet de sa propre production sur le profit marginal dominant les effets croisés, la condition de stabilité des fonctions de réaction s'écrit : $H^e \equiv \pi_{ix_i^h x_i^h}^h \pi_{ix_i^f x_i^f}^f - \pi_{ix_i^h x_i^f}^h \pi_{ix_i^f x_i^h}^f > 0$. Des fonctions de réaction implicites (4.2) et (4.5), on constate que la production de la firme h (f) du secteur i est décroissante en fonction de la production de sa rivale f (h).

L'équilibre de Nash en quantités est caractérisé par les conditions de premier ordre (4.2) et (4.5). Les solutions de (4.2) et (4.5) dépendent du prix domestique des permis d'émission négociables et peuvent s'exprimer comme

$$\begin{aligned} x_i^{h^{cce}} &= \frac{\alpha}{4} - \frac{3q^h}{8} = \hat{x}_i^h - \frac{3q^h}{8} \\ x_i^{f^{cce}} &= \frac{\alpha}{4} + \frac{q^h}{8} = \hat{x}_i^f + \frac{q^h}{8} \end{aligned} \quad (4.11)$$

où $\hat{x}_i^h = \frac{\alpha}{4}$ et $\hat{x}_i^f = \frac{\alpha}{4}$ définissent l'équilibre de Cournot sans politique environnementale. De même, de (4.3) on a :

$$a_i^{h^{cce}} = \frac{q^h}{\gamma_i^h} \quad (4.12)$$

Les niveaux de productions dépendent du prix des permis domestiques lequel dépend de l'offre, \bar{E}^h , et de la demande de permis, E^h .

L'entreprise réduit ses émissions de telle sorte que son coût marginal de réduction des émissions soit égal au prix du permis. Le niveau de réduction des émissions choisi est d'autant plus élevé que le prix du permis est élevé et diminue avec le paramètre de coût de réduction des émissions.

4.2.1 Impact des permis d'émission négociables domestiques sur la production et les abattements

Nous cherchons à anticiper les effets du prix des permis sur nos deux variables que sont les abattements et la production. Nous différencions les condi-

tions de premier ordre des firmes étrangères et domestiques i et nous obtenons⁷ :

$$a_{iq^h}^h = -\frac{1}{\pi_{ia_i^h a_i^h}^h} > 0 \quad (4.13)$$

$a_{iq^h}^h$ reflète la réaction de la firme domestique i en termes de réductions d'émission face aux variations du prix des permis d'émission négociables. $x_{iq^h}^f$ représente la réponse de la firme étrangère à la mise en place d'un marché domestique de permis d'émission négociables.

$$x_{iq^h}^f = -\frac{\pi_{ix_i^f x_i^h}^f}{H^e} > 0 \quad (4.14)$$

Le comportement de la firme domestique représentative face au prix des PEN est donné par :

$$x_{iq^h}^h = \frac{\pi_{ix_i^f x_i^f}^f}{H^e} < 0 \quad (4.15)$$

Les productions des firmes i étrangères et domestiques varient en sens opposés lorsque q^h varie. Si q^h augmente la production domestique se contracte et la production étrangère s'accroît (la variation de la production f est inférieure à la variation de la production h : la production totale sur un marché de produit diminue. L'effet direct de la politique environnementale h domine l'effet indirect). Une augmentation du prix des permis engendre un coût supplémentaire à l'entreprise domestique du secteur i qui s'exprime de deux manières. Tout d'abord, comme le prix d'achat des permis s'accroît, la firme fait face à plusieurs possibilités. Soit elle consacre davantage de ressources pour acquérir des permis, soit elle réduit sa production et/ou abat davantage. Enfin, il lui est possible de vendre moins de permis afin d'en consacrer davantage à ses propres besoins, si elle possède une technologie de production relativement propre (et une dotation initiale suffisante). Il est évident qu'une hausse de q^h

⁷L'appendice D détaille les calculs.

nuit à l'entreprise domestique i et l'effet final est une contraction de sa production. Toutefois, la technologie de réductions d'émission qu'elle possède lui fait réagir différemment selon qu'elle soit efficace ou non en ce domaine. Un accroissement de q^h incite l'entreprise du secteur i à abattre davantage.

Une augmentation du prix des permis d'émission négociables domestiques a pour conséquence :

- *Une hausse du prix mondial (les quantités mondialement produites sont moindres)⁸,*
- *Une diminution du profit domestique du secteur i alors que celui du pays f évolue en sens opposé, si et seulement si l'entreprise ne dégagne pas plus de bénéfices de la vente de permis que ne lui coûte les abattements,*
- *Une amélioration de l'environnement domestique, celui de l'étranger se dégradant. La production domestique se contracte et laisse des parts de marché aux entreprises concurrentes. Ces dernières produisent plus et détériorent davantage l'environnement f .*

Nous retrouvons ici, les résultats des articles pionniers de la politique environnementale stratégique : Conrad [1993a et 1993b], Barrett [1994], etc.

4.2.2 Equilibre sur le marché domestique des permis négociables

Après avoir analysé le marché des produits, nous nous intéressons au marché des droits à polluer. Ce marché s'équilibre lorsque le nombre de permis alloués en début de période par l'Etat est égal à la somme des permis possédés par les firmes après échange, c'est-à-dire en fin de période. Les permis distribués par le gouvernement sont conformes à ses exigences environnementales⁹. Nous obtenons le prix d'équilibre des PEN en remplaçant dans la condition

⁸ $\left| x_{iq^h}^h \right| > \left| x_{iq^h}^f \right| \iff \left| \pi_{ix_i^f x_i^f}^f \right| > \left| \pi_{ix_i^f x_i^h}^f \right|$ d'après les CSO.

⁹ Le gouvernement choisit le plafond optimal d'émission (\bar{E}^h) à la première étape en maximisant le bien-être national : $W^h \left(\bar{E}^h \right) = \sum_{i=1}^2 \pi_i^h \left(x_i^h, x_i^f, d_i^h, \bar{e}_i^h \right) - D^h(E^h)$. A la seconde étape du jeu, les entreprises prennent comme donné le nombre de permis distribués par les autorités.

d'équilibre du marché des PEN, les valeurs d'équilibre obtenues pour les émissions données par (4.11) et (4.12) :

$$E^h = \bar{E}^h \iff \sum_{i=1}^2 e_i^h = \sum_{i=1}^2 \bar{e}_i^h \iff \sum_{i=1}^2 (x_i^h - a_i^h - \bar{e}_i^h) = 0 \quad (4.16)$$

De (4.16), nous exprimons le prix d'un permis en fonction du nombre de permis initialement attribués $q^h = f(\bar{E}^h)$. A partir de (4.12) et des conditions d'équilibre (4.11), nous obtenons le prix des permis d'émission en fonction de l'allocation initiale des autorités¹⁰ :

$$q^{h^{cce}} = \frac{2\gamma_1^h \gamma_2^h (\alpha - 2\bar{E}^h)}{3\gamma_1^h \gamma_2^h + 4\gamma_2^h + 4\gamma_1^h} \quad (4.17)$$

Le prix des permis d'émission négociables est fonction du plafond de pollution choisi par l'Etat et des paramètres du modèle. Nous vérifions que si une modification du plafond de pollution est décidée par les autorités, le prix des PEN varie en sens inverse. Par exemple, si le régulateur dévie de son plan d'allocation initial en adoptant des mesures environnementales plus laxistes, le nombre de permis distribué grandit. Nous retrouvons donc un résultat habituel selon lequel lorsque l'offre de permis augmente, le prix des permis diminue¹¹. Accroître l'allocation initiale des permis d'émission permet la baisse du prix des permis. Le coût de mise en conformité environnementale pour les entreprises est moindre. De fait, les firmes sont moins pénalisées en termes de compétitivité sur le marché des produits. Il peut donc être intéressant pour le pays h de distordre son offre de permis pour ne pas, ou moins pénaliser son industrie sur les marchés internationaux. Si un accord portant sur l'adoption de normes environnementales avait été ratifié, un avantage serait retiré du non-respect des mesures (par exemple, une augmentation du plafond de pollution).

Ainsi, en remplaçant q^h par sa valeur dans les valeurs optimales, nous

¹⁰Voir l'appendice E pour le détail des calculs.

¹¹ $\frac{dq^h}{d\bar{E}^h} = -\frac{4\gamma_1^h \gamma_2^h}{3\gamma_1^h \gamma_2^h + 4\gamma_2^h + 4\gamma_1^h} < 0$.

obtenons :

$$x_i^{h^{cce}} = \frac{\alpha}{4} - \frac{3\gamma_1^h \gamma_2^h (\alpha - 2\bar{E}^h)}{4(3\gamma_1^h \gamma_2^h + 4\gamma_2^h + 4\gamma_1^h)} \quad (4.18)$$

Le premier membre de droite représente la production réalisée en l'absence de toute intervention. Le second symbolise la réduction de la production à la suite de l'engagement environnemental du régulateur.

$$x_i^{f^{cce}} = \frac{\alpha}{4} + \frac{\gamma_1^h \gamma_2^h (\alpha - 2\bar{E}^h)}{4(3\gamma_1^h \gamma_2^h + 4\gamma_2^h + 4\gamma_1^h)} \quad (4.19)$$

La politique environnementale domestique a un effet indirect sur la production de la firme f et est mesuré par le second membre de l'équation (4.19). En valeur absolue, l'impact de cette politique est trois fois moins important sur f que sur h . L'entreprise f tire avantage du surcoût supporté par h (l'entreprise h diminue sa production de $3 \times \frac{\gamma_1^h \gamma_2^h (\alpha - 2\bar{E}^h)}{4(3\gamma_1^h \gamma_2^h + 4\gamma_2^h + 4\gamma_1^h)}$ par rapport à une situation sans politique environnementale), mais ne compense pas intégralement la baisse de la production de h (f accroît sa production de $\frac{\gamma_1^h \gamma_2^h (\alpha - 2\bar{E}^h)}{4(3\gamma_1^h \gamma_2^h + 4\gamma_2^h + 4\gamma_1^h)}$).

$$a_i^{h^{cce}} = \frac{2\gamma_j^h (\alpha - 2\bar{E}^h)}{3\gamma_1^h \gamma_2^h + 4\gamma_2^h + 4\gamma_1^h} \quad (4.20)$$

avec $i \neq j$. (4.20) exprime les réductions d'émission entreprises par la firme h en fonction du plafond de pollution. a_i^h est une fonction décroissante de l'efficacité technologique. En effet, plus la technologie de préservation de l'environnement détenue par la firme est grande et plus petite sera la quantité d'abattements : plus il est coûteux de réduire les émissions (γ_i^h élevé), plus la firme a intérêt d'acheter des permis. a_i^h est une fonction décroissante de γ_i^h .

Nous mesurons l'impact de \bar{E}^h sur la production et les réductions d'émission. Nous remplaçons q^h par sa valeur dans les conditions de premier ordre afin d'évaluer les effets de \bar{E}^h sur x_i^h , x_i^f et a_i^h :

$$a_{i\bar{E}}^h = \frac{4\gamma_1^h\gamma_2^h}{(3\gamma_1^h\gamma_2^h + 4\gamma_2^h + 4\gamma_1^h)\pi_{ia_i^h}^h} < 0 \quad (4.21)$$

$a_{i\bar{E}}^h$ reflète la réaction de la firme domestique i en matière de réduction d'émission face au plafond de pollution choisi par les gouvernants. $a_{i\bar{E}}^h$ est sans ambiguïté négatif : une hausse du plafond incite les firmes à diminuer leurs abattements, car soit elles sont plus dotées en permis, soit elles achètent davantage de PEN qui sont devenus relativement moins chers. $x_{i\bar{E}}^f$ exprime l'impact de \bar{E}^h sur la production étrangère.

$$x_{i\bar{E}}^f = \frac{\pi_{ix_i^f x_i^h}^f 4\gamma_1^h\gamma_2^h}{H^{\bar{e}} (3\gamma_1^h\gamma_2^h + 4\gamma_2^h + 4\gamma_1^h)} < 0 \quad (4.22)$$

Nous constatons que l'effet d'un assouplissement de la politique environnementale (hausse de plafond) sur la production étrangère tend à contraindre la production de la firme rivale. Le comportement de la production domestique face à \bar{E}^h est donné par :

$$x_{i\bar{E}}^h = -\frac{\pi_{ix_i^f x_i^f}^f (4\gamma_1^h\gamma_2^h)}{H^{\bar{e}} (3\gamma_1^h\gamma_2^h + 4\gamma_2^h + 4\gamma_1^h)} > 0 \quad (4.23)$$

$x_{i\bar{E}}^h$ est positif¹² : un accroissement du nombre de permis alloués initialement par le régulateur permet à l'entreprise de produire davantage puisque son coût marginal de réduction des émissions est réduit. Si \bar{E}^h est plus élevé, la contrainte environnementale pèse moins sur les firmes domestiques. Elles peuvent donc produire davantage et gagner des parts de marché sur les firmes f . La production totale de chaque marché s'accroît, car la hausse de la production h fait plus que compenser la baisse de la production f . L'effet direct domine l'effet croisé : $\left| \pi_{ix_i^f x_i^f}^f \right| > \left| \pi_{ix_i^f x_i^h}^f \right|$.

Etant donné que \bar{E}^h a un impact négatif sur le prix des permis d'émission négociables, q^h , $x_{i\bar{E}}^h$, $x_{i\bar{E}}^f$ et $a_{i\bar{E}}^h$ sont de signe contraire à $x_{iq^h}^h$, $x_{iq^h}^f$ et $a_{iq^h}^h$. Une augmentation de \bar{E}^h correspond à un allègement des contraintes en-

¹²Les équations (4.21), (4.22) et (4.23) sont données de manière explicite dans l'appendice E1 par les équations (E1.9) à (E1.11).

vironnementales pesant sur les entreprises. A l'inverse, une hausse de q^h est la conséquence d'une contraction de l'offre initiale de permis \bar{E}^h ; la charge écologique devient plus lourde pour les firmes.

4.2.3 Effets sur le bien-être domestique

Dans cette section nous analysons l'impact de la création du marché de permis d'émission négociables sur le bien-être domestique. Le coût lié à l'application et au contrôle d'un tel système de prévention de la pollution est supposé nul dans notre modèle. A ce stade, nous avons remplacé le prix d'équilibre du marché des PEN dans les fonctions d'équilibre des quantités de produits et de réductions des émissions. Toutes les variables étant exprimées cette fois en fonction du plafond de pollution ($x_i^h = f(\bar{E}^h)$, $x_i^f = f(\bar{E}^h)$ et $a_i^h = f(\bar{E}^h)$ d'après (4.18), (4.19) et (4.20)), nous pouvons résoudre la première étape de notre jeu : le choix par les autorités domestiques du plafond de pollution. La fonction objectif du gouvernement¹³ qui est égale aux profits des firmes locales moins les dommages environnementaux, s'écrit :

$$W^h(\bar{E}^h) = \sum_{i=1}^2 \pi_i^h(x_i^h, x_i^f, a_i^h, \bar{e}_i^h) - D^h(\bar{E}^h)$$

$$\iff W^h(\bar{E}^h) = \sum_{i=1}^2 \pi_i^h(x_i^h, x_i^f, a_i^h, \bar{e}_i^h) - D^h\left(\sum_{i=1}^2 e_i^h\right) \quad (4.24)$$

Le régulateur choisit \bar{E}^h en prenant en compte la production et les réductions d'émission des firmes domestiques en plus de la réponse optimale des entreprises rivales. L'impact du marché des permis sur le bien-être domestique est obtenu en dérivant W^h par rapport à \bar{E}^h (\bar{E}^h représente le plafond de pollution à ne pas dépasser et est déterminé optimalement par le gouvernement)¹⁴ :

$$W_{\bar{E}^h}^h = 0 \iff \sum_{i=1}^2 \frac{d\pi_i^h}{d\bar{E}^h} - D_{E^h}^h \left[\sum_{i=1}^2 \left(x_{i\bar{E}^h}^h - a_{i\bar{E}^h}^h \right) \right] = 0 \quad (4.25)$$

¹³La condition de second ordre est vérifiée : $W_{\bar{E}^h \bar{E}^h}^h < 0$.

¹⁴Remarquons que les dérivées de $D^h(\bar{E}^h)$ et $D^f(\bar{E}^f)$ se notent $D_{E^h}^h$ et $D_{E^f}^f$.

avec

$$\begin{aligned} \frac{d\pi_i^h}{d\bar{E}^h} &= \frac{\partial\pi_i^h}{\partial x_i^h} \frac{\partial x_i^h}{\partial \bar{E}^h} + \frac{\partial\pi_i^h}{\partial a_i^h} \frac{\partial a_i^h}{\partial \bar{E}^h} + \frac{\partial\pi_i^h}{\partial x_i^f} \frac{\partial x_i^f}{\partial \bar{E}^h} + \frac{\partial\pi_i^h}{\partial \bar{E}^h} \\ &= -x_i^h x_{i\bar{E}^h}^f + \frac{4\gamma_1^h \gamma_2^h (x_i - a_i - \bar{e}_i^h)}{3\gamma_1^h \gamma_2^h + 4\gamma_2^h + 4\gamma_1^h} + \varphi_i^h \frac{2\gamma_1^h \gamma_2^h (\alpha - 2\bar{E}^h)}{3\gamma_1^h \gamma_2^h + 4\gamma_2^h + 4\gamma_1^h} \end{aligned}$$

car $\pi_{ix_i^h}^h = 0$ et $\pi_{ia_i^h}^h = 0$ d'après les conditions de premier ordre (4.2) et (4.3). Nous rappelons que φ_i^h est une proportion du plafond de pollution accordée à l'entreprise 1, soit la dotation initiale de l'entreprise 1, $\bar{e}_1^h = \varphi_1^h \bar{E}^h$. Après réarrangement de la condition du premier ordre, on obtient¹⁵ :

$$\sum_{i=1}^2 \left[q^h \left(\frac{dx_i^h}{d\bar{E}^h} - \frac{da_i^h}{d\bar{E}^h} \right) - x_i^h x_{i\bar{E}^h}^f \right] = D_{E^h}^h \left[\sum_{i=1}^2 \left(x_{i\bar{E}^h}^h - a_{i\bar{E}^h}^h \right) \right] \quad (4.26)$$

Le terme $\sum_{i=1}^2 \left[q^h \left(\frac{dx_i^h}{d\bar{E}^h} - \frac{da_i^h}{d\bar{E}^h} \right) - x_i^h x_{i\bar{E}^h}^f \right]$ représente le bénéfice marginal obtenu à émettre des émissions polluantes. Il est positif et décroît avec le plafond de pollution¹⁶. Par hypothèse, $D_{E^h}^h$ qui représente les dommages marginaux engendrés par les émissions, est positif et il croît avec le plafond de pollution. Le choix du plafond de pollution résulte donc d'un arbitrage entre le bénéfice marginal et le dommage marginal.

Le bénéfice marginal est composé de deux éléments. Un effet direct donné par $\left(\sum_{i=1}^2 q^h \left(\frac{dx_i^h}{d\bar{E}^h} - \frac{da_i^h}{d\bar{E}^h} \right) \right)$, et un effet indirect donné par $\left(\sum_{i=1}^2 -x_i^h x_{i\bar{E}^h}^f \right)$. L'effet direct, positif, rend compte de l'impact sur le profit des entreprises domestiques de la possibilité d'émettre de la pollution. Toutefois, l'effet indirect qui est également positif ($x_{i\bar{E}^h}^f < 0$) renforce l'effet direct. C'est l'effet de rent-shifting décrit dans la littérature sur les politiques commerciales stratégiques (Brander et Spencer [1985]). L'effet de détournement de rente ou « rent-shifting » décrit les parts de marché gagnées au détriment des firmes étrangères ri-

¹⁵Se reporter à l'appendice E2.

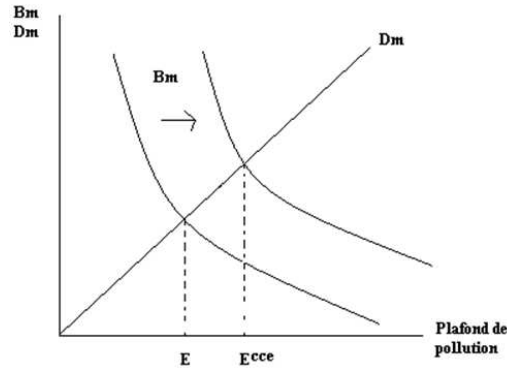
¹⁶Le bénéfice marginal est donné par $Bm' = \sum_{i=1}^2 \frac{dx_i^h}{d\bar{E}^h} \left[-3 \frac{dx_i^h}{d\bar{E}^h} - 2 \frac{dx_i^f}{d\bar{E}^h} \right] - \gamma_i^h \left(\frac{da_i^h}{d\bar{E}^h} \right)^2$, d'après (4.21), (4.22) et (4.23). Il est négatif. Voir l'appendice E2.

vales, grâce, ici, à une politique environnementale permissive, c'est-à-dire peu contraignante. Cette dernière est poursuivie dans le but de donner un avantage comparatif aux firmes locales. Nous appelons rente, le profit supplémentaire réalisé par une firme qui gagne des parts de marché en augmentant sa production, celle de sa ou ses rivales diminuant.

Compte-tenu des deux effets, le bénéfice marginal à émettre est donc plus élevé lorsque l'on prend en compte l'impact de la mise en place d'une politique environnementale sur la production des entreprises étrangères. Graphiquement, la présence de ce terme déplace la courbe de bénéfice marginal vers la droite (graphique 4.1)¹⁷.

Le plafond de pollution qui en résulte est donc plus élevé lorsque l'on prend en compte l'impact de la réglementation environnementale domestique sur la production des entreprises f . Comme la mise en place d'un marché de permis réduit les parts de marché des entreprises nationales, une façon de limiter ces pertes est d'augmenter le plafond de pollution. Par rapport au cas où cet effet indirect ne serait pas pris en compte, les entreprises produisent davantage et limitent, ainsi, la perte de parts de marché induite par la restriction des émissions. En d'autres termes, c'est comme si les entreprises domestiques « récupéraient » des parts de marché en passant d'une situation virtuelle où le plafond de pollution serait fixé sans prendre en compte la concurrence étrangère à la situation réelle où cette dernière est prise en compte. Nous avons considéré comme situation virtuelle, où les effets des politiques environnementales sur les firmes f sont nuls, une situation dans laquelle les entreprises domestiques sont en monopole sur chacun de leur marché. Dans ce cas, l'effet de détournement de rente disparaît. Ainsi, le plafond de pollution est choisi de manière non stratégique et corrige l'externalité qu'est la pollution.

¹⁷Source : l'auteur. Sur le graphique 4.1, les dommages marginaux sont représentés par une fonction linéaire, Dm .



Graphique 4.1 : Impact de la politique stratégique du gouvernement sur le plafond optimal de pollution

Les autorités domestiques attribuent une part φ^h des permis à la firme domestique du secteur 1. La part de l'entreprise $h2$ est donc $1 - \varphi_1^h$. Ainsi, les dotations initiales en permis des firmes domestiques du secteur 1 et du secteur 2 s'écrivent respectivement : $\bar{e}_1^h = \varphi_1^h \bar{E}^h$ et $\bar{e}_2^h = (1 - \varphi_1^h) \bar{E}^h$. Désormais, nous calculons le plafond de pollution optimal¹⁸. (4.25) donne :

$$\begin{aligned}
 W_{\bar{E}^h}^h = 0 &\iff \sum_{i=1}^2 \left[-x_i^h x_{i\bar{E}^h}^f + \frac{4\gamma_1^h \gamma_2^h (x_i - a_i - \bar{e}_i^h)}{3\gamma_1^h \gamma_2^h + 4\gamma_2^h + 4\gamma_1^h} \right] \\
 &- D_{E^h}^h \left[\sum_{i=1}^2 (x_{i\bar{E}^h}^h - a_{i\bar{E}^h}^h) \right] + \frac{2\gamma_1^h \gamma_2^h (\alpha - 2\bar{E}^h)}{3\gamma_1^h \gamma_2^h + 4\gamma_2^h + 4\gamma_1^h} = 0 \\
 \iff \bar{E}^{h^{cce}} &= \frac{3\gamma_1^h \gamma_2^h + 4\gamma_2^h + 4\gamma_1^h}{8\gamma_1^h \gamma_2^h} \left[\begin{array}{l} \sum_{i=1}^2 [-x_i^h x_{i\bar{E}^h}^f] \\ -D_{E^h}^h \left[\sum_{i=1}^2 (x_{i\bar{E}^h}^h - a_{i\bar{E}^h}^h) \right] \end{array} \right] \quad (4.27) \\
 &+ \frac{1}{2} \sum_{i=1}^2 (x_i - a_i) + \frac{\alpha}{4}
 \end{aligned}$$

¹⁸ $\bar{E}^{h^{cce}} = \frac{6\alpha\gamma_1^h\gamma_2^h(3\gamma_2^h + \gamma_1^h(3+2\gamma_2^h))}{32\gamma_2^{h^2} + 16\gamma_1^h\gamma_2^h(4+5\gamma_2^h) + \gamma_1^{h^2}(32 + \gamma_2^h(80+39\gamma_2^h))}$. En remplaçant le plafond de pollution donné par $\bar{E}^{h^{cce}}$ dans le prix des permis donné, on obtient le prix des PEN à l'équilibre concurrentiel : $q^{h^{cce}} = \frac{2\alpha\gamma_1^h\gamma_2^h(8\gamma_2^h + \gamma_1^h(8+5\gamma_2^h))}{32\gamma_2^{h^2} + 16\gamma_1^h\gamma_2^h(4+5\gamma_2^h) + \gamma_1^{h^2}(32 + \gamma_2^h(80+39\gamma_2^h))}$.

D'où

$$q^{h^{cce}} = -\frac{1}{2} \sum_{i=1}^2 \left[-x_i^h x_{i\bar{E}^h}^f \right] + \frac{1}{2} D_{E^h}^h \left[\sum_{i=1}^2 \left(x_{i\bar{E}^h}^h - a_{i\bar{E}^h}^h \right) \right] \quad (4.28)$$

$$+ \frac{\gamma_1^h \gamma_2^h}{3\gamma_1^h \gamma_2^h + 4\gamma_2^h + 4\gamma_1^h} \left(\alpha - 2 \sum_{i=1}^2 (x_i - a_i) \right)$$

Compte-tenu de la situation commerciale du pays domestique, c'est-à-dire la mise en place unilatérale d'un programme environnemental qui pénalise la compétitivité des entreprises domestiques, le plafond de pollution fixé par les autorités domestiques, \bar{E}^h , est supérieur à ce qu'il aurait été en présence d'une demande adressée exclusivement à l'entreprise h sur chaque marché de biens¹⁹. Le gouvernement h cherche à minimiser la perte de parts de marché de ses entreprises tout en luttant partiellement contre la dégradation de l'environnement.

Deux effets incitent le régulateur à diminuer les contraintes environnementales. Le premier est la concurrence imparfaite qui pousse les Etats à adopter une politique stratégique afin de favoriser les firmes nationales au détriment des concurrentes étrangères. Le second est la conséquence du désavantage concurrentiel (subi par les firmes domestiques) que crée l'absence de politique environnementale étrangère. Comme les autorités étrangères ne mettent pas en place de politique de protection de l'environnement, les pouvoirs publics cherchent à moins pénaliser leurs entreprises plutôt qu'à les rendre plus compétitives. En augmentant le plafond de pollution, ils permettent aux firmes domestiques de regagner une partie des parts de marché qu'elles auraient dû céder lors de l'instauration d'une politique environnementale plus stricte, coûteuse pour les entreprises domestiques. La rente détournée et la réduction du désavantage comparatif sont représentées par le terme $(-x_i^h x_{i\bar{E}^h}^f)$ qui symbolise donc ces parts de marché virtuellement reconquises.

¹⁹Nous appelons cette situation « monopole » (ou « mon » pour les écritures mathématiques).

L'existence de la concurrence imparfaite sur des marchés internationaux incite les pouvoirs publics h à fixer un plafond de pollution que sans concurrence étrangère.

Dans le cas où la demande de chaque marché s'adresse exclusivement à l'entreprise h , le plafond de pollution que choisit le régulateur est donné par²⁰ :

$$\begin{aligned} \bar{E}^{h^{mon}} = & -\frac{2\gamma_1^h\gamma_2^h + 3\gamma_2^h + 3\gamma_1^h}{3\gamma_1^h\gamma_2^h} D_{E^h}^h \left[\sum_{i=1}^2 \left(x_{iE^h}^h - a_{iE^h}^h \right) \right] \\ & + \frac{1}{2} \sum_{i=1}^2 (x_i - a_i) + \frac{\alpha}{3} \end{aligned} \quad (4.29)$$

Le terme représentant le détournement de rente disparaît. En comparant les deux plafonds de pollution, nous obtenons $\bar{E}^{h^{cce}} > \bar{E}^{h^{mon}}$ avec $\gamma_1^h > 0$, $\gamma_2^h > 0$ et $\alpha > 0$. Lorsque la concurrence sur le marché des produits est imparfaite, alors le gouvernement intervient stratégiquement et augmente le plafond de pollution : il adopte une politique environnementale laxiste.

Les quantités produites et les réductions d'émission sont obtenues en remplaçant, dans les valeurs d'équilibre calculées à la première étape, le prix du permis donné par (4.28). On obtient²¹ :

$$x_1^{h^{cce}} = x_2^{h^{cce}}$$

$$x_1^{f^{cce}} = x_2^{f^{cce}}$$

$$X_1^{cce} = X_2^{cce}$$

avec :

$$x_1^{h^{cce}} < x_1^{f^{cce}}$$

²⁰ $\bar{E}^{h^{mon}} = \frac{2\alpha\gamma_1^h\gamma_2^h}{5\gamma_1^h\gamma_2^h + 3\gamma_2^h + 3\gamma_1^h}$.

²¹ Voir l'appendice E3.

$$x_2^{h^{cce}} < x_2^{f^{cce}}$$

En termes de bien-être, on a :

$$W^{h^{cce}} > W^{f^{cce}}$$

Le bien-être résultant d'une politique environnementale, donné par $W^{h^{cce}}$, est nettement plus élevé lorsque les nuisances environnementales sont prises en compte que dans le cas contraire. La perte de profit concédée aux entreprises est plus que compensée par les gains obtenus que la lutte contre la pollution leur a permis d'obtenir.

4.3 Politique environnementale bilatérale avec marché des PEN concurrentiel

Nous considérons désormais que le régulateur f décide lui aussi d'implémenter une politique environnementale : les deux gouvernements mettent en place des marchés de permis d'émission négociables. Les incitations étant identiques à celle du pays domestique, le résultat obtenu est une situation de dumping écologique. Les pays limitent l'impact de leur politique environnementale afin de conférer un avantage commercial aux firmes implantées sur leur territoire.

Cette nouvelle hypothèse amène des modifications des valeurs d'équilibre. Ainsi, (4.11) se réécrit²² :

$$x_i^h = f(q^h, q^f); \quad x_i^f = f(q^h, q^f) \quad (4.30)$$

Toutefois les effets constatés (4.13), (4.14) et (4.15) restent identiques puisque le prix des permis domestiques n'agit totalement que sur le profit marginal de la firme représentative i domestique. Il n'agit pas sur le profit marginal d'une entreprise f . Ce phénomène s'exprime de la façon suivante : $\pi_{ix_i^h q^h}^h = 1$, $\pi_{ia_i^h q^h}^h = 1$ et $\pi_{ix_i^f q^h}^f = 0$. De plus, comme nous avons supposé que nos agents sont symétriques ($\pi_{ix_i^f q^f}^f = 1$, $\pi_{ia_i^f q^f}^f = 1$ et $\pi_{ix_i^h q^f}^h = 0$), les effets de la politique environnementale étrangère sont $x_{iq^f}^f = -\frac{\pi_{ix_i^h x_i^h}^h}{H^e} < 0$, $a_{iq^f}^f = -\frac{1}{\pi_{ia_i^f a_i^f}^f} > 0$ et $x_{iq^f}^h = \frac{\pi_{ix_i^h x_i^f}^f}{H^e} > 0$. Compte tenu de ses modifications (4.27) devient :

$$\begin{aligned} \bar{E}^h = & \frac{\kappa^h \kappa^f - \gamma_1^f \gamma_2^f \gamma_1^h \gamma_2^h}{8\kappa^f \gamma_1^h \gamma_2^h} \left(\begin{array}{c} \sum_{i=1}^2 \left(-x_i^h x_{i\bar{E}^h}^f \right) \\ -D_{E^h}^h \left[\sum_{i=1}^2 \left(x_{i\bar{E}^h}^h - a_{i\bar{E}^h}^h \right) \right] \end{array} \right) \\ & + \frac{2\alpha\kappa^f + \left(2\alpha - 4\bar{E}^f \right) \gamma_1^f \gamma_2^f}{8\kappa^f} + \frac{1}{2} \sum_{i=1}^2 \left(x_i^h - a_i^h \right) \end{aligned} \quad (4.31)$$

²²Le développement mathématique concernant l'action gouvernementale du pays f est réalisé dans l'appendice F.

avec $\kappa^h = (3\gamma_1^h\gamma_2^h + 4\gamma_1^h + 4\gamma_2^h)$ et $\kappa^f = (3\gamma_1^f\gamma_2^f + 4\gamma_1^f + 4\gamma_2^f)$. Le plafond optimal d'émission domestique est donné par l'équation suivante :

$$\begin{aligned} \bar{E}^{h^{bil}} = & \frac{\kappa^h (\kappa^h \kappa^f - \gamma_1^f \gamma_2^f \gamma_1^h \gamma_2^h)}{2\gamma_1^h \gamma_2^h (4\kappa^h \kappa^f - \gamma_1^f \gamma_2^f \gamma_1^h \gamma_2^h)} \left(\begin{array}{c} \sum_{i=1}^2 (-x_i^h x_{i\bar{E}^h}^f) \\ -D_{E^h}^h \left[\sum_{i=1}^2 (x_{i\bar{E}^h}^h - a_{i\bar{E}^h}^h) \right] \end{array} \right) \\ & + \alpha \frac{(\kappa^f + \gamma_1^f \gamma_2^f)}{\kappa^h (4\kappa^h \kappa^f - \gamma_1^f \gamma_2^f \gamma_1^h \gamma_2^h)} + \frac{2\kappa^h \kappa^f}{4\kappa^h \kappa^f - \gamma_1^f \gamma_2^f \gamma_1^h \gamma_2^h} \sum_{i=1}^2 (x_i^h - a_i^h) \\ & - \frac{\kappa^h \kappa^f - \gamma_1^f \gamma_2^f \gamma_1^h \gamma_2^h}{(4\kappa^h \kappa^f - \gamma_1^f \gamma_2^f \gamma_1^h \gamma_2^h)} \left(\begin{array}{c} \sum_{i=1}^2 (-x_i^f x_{i\bar{E}^f}^h) \\ -D_{E^f}^f \left[\sum_{i=1}^2 (x_{i\bar{E}^f}^f - a_{i\bar{E}^f}^f) \right] \end{array} \right) \\ & - \frac{2\kappa^h \gamma_1^f \gamma_2^f}{(4\kappa^h \kappa^f - \gamma_1^f \gamma_2^f \gamma_1^h \gamma_2^h)} \left[\alpha \frac{\kappa^h + \gamma_1^h \gamma_2^h}{4\kappa^h} + \frac{1}{2} \sum_{i=1}^2 (x_i^f - a_i^f) \right] \end{aligned} \quad (4.32)$$

La fonction de bien-être domestique n'est plus seulement fonction du plafond d'émission h , mais également du plafond étranger. La présence de \bar{E}^f dans (4.31) qui représente la décision environnementale du pays rival tend à diminuer l'offre de permis locale, c'est-à-dire à durcir la politique environnementale : si f met en place un marché de PEN, h baisse son plafond d'émission. Inversement, si \bar{E}^f diminue, alors les autorités h sont incitées à accroître le plafond de pollution. Toutefois, le choix du plafond de pollution optimal dans le cas bilatéral dépend de plusieurs effets. Tout d'abord, les deux nations partagent un intérêt commun à lutter contre la pollution. Elles sont incitées toutes deux à diminuer le nombre de permis distribués. C'est l'effet de la prise en compte de la pollution. Cependant, cet effet est dominé par l'effet stratégique : les autorités préfèrent augmenter leur plafond pour réduire la charge environnementale des entreprises et pour leur donner un avantage par rapport à leur concurrente. Les pouvoirs publics choisissent d'accroître la production des firmes plutôt que de réduire les dommages. L'effet stratégique consiste en un allègement des contraintes environnementales que subissent les firmes locales dans le but de les rendre plus compétitives sur le marché des produits. Cet

effet de détournement de rente est renforcé lorsque deux nations interviennent puisqu'elles se livrent concurrence à travers leur instrument de politique environnementale. Le plafond de pollution de (4.27) est donc plus faible que le plafond de l'équation (4.32). Ainsi, l'effet stratégique l'emporte sur l'effet de la prise en compte de la pollution, alors $\bar{E}^{h^{bil}} > \bar{E}^{h^{cce}}$ ce qui est vérifié dans notre exemple de la section 4.6²³.

Remarquons que même si l'on avait $\bar{E}^{h^{bil}} < \bar{E}^{h^{cce}}$, les gouvernements feraient encore du dumping écologique. Ceci s'explique par la présence des effets de détournements de rente dans le calcul du plafond optimal. Les autorités ont un intérêt commun à diminuer les plafonds, mais l'effet stratégique domine. Par ailleurs, les plafonds de pollution de la situation unilatérale ou de la situation bilatérale sont toujours plus élevés que le plafond sans intervention stratégique (par exemple dans le cas de monopole domestique sur les marchés des biens).

Notons, cependant, que l'intervention du pays f a des conséquences positives sur le bien-être des deux nations productrices. Comme dans le cas de la taxe aux émissions, la baisse des dommages environnementaux f peut compenser la perte de compétitivité des firmes f , donc accroître W^f . Les entreprises h bénéficient de la réduction des quantités produites par les firmes f . Ainsi, si l'effet de la hausse de la production dépasse l'effet de la baisse du prix et l'augmentation des dommages environnementaux, alors le bien-être du pays domestique s'accroît.

Les quantités produites et les réductions d'émission sont obtenues en remplaçant, dans les valeurs d'équilibre, le prix du permis en fonction de $\bar{E}^{h^{bil}}$. Nous obtenons²⁴ :

$$x_i^{h^{cce}} < x_i^{h^{bil}}$$

$$x_i^{f^{cce}} > x_i^{f^{bil}}$$

²³La valeur explicite de $\bar{E}^{h^{bil}}$ est donnée dans l'appendice F équation (F15).

²⁴Nous ne reproduisons pas les calculs en annexe, car certains d'entre eux tiennent sur plusieurs pages.

$$a_i^{h^{cce}} < a_i^{h^{bil}}$$

avec $i = 1, 2$. En termes de bien-être, on a :

$$W^{h^{bil}} > W^{h^{cce}}$$

$$W^{f^{bil}} > W^{f^{cce}}$$

Le bien-être de la situation bilatérale, donné par $W^{h^{bil}}$, est plus élevé que celui de la situation unilatérale, $W^{h^{cce}}$. L'augmentation de la production h s'explique par la mise en place d'une politique environnementale f , malgré le durcissement de la politique environnementale h . A l'inverse, les entreprises f diminuent leur production pour se conforter aux exigences environnementales du gouvernement étranger. Les firmes domestiques augmentent leurs réductions d'émission afin de faire face à plafond de pollution moins élevé et à une production accrue.

Pour résumer, une politique environnementale dans les deux pays a pour conséquences :

- *Une hausse du bien-être domestique : l'augmentation de la production des entreprises h compense largement l'augmentation des dommages,*
 - *Une hausse du bien-être domestique : la diminution des dommages f compense largement la réduction de la production des entreprises f ,*
 - *Une hausse du plafond de pollution domestique par rapport au cas unilatéral : l'effet de détournement de rente pousse les autorités h et f à soutenir la production des firmes en allégeant leur contrainte environnementale.*
- Nous sommes dans une situation du dilemme du prisonnier.*

4.4 Politiques environnementales bilatérales, coopération et marché de permis d'émission négociables concurrentiel

Depuis l'adoption de la Convention des Nations Unies contre le changement climatique lors de la Conférence de Rio de Janeiro en juin 1992, le climat tend à devenir un bien collectif global. Cette Conférence s'est concentrée sur les émissions quantitatives de chaque pays et a remis en cause le droit de rejet des gaz à effet de serre, et donc de modification du climat, à titre gratuit. L'engagement qui en suivit, fut l'application puis, aujourd'hui, la ratification de Protocole de Kyoto (1997) mis en forme à La Haye (2000), Bonn et Marrakech (2001). Le Protocole de Kyoto prône le recours à un marché de permis d'émission négociables. Il répartit tout d'abord les quantités d'émissions autorisées sur la période 2008-2012 pour chaque pays, en référence à ses émissions de 1990.

La mise en pratique d'un marché de droits est au cœur de notre modélisation. Quand bien même, le Protocole autorise le commerce international des permis d'émission, nous ne nous focalisons pas sur cet aspect mondial des échanges. Nous nous attachons à l'analyse des intérêts des nations à accepter la coopération internationale quand les permis ne peuvent être qu'échangés dans des zones géographiques précises. Par exemple, les Etats-Unis et l'Union Européenne ont chacun créé un marché de permis d'émission négociables. Ils peuvent souhaiter harmoniser leurs politiques ou ne pas dévier de leurs objectifs premiers par la négociation et la coopération. C'est cet aspect de coopération de blocs régionaux que nous analysons. Nous laissons de côté une coopération globale qui suppose la création d'un marché de permis unique. La coopération porte sur la détermination conjointe des plafonds de pollution.

Les effets sur les variables étrangères étant symétriques à ceux des variables domestiques, nous procédons à l'analyse du bien-être joint des deux nations

productrices et pollueuses qui est dénommé $\Omega = W^h(\bar{E}^h, \bar{E}^f) + W^f(\bar{E}^h, \bar{E}^f)$. Les résultats de la seconde étape du jeu ne sont pas modifiés. Nous évaluons le nombre de permis d'émission négociables qui maximisent le bien-être joint. La solution jointe optimale est donnée par $\frac{d\Omega}{d\bar{E}^h} = 0$ et $\frac{d\Omega}{d\bar{E}^f} = 0$ ²⁵.

$$\frac{d\Omega}{d\bar{E}^h} = 0 \iff W_{\bar{E}^h}^h + W_{\bar{E}^h}^f = 0$$

$$\iff \bar{E}^{hcoop} = \frac{\kappa^h \left(\kappa^h \kappa^f - \gamma_1^f \gamma_2^f \gamma_1^h \gamma_2^h \right)}{2\gamma_1^h \gamma_2^h \left(4\kappa^h \kappa^f - \gamma_1^h \gamma_2^h \gamma_1^f \gamma_2^f \right)} \left(\begin{array}{c} \sum_{i=1}^2 \left(-x_i^h x_{i\bar{E}^h}^f \right) \\ -D_{E^h}^h \left[\sum_{i=1}^2 \left(x_{i\bar{E}^h}^h - a_{i\bar{E}^h}^h \right) \right] \end{array} \right) \quad (4.33)$$

$$\begin{aligned} & + \frac{\kappa^h \left(\kappa^h \kappa^f - \gamma_1^f \gamma_2^f \gamma_1^h \gamma_2^h \right)}{2\gamma_1^h \gamma_2^h \left(4\kappa^h \kappa^f - \gamma_1^h \gamma_2^h \gamma_1^f \gamma_2^f \right)} \left(\sum_{i=1}^2 -x_i^f x_{i\bar{E}^h}^h - D_{E^f}^f x_{i\bar{E}^h}^f \right) \\ & + \alpha \kappa^h \frac{\kappa^f + \gamma_1^f \gamma_2^f}{\left(4\kappa^h \kappa^f - \gamma_1^h \gamma_2^h \gamma_1^f \gamma_2^f \right)} + \frac{2\kappa^h \kappa^f}{4\kappa^h \kappa^f - \gamma_1^h \gamma_2^h \gamma_1^f \gamma_2^f} \sum_{i=1}^2 \left(x_i^h - a_i^h \right) \\ & - \frac{\kappa^h \kappa^f - \gamma_1^f \gamma_2^f \gamma_1^h \gamma_2^h}{4 \left(4\kappa^h \kappa^f - \gamma_1^h \gamma_2^h \gamma_1^f \gamma_2^f \right)} \left(\begin{array}{c} \sum_{i=1}^2 \left(-x_i^f x_{i\bar{E}^f}^h \right) \\ -D_{E^f}^f \left[\sum_{i=1}^2 \left(x_{i\bar{E}^f}^f - a_{i\bar{E}^f}^f \right) \right] \end{array} \right) \\ & - \frac{\kappa^h \kappa^f - \gamma_1^f \gamma_2^f \gamma_1^h \gamma_2^h}{4 \left(4\kappa^h \kappa^f - \gamma_1^h \gamma_2^h \gamma_1^f \gamma_2^f \right)} \left[\sum_{i=1}^2 -x_i^h x_{i\bar{E}^f}^f - D_{E^h}^h x_{i\bar{E}^f}^h \right] \\ & - \gamma_1^f \gamma_2^f \alpha \frac{\kappa^h + \gamma_1^h \gamma_2^h}{2 \left(4\kappa^h \kappa^f - \gamma_1^h \gamma_2^h \gamma_1^f \gamma_2^f \right)} + \frac{\gamma_1^f \gamma_2^f}{\kappa^h \left(4\kappa^h \kappa^f - \gamma_1^h \gamma_2^h \gamma_1^f \gamma_2^f \right)} \sum_{i=1}^2 \left(x_i^f - a_i^f \right) \end{aligned}$$

En comparant (4.33) et (4.32), des nouveaux termes apparaissent dans le calcul du plafond de pollution optimal coopératif. Ce sont les deuxième et cinquième lignes de l'équation (4.33). $\sum_{i=1}^2 -x_i^f x_{i\bar{E}^h}^h \left(\sum_{i=1}^2 -x_i^h x_{i\bar{E}^f}^f \right)$ montre l'impact négatif de la somme des détournements de rente de chaque secteur

²⁵Voir l'appendice G pour le détail des calculs. Etant donné que les résultats sont symétriques, nous ne traitons que le cas de \bar{E}^f . Les CSO sont vérifiées : $\Omega_{\bar{E}^h \bar{E}^h} < 0$, $\Omega_{\bar{E}^f \bar{E}^f} < 0$ et $\Omega_{\bar{E}^h \bar{E}^h} \Omega_{\bar{E}^f \bar{E}^f} - \Omega_{\bar{E}^h \bar{E}^f} \Omega_{\bar{E}^f \bar{E}^h} > 0$.

sur les entreprises concurrentes : c'est l'effet de "rent-shifting" conséquent au dumping de h (f), mais que subit f (h). Il est négatif. h (f), en allégeant sa contrainte environnementale, favorise ses firmes au détriment de celle de f (h) qui perdent des parts de marché. Cet argument de politique commerciale incite à la réduction du plafond de pollution domestique donc à un durcissement de la politique environnementale. Toutefois, ces termes s'opposent. $\sum_{i=1}^2 -x_i^f x_{i\bar{E}^h}^h$ incite les pouvoirs publics h à durcir leur politique environnementale pour ne pas pénaliser les firmes f , mais comme le pays f réagit de manière symétrique, h est tenté de profiter de cette situation. L'effet qui joue en faveur d'une politique environnementale plus rigoureuse l'emporte.

Quant à $-D_{E^f}^f x_{i\bar{E}^h}^f$, les dommages marginaux étrangers sont positifs. Ce terme retranscrit l'effet de « pollution-shifting » : il est préférable pour f que h offre davantage de permis. Lorsque \bar{E}^h augmente, les entreprises domestiques produisent plus (de (4.23)) et donc polluent plus le pays h . Les firmes f réduisent alors leur production (de (4.22)) et l'environnement de f est préservé. Cependant ce terme est partiellement compensé par l'effet sur les dommages domestiques d'un tel comportement ($D_{E^h}^h x_{i\bar{E}^f}^h$).

Ainsi, les deux nouveaux effets qui dominent sont $\sum_{i=1}^2 -x_i^f x_{i\bar{E}^h}^h$ et $D_{E^f}^f x_{i\bar{E}^h}^f$. Ils jouent l'un contre l'autre. Si $\sum_{i=1}^2 p_i^f x_i^f x_{i\bar{E}^h}^h > D_{E^f}^f x_{i\bar{E}^h}^f$, il serait préférable, du point de vue du bien-être collectif, de réduire le plafond d'émission. Cet aspect de politique environnementale corrobore les résultats trouvés par Barrett [1994], Kennedy [1994] et Conrad [1993b], en présence de taxation des émissions. Il tend à appuyer les thèses environnementalistes qui consistent à inciter les gouvernements à la mise en œuvre de politiques environnementales contraignantes. Inversement, si $\sum_{i=1}^2 p_i^f x_i^f x_{i\bar{E}^h}^h < D_{E^f}^f x_{i\bar{E}^h}^f$, le plafond d'émission n'est pas suffisamment élevé. La communauté formée des deux nations peut économiquement tolérer une dégradation de l'écosystème plus grande en contrepartie d'une situation économique plus avantageuse, c'est-à-dire une situation plus concurrentielle sur le marché des produits (au bénéfice du marché tiers qui n'est pas considéré dans le bien-être global). L'impact de \bar{E}^f sur Ω est symé-

trique.

Au total, l'effet de détournement de rente subit par les firmes étrangères domine l'effet de détournement de pollution. La coopération pousse les gouvernements à adopter des politiques environnementales plus rigoureuses : $\bar{E}^{h^{bil}} > \bar{E}^{h^{coop}}$ ²⁶. De la même manière, nous avons $\bar{E}^{h^{uni}} > \bar{E}^{h^{coop}}$. De plus, en comparant l'équilibre coopératif à un équilibre sans intervention stratégique, nous obtenons un plafond de pollution qui est toujours plus faible dans le cas coopératif : $\bar{E}^{h^{mon}} > \bar{E}^{h^{coop}}$. Les pouvoirs publics des deux pays corrigent à la fois la distorsion créée par la pollution et partiellement la distorsion due à la situation oligopolistique sur le marché des biens.

Par ailleurs, l'apparition du terme représentant les dommages marginaux étrangers dans le plafond optimal domestique est intéressante. Ce terme incite le gouvernement domestique à assouplir sa politique de lutte contre la pollution. En effet, étant donné qu'un durcissement de la politique environnementale domestique conduit à un détournement de rente au profit de l'étranger à l'aide d'une augmentation de la production étrangère donc à un accroissement des émissions étrangères, il est dans l'intérêt des pouvoirs publics f de soutenir une politique d'augmentation du plafond domestique afin de réduire indirectement la pollution étrangère. Néanmoins, ce terme est dominé par l'effet des dommages marginaux domestiques, mais il contribue à diminuer l'impact de la prise en compte de la pollution pour l'évaluation du plafond optimal collectif : $x_{iE}^h - a_{iE}^h > x_{iE}^f$ d'après (4.21), (4.23) et (4.22). Nous ne retrouvons pas cet effet quand l'instrument de politique environnementale est une taxe.

Le niveau auquel est fixé le plafond optimal coopératif corrige non seulement l'externalité négative qu'est la pollution, mais également une partie de la distorsion que crée l'oligopole. Les Etats ne poursuivent plus le but de favoriser l'industrie nationale. Ils cherchent à diminuer le pouvoir de marché des entreprises de chaque secteur. Ils durcissent donc la politique environnementale au-delà de ce qui est nécessaire. L'instrument de politique environnementale a,

²⁶La valeur explicite de $\bar{E}^{h^{coop}}$ est donnée dans l'appendice G, équation G5.

à nouveau, comme dans la situation non coopérative, une double fonction. Il corrige les dommages environnementaux et, de manière partielle, la situation oligopolistique du marché des biens. Les Etats adoptent une politique rigoureuse. Une remarque identique est faite lors de la mesure de l'impact de \bar{E}^{fcoop} sur Ω .

Par ailleurs, nous remarquons que l'effet de détournement de pollution est différent de celui mis en évidence par Kennedy [1994]. Ce dernier montre, dans le cas d'une taxe environnementale, que les pouvoirs publics mettent en place une politique environnementale moins rigoureuse quand s'accroît le degré de pollution transfrontalière. En effet, si la pollution est totalement transfrontalière (les émissions émises dans le pays étranger ont les mêmes répercussions sur le pays domestique) et pour un même niveau de production mondiale, les autorités h préféreront que toute la production soit réalisée dans le pays h . C'est pourquoi, plus la pollution est transfrontalière, plus la réglementation est laxiste. Nous n'envisageons pas de pollution transfrontalière dans ce chapitre. L'effet de détournement de pollution est donc d'une autre nature. La pollution étant uniquement locale, les gouvernements ont un arbitrage à faire entre les avantages à attendre en termes de profits d'une production supérieure sur le marché des biens et les dommages environnementaux. Un effet, que l'on obtient uniquement dans le mode coopératif et quand l'instrument de régulation est un marché de PEN, pousse les pouvoirs publics domestiques à préférer une augmentation des dommages par une hausse des émissions et/ou de la production et une réduction des profits étrangers à une baisse du bien-être étranger. Ainsi, les autorités h peuvent accroître le plafond de pollution pour qu'indirectement les firmes étrangères produisent moins (une augmentation du plafond de pollution h a pour conséquence directe d'accroître la production des entreprises h), c'est-à-dire pour détourner la pollution du pays f au pays h , dans le but d'améliorer le bien-être du pays f . Cependant, comme nous l'avons souligné auparavant, cet effet de détournement de pollution est dominé par l'effet d'une augmentation des dommages qui a un impact négatif sur le bien-être h .

Pour résumer, nous observons que si les Etats sont parfaitement informés, les plafonds d'émission coopératifs (ou le nombre de permis alloués) sont plus faibles que les plafonds non coopératifs :

- L'effet de détournement de rente au profit des firmes h disparaît puisqu'il est plus que compensé par l'effet de détournement de rente de h subis par les entreprises f . Au total, l'allocation de permis est réduite.

- L'effet de détournement de pollution incite le gouvernement domestique à augmenter son plafond de pollution.

De ces deux effets, le premier l'emporte sur le second : la politique environnementale coopérative est plus rigoureuse que la politique bilatérale.

En remplaçant le prix du permis en fonction de $\bar{E}^{h^{coop}}$ dans les valeurs d'équilibre, nous obtenons les niveaux de production, de réduction d'émission et de bien-être²⁷ :

$$\begin{aligned} x_i^{h^{cce}} &\leq x_i^{h^{coop}} \\ x_i^{h^{bil}} &\leq x_i^{h^{coop}} \\ x_i^{f^{cce}} &\leq x_i^{f^{coop}} \\ x_i^{f^{bil}} &\leq x_i^{f^{coop}} \\ a_i^{h^{cce}} &< a_i^{h^{bil}} < a_i^{h^{coop}} \\ W^{k^{bil}} &< W^{k^{coop}} \end{aligned}$$

avec $i = 1, 2$ et $k = h, f$. Dans la situation coopérative, les incitations stratégiques sont compensées par l'effet des dommages et par l'effet de l'imperfection de la concurrence sur le marché des produits ce qui se traduit par une politique environnementale stricte. Les réductions d'émission sont alors plus élevées que dans les autres situations. Nous ne pouvons déterminer si les niveaux de production sont plus faibles ou plus élevés que dans les autres situa-

²⁷ Comme pour la situation bilatérale, nous ne reproduisons pas les calculs en annexe, car certains d'entre eux tiennent sur plusieurs pages.

tions : l'indétermination est due aux différences des technologies de réduction d'émission entre les entreprises, γ_i^k . Ainsi, si $\gamma_1^h = \gamma_1^f$ et $\gamma_2^h = \gamma_2^f$, nous avons $x_i^{k^{bil}} > x_i^{k^{cce}} > x_i^{k^{coop}}$. Au total, quel que soit γ_i^k , le bien-être des pays est plus grand.

La mise en place d'un marché de permis d'émission négociables au niveau international dans le cadre du Protocole de Kyoto semble être une solution convenable. Quand bien même la ratification du Protocole ait été acceptée de manière collective, l'environnement mondial n'est pas à l'abri de comportements stratégiques d'autant que les mesures de contrôle du respect des engagements restent difficilement réalisables même si la technologie et les moyens financiers mis en œuvre tendent à y remédier. Toutefois, si l'aménagement d'un marché de droits permet la disparition des incitations stratégiques des gouvernements, l'avenir d'un tel programme paraît assuré.

Dans la section suivante, nous levons l'hypothèse concernant la structure concurrentielle du marché des permis de pollution. Nous supposons qu'une entreprise exerce une position dominante sur ce marché.

4.5 Politique environnementale et marché de permis d'émission non concurrentiel

Nous²⁸ supposons désormais que l'entreprise domestique 1 exerce une position dominante sur le marché des permis. Elle manipule le prix des permis afin de réduire ses coûts de réduction d'émission et de se donner un avantage sur le marché des biens. Elle ne prend plus le prix des permis comme une donnée, car elle détermine ce prix. La prise en compte d'imperfections sur le marché des PEN nous conduit à introduire une étape supplémentaire dans la résolution de ce problème. Nous reprenons la démarche de Sartzetakis [1994] pour résoudre cette question. Ainsi, nous considérons trois étapes. Nous résolvons le problème par induction vers l'amont. Dans un premier temps, les entreprises h déterminent leur niveau de réduction des émissions et leur production, prenant en compte la contrainte d'équilibre sur le marché des permis. Les entreprises f choisissent leur niveau de production. Dans une seconde étape, l'entreprise dominante $h1$ fixe le prix du permis qui maximise son profit. Enfin, les pouvoirs publics interviennent dans la troisième étape pour fixer le plafond de pollution²⁹.

4.5.1 Troisième étape

Dans la section 4.2 de ce chapitre, nous avons déterminé les quantités produites par chaque entreprise ainsi que les fonctions de réduction des émissions lorsque le marché des permis est concurrentiel. Exprimé en fonction du prix des permis, nous notons ces fonctions reprises de (4.11) et de (4.12) :

$$x_2^f = f(q^h), \quad x_2^h = f(q^h), \quad a_2^h = f(q^h) \quad (4.34)$$

²⁸Cette section a été élaborée en collaboration avec Sonia Schwartz.

²⁹Nous comparerons la situation avec entreprise dominante sur le marché des permis et politique environnementale stratégique au cas où seul le gouvernement domestique intervient sur un marché de permis concurrentiel (section 4.2).

L'entreprise $h1$ détermine alors son niveau de production et son niveau de réduction des émissions en maximisant son profit par rapport aux deux variables x_1^h et a_1^h , considérant, d'une part, $x_2^f(q^h)$, $x_2^h(q^h)$, $a_2^h(q^h)$ et la fonction de réaction de l'entreprise $f1$ comme des données. D'autre part, cette entreprise subit la contrainte d'équilibre du marché des permis. On associe à cette contrainte un multiplicateur de Lagrange, λ . Le programme de l'entreprise s'écrit :

$$\begin{aligned}\pi_1^h(x_1^h, a_1^h, \lambda) = & p_1(x_1^h, x_1^f) \cdot x_1^h - c_1^h(x_1^h) - \gamma_1^h A_1^h(a_1^h) \\ & - q^h [x_1^h - a_1^h - \bar{e}_1^h] \\ & + \lambda [\bar{E}^h - (x_1^h - a_1^h) - (x_2^h(q^h) - a_2^h(q^h))]\end{aligned}$$

Avec $x_2^h(q^h) = \frac{2\alpha - 3q^h}{8}$, $a_2^h(q^h) = \frac{q^h}{\gamma_2^h}$, et $x_2^f(q^h) = \frac{2\alpha + q^h}{8}$.

Les conditions de premier ordre sont données par :

$$\begin{aligned}\frac{\partial \pi_1^h}{\partial x_1^h} = 0 \\ p_1(x_1^h, x_1^f) + \frac{\partial p_1(x_1^h, x_1^f)}{\partial x_1^h} x_1^h - c_{1x_1^h}^h - q^h - \lambda = 0\end{aligned}\quad (4.35)$$

$$\begin{aligned}\frac{\partial \pi_1^h}{\partial a_1^h} = 0 \\ -\gamma_1^h A_{1a_1^h}^h + q^h + \lambda = 0\end{aligned}\quad (4.36)$$

$$\begin{aligned}\frac{\partial \pi_1^h}{\partial \lambda} = 0 \\ \bar{E}^h - (x_1^h - a_1^h) - (x_2^h(q^h) - a_2^h(q^h)) = 0\end{aligned}\quad (4.37)$$

De (4.35), on obtient :

$$x_1^h = \frac{\alpha - \lambda - q^h - x_1^f}{3}\quad (4.38)$$

De (4.36), nous déduisons :

$$a_1^h = \frac{q^h}{\gamma_1^h} + \frac{\lambda}{\gamma_1^h}\quad (4.39)$$

L'équilibre dans le domaine de la production du secteur 1 est atteint au point d'intersection des fonctions de réaction des deux entreprises. La fonction de réaction de l'entreprise $h1$ est donnée par (4.38), et celle de l'entreprise $f1$ (déterminée lorsque le marché des permis est concurrentiel) est :

$$x_1^f = \frac{\alpha - x_1^h}{3}$$

On a donc :

$$x_1^h = 3q^h - 2\alpha + 3\lambda \quad (4.40)$$

$$x_1^f = \alpha - q^h - \lambda \quad (4.41)$$

D'où :

$$\frac{\partial x_1^h}{\partial q^h} > 0$$

$$\frac{\partial a_1^h}{\partial q^h} < 0$$

Avec :

$$\lambda = \frac{8q^h(\gamma_1^h + \gamma_2^h) + \gamma_1^h\gamma_2^h(6q^h + 8\bar{E}^h - 4\alpha)}{-8\gamma_2^h - 3\gamma_1^h\gamma_2^h}$$

La valeur de λ est obtenu en remplaçant (4.40), (4.41), (4.39) et a_2^h donné par (4.34) dans (4.37).

En insérant la valeur de λ ainsi obtenue dans (4.39), (4.40), et (4.41), on obtient les valeurs d'équilibre exprimées en fonction du prix du permis $x_1^h(q^h)$, et $a_1^h(q^h)$, $x_1^f(q^h)$ soit :

$$x_1^h = \frac{24q^h\gamma_1^h + 16\alpha\gamma_2^h + 9q^h\gamma_1^h\gamma_2^h + 24\bar{E}\gamma_1^h\gamma_2^h - 6\alpha\gamma_1^h\gamma_2^h}{8(8 + 3\gamma_1^h)\gamma_2^h} \quad (4.42)$$

$$a_1^h = \frac{4\alpha\gamma_2^h - 8q^h - 3q^h\gamma_2^h - 8\bar{E}\gamma_2^h}{(8 + 3\gamma_1^h)\gamma_2^h} \quad (4.43)$$

$$x_1^f = \frac{2\gamma_2^h(\alpha(8 + 5\gamma_1^h) - 4\bar{E}\gamma_1^h) - q^h\gamma_1^h(8 + 3\gamma_2^h)}{8(8 + 3\gamma_1^h)\gamma_2^h} \quad (4.44)$$

4.5.2 Deuxième étape

Dans cette seconde étape, l'entreprise dominante fixe le prix du permis. Dans cet objectif, nous réécrivons le profit de cette entreprise en prenant en compte les valeurs obtenues dans la première étape, $x_1^h(q^h)$, $x_1^f(q^h)$ et $a_1^h(q^h)$. On obtient :

$$\begin{aligned}\pi_1^h(q^h) &= p_1(x_1^h(q^h), x_1^f(q^h)) \cdot x_1^h(q^h) - c_1^h(x_1^h(q^h)) \\ &\quad - \gamma_1^h A_1^h(a_1^h(q^h)) \\ &\quad - q^h [x_1^h(q^h) - a_1^h(q^h) - \bar{e}_1^h]\end{aligned}$$

$$\frac{d\pi_1^h(q^h)}{dq^h} = 0 \iff$$

$$\left(\frac{\partial p_1}{\partial x_1^h} \frac{dx_1^h}{dq^h} + \frac{\partial p_1}{\partial x_1^f} \frac{dx_1^f}{dq^h} \right) x_1^h + [p_1 - \frac{dc_1^h}{dx_1^h}] \frac{dx_1^h}{dq^h} - \gamma_1^h \frac{dA_1^h}{da_1^h} \frac{da_1^h}{dq^h} - [e_1 - \bar{e}_1^h] - q^h \left[\frac{dx_1^h}{dq^h} - \frac{da_1^h}{dq^h} \right] = 0 \quad (4.45)$$

Le prix du permis déterminé par l'entreprise 1 résulte d'un arbitrage entre plusieurs effets. Tout d'abord, l'entreprise prend en compte l'impact du prix du permis sur le prix du bien 1, donc sur la production globale, ainsi que l'effet indirect d'une variation du prix du permis sur sa propre production exprimée en valeur (deux premiers termes de l'équation (4.45)). La somme de ces deux effets rend compte de l'impact du prix du permis dans le domaine de la production du secteur 1. L'effet de détournement de rente est représenté par : $\frac{\partial p_1}{\partial x_1^f} \frac{dx_1^f}{dq^h} x_1^h$.

Ensuite, l'entreprise dominante prend en considération l'effet direct de la variation du prix du permis dans le domaine environnemental, c'est-à-dire l'impact sur son coût de réduction des émissions par le biais de la variation du niveau de réduction des émissions (troisième terme de l'équation (4.45)) ainsi que sur sa demande (offre) nette de permis, donnée par le terme $(e_1 - \bar{e}_1^h)$. Enfin, les effets indirects dans le domaine environnemental sont également considérés : le dernier terme de (4.45) exprime la variation en valeur des émissions de l'entreprise dominante suite à la variation du prix du permis.

Dans la troisième étape, nos variables sont fonction du plafond de pollution, car \bar{E}^h est présent dans la contrainte qui requiert l'équilibre sur le marché des permis. Ainsi, \bar{E}^h intervient dans e_1 . Le prix du permis fixé par l'entreprise dominante dépend donc, logiquement, du plafond de pollution décidé par les pouvoirs publics (\bar{E}^h), mais aussi de la dotation initiale de permis accordée à l'entreprise dominante (\bar{e}_1^h). Nous retrouvons ici, mais dans un tout autre contexte, le résultat de Hahn (1984) : lorsque le marché des permis n'est pas concurrentiel, l'équilibre obtenu après l'échange des permis dépend de la distribution initiale accordée à l'entreprise dominante³⁰. Ici, le cadre d'analyse est différent puisque le marché des biens est pris en compte. La résolution de (4.45) donne³¹ :

$$q^{h^{man}} = f(\bar{E}^h, \bar{e}_1^h)$$

En remplaçant $q^{h^{man}}$ dans les fonctions données par (4.34), (4.42),(4.44) et (4.43), nous obtenons les quantités produites par chaque entreprise et les niveaux de réduction des émissions optimaux des entreprises du pays 1 lorsque l'entreprise domestique du secteur 1 exerce une position dominante sur le marché des permis. Ces valeurs sont données par les équations suivantes³² :

$$\begin{aligned} x_1^{f^{man}} &= f(\bar{E}^h, \bar{e}_1^h), x_2^{f^{man}} = f(\bar{E}^h, \bar{e}_1^h), x_1^{h^{man}} = f(\bar{E}^h, \bar{e}_1^h), \\ a_1^{h^{man}} &= f(\bar{E}^h, \bar{e}_1^h), x_2^{h^{man}} = f(\bar{E}^h, \bar{e}_1^h), a_2^{h^{man}} = f(\bar{E}^h, \bar{e}_1^h) \end{aligned} \quad (4.46)$$

Ainsi, lorsqu'une entreprise exerce une position dominante sur le marché des permis, la distorsion se propage sur l'ensemble des marchés. Tout d'abord, l'entreprise domestique 2 est directement affectée par cette variation du prix du permis dans le domaine environnemental, mais aussi dans le domaine de sa production. Transitant par la fonction de réaction de l'entreprise étrangère, cette distorsion affecte également l'entreprise étrangère du secteur 2. Il en est de même pour la propagation de la distorsion de l'entreprise domestique 1 à

³⁰ Avec un marché de permis concurrentiel, le prix des permis ne dépend que du plafond de pollution quelles que soient les dotations accordées aux entreprises.

³¹ Les valeurs d'équilibre exprimées sont données dans l'appendice H1.

³² Les fonctions explicites sont données en annexe H2.

l'entreprise 1 étrangère.

4.5.3 Première étape : Comportement des pouvoirs publics

Nous allons déterminer, dans cette section, le plafond de pollution. Les pouvoirs publics fixent ce dernier en cherchant à atteindre un niveau de bien-être domestique le plus élevé possible. Ce dernier est composé - tout comme dans la section 4.2 - des profits des entreprises et du dommage engendré par les émissions polluantes.

Contrairement au cas où le marché des permis est concurrentiel, les pouvoirs publics ont la possibilité d'agir, cette fois, sur deux variables : le plafond de pollution (comme dans le cas concurrentiel) et la dotation initiale de l'entreprise dominante.

Nous supposons que les pouvoirs publics savent que l'entreprise 1 sera dominante. Dans ce cas, le plafond de pollution sera déterminé en considérant les profits des entreprises évalués lorsque $q^h = q^{h^{man}}$, et donc lorsque les quantités produites et les réductions d'émission sont données par (4.46). Par ailleurs, la dotation initiale de permis de pollution accordée à l'entreprise 1 est une proportion φ_i du plafond de pollution, soit $\bar{e}_1 = \varphi_1 \bar{E}^h$, avec $\varphi_i \in [0, 1]$. On obtient³³ :

$$W^h(\bar{E}^h, \varphi_i) = \sum_{i=1}^2 \pi_i^h(\bar{E}^h, \varphi_i) - D^h(\bar{E}^h)$$

Le régulateur choisit \bar{E}^h et φ_i en maximisant le bien-être domestique par rapport à \bar{E}^h et par rapport φ_i .

$$\frac{\partial W^h}{\partial \bar{E}^h} = 0 \iff \sum_{i=1}^2 \left[q^h \left(\frac{dx_i^h}{d\bar{E}^h} - \frac{dq_i^h}{d\bar{E}^h} \right) - x_i^h x_{i\bar{E}^h}^f \right] - D_{\bar{E}^h}^h = 0 \quad (4.47)$$

$$\frac{\partial W^h}{\partial \varphi_i} = 0 \iff \frac{\partial \pi_1^h}{\partial \varphi_i} + \frac{\partial \pi_2^h}{\partial \varphi_i} = 0 \quad (4.48)$$

³³Les conditions de second ordre sont vérifiées au point candidat : $W_{\varphi\varphi}^h < 0$ et $W_{\bar{E}^h \bar{E}^h}^h < 0$. De plus, on obtient $W_{\bar{E}^h \bar{E}^h}^h W_{\varphi\varphi}^h - W_{\bar{E}^h \varphi}^h W_{\varphi \bar{E}^h}^h > 0$ pour $\gamma_1^h > 0$ et $\gamma_2^h \geq 0$.

Comme dans la section précédente, $-x_i^h x_{i\bar{E}^h}^f$ représente l'effet de détournement de rente sur le marché i et $\sum_{i=1}^2 \left[q^h \left(\frac{dx_i^h}{dE^h} - \frac{da_i^h}{dE^h} \right) - x_i^h x_{i\bar{E}^h}^f \right]$ le bénéfice marginal obtenu à émettre des émissions polluantes. Ces termes sont positifs : les profits des entreprises domestiques augmentent avec \bar{E}^h . Ainsi, la détermination du plafond de pollution résulte d'un arbitrage entre le dommage et le bénéfice marginal engendré par les émissions polluantes. Par ailleurs, on donne des permis à l'entreprise $h1$ tant que le permis supplémentaire qui lui est accordé ne diminue pas plus le profit de l'entreprise $h2$ qu'il n'élève celui de $h1$. La résolution conjointe des équations (4.47) et (4.48) donne, d'une part, le plafond de pollution et, d'autre part, la dotation initiale de l'entreprise $h1$ qui maximise le bien-être. On obtient :

$$\bar{E}^{h^{man}} = \frac{6\alpha\gamma_1\gamma_2 (384 + 127\gamma_2^h + \gamma_1^h (127 + 42\gamma_2^h))}{64\gamma_2^h (64 + 21\gamma_2^h) + 16\gamma_1^h (256 + \gamma_2^h (640 + 182\gamma_2^h)) + 3\gamma_1^{h^2} (448 + \gamma_2^h (976 + 273\gamma_2^h))} \quad (4.49)$$

$$\varphi_1^{man} = \frac{-64\gamma_2^h (80 + 27\gamma_2^h) + 9\gamma_1^{h^2} (1 + \gamma_2^h) (152 + 49\gamma_2^h) + \gamma_1^h (4096 + \gamma_2^h (3736 + 753\gamma_2^h))}{24\gamma_1\gamma_2 (384 + 127\gamma_2^h + \gamma_1^h (127 + 42\gamma_2^h))} \quad (4.50)$$

Lorsque le plafond de pollution est $\bar{E}^{h^{man}}$ et que la proportion de ce plafond accordée à l'entreprise dominante est φ_1^{man} , le prix du permis manipulé vaut :

$$q^{h^{man}} = \frac{2\alpha\gamma_2^h (-64\gamma_2^h + 15\gamma_1^{h^2} (24 + 7\gamma_2^h) + 8\gamma_1^h (136 + 37\gamma_2^h))}{64\gamma_2^h (64 + 21\gamma_2^h) + 16\gamma_1^h (256 + \gamma_2^h (640 + 182\gamma_2^h)) + 3\gamma_1^{h^2} (448 + \gamma_2^h (976 + 273\gamma_2^h))} \quad (4.51)$$

Nous avons également,

$$x_1^{h^{man}} \neq x_2^{h^{man}}$$

$$x_1^{f^{man}} \neq x_2^{f^{man}}$$

4.5.4 Comparaison des situations

Nous sommes donc en mesure de comparer les effets de la position dominante à ceux de la situation concurrentielle (cf. appendice H2). Ainsi, nous obtenons que le plafond de pollution fixé lorsque le marché des permis est soumis à une position dominante est plus grand que lorsqu'il est concurrentiel : $\bar{E}^{h^{cce}} < \bar{E}^{h^{man}}$. Par ailleurs, nous observons que le prix du permis manipulé peut être supérieur ou inférieur à son niveau concurrentiel. En effet :

$$q^{h^{cce}} \leq q^{h^{man}}$$

Lorsque $\bar{e}_1^h = \varphi_1^{man} \bar{E}^{h^{man}}$, nous obtenons la demande ou offre nette de l'entreprise dominante suivante :

$$e_1^{h^{man}} - \bar{e}_1^{h^{man}} > 0$$

Pour analyser l'efficacité du marché des permis, nous déterminons les coûts marginaux de réduction des émissions des entreprises (lorsqu'il y a égalité entre les coûts marginaux de réduction des émissions, le marché des permis est efficace). Nous obtenons :

$$\gamma_1^h a_1^{h^{man}} \neq \gamma_2^h a_2^{h^{man}}$$

Tout d'abord, on remarque que l'entreprise dominante exerce un comportement de type monopsonne sur le marché des permis (elle achète des permis). L'entreprise achète donc trop peu de permis par rapport à l'équilibre concurrentiel. Elle réduit ainsi trop ses émissions par rapport au niveau efficace. Par conséquent, l'entreprise $h2$ ne réduit pas assez son niveau d'émission par rapport à l'équilibre concurrentiel. A l'équilibre, les coûts marginaux de réduction des émissions ne sont pas égaux, et l'équilibre atteint n'est pas optimal. Le coût global de la réglementation environnementale ne satisfait pas le critère de « cost efficiency ». Par ailleurs, il s'avère que le plafond de pollution est plus élevé que lorsque les entreprises se comportent de façon concurrentielle.

Malgré le fait que l'entreprise dominante soit acheteuse sur le marché des permis, le prix du permis peut être soit plus faible soit plus élevé qu'à l'équilibre concurrentiel.

Cette indétermination du prix des permis dépend de la différence entre γ_1^h et γ_2^h . Ces coefficients technologiques reflètent la capacité des entreprises à réduire leurs émissions et donc à acheter ou vendre leurs permis. Ainsi, si $\gamma_1^h < \gamma_2^h$, la firme $h1$ adopte un comportement de vendeuse (ou de monopole) « naturellement » sur le marché des permis. Au contraire, si $\gamma_1^h > \gamma_2^h$, cette entreprise adopte un comportement d'acheteuse (ou de monopsonne). Selon le cas considéré, elle va respectivement vendre moins (acheter moins) de permis par rapport à l'équilibre concurrentiel. Ce comportement répond à une logique de minimisation de ses coûts de mise en conformité dans le domaine environnemental, ce que l'on appelle la « manipulation simple » du marché des permis.

Toutefois, d'après (4.40) et (4.41), la production de l'entreprise dominante est croissante du prix du permis et celle de l'entreprise concurrente décroissante de ce prix. L'entreprise dominante peut donc étendre sa production au détriment de sa concurrente en cherchant à faire augmenter le prix du permis. Ainsi, si $\gamma_1^h < \gamma_2^h$, la manipulation simple du marché conduit l'entreprise à vendre moins de permis par rapport à l'équilibre concurrentiel. Ceci est renforcé par le besoin de faire augmenter ce prix dans un objectif d'exclusion de l'entreprise concurrente $f1$ du marché du bien. Le prix du permis qui en résulte est donc toujours plus élevé qu'à l'équilibre concurrentiel. Par contre, lorsque $\gamma_1^h > \gamma_2^h$, exclure l'entreprise concurrente du marché des biens nécessite de faire augmenter le prix alors que la manipulation simple cherche à le faire baisser. Au final, le prix du permis est plus élevé ou plus faible que son niveau concurrentiel.

Cependant, nous notons que l'Etat cherche à ce que l'entreprise dominante se comporte comme un acheteur de permis dans le but de minimiser les coûts engendrés par cette position dominante sur l'entreprise $h2$. Lorsque $h1$ manipule le prix des permis, il y a à la fois des impacts sur le marché des permis

et sur le marché des biens. Sur le marché des biens, nous observons deux conséquences. La première résulte du fait que la production de l'entreprise dominante est une fonction croissante du prix des permis. $h1$ augmente alors sa production et celle de sa rivale diminue ce qui constitue un effet de détournement de rente positif. Du point de vue du marché des produits, l'entreprise dominante a toujours intérêt à accroître le prix des permis. Cependant, la production de l'autre firme domestique est décroissante en fonction de q^h . Elle perd des parts de marché au profit de $f2$.

Sur le marché des permis, si, au départ, l'entreprise dominante est acheteuse de permis, elle a intérêt à diminuer q^h afin de réduire ses coûts d'achat de permis. Cet effet est opposé à celui rencontré sur le marché des biens – intérêt pour l'entreprise dominante à augmenter q^h . Inversement, si elle est en position de vendeuse sur le marché des permis, elle a intérêt à accroître le prix des permis. Cet effet va dans le sens de celui sur le marché des produits. Ainsi, si la firme dominante vend ses permis, une augmentation du prix des permis lui est doublement bénéfique, à la fois sur le marché des produits et sur le marché des permis d'émission : elle choisira donc un q^h très élevé par rapport à la situation concurrentielle. La situation de la firme domestique du secteur 2 se dégrade d'autant puisqu'elle perd des parts de marché et doit réduire ses émissions et/ou acheter des permis à un prix plus élevé qu'à l'équilibre concurrentiel.

Du point de vue du régulateur, une situation de monopole (vendeuse de permis) accordée à l'entreprise dominante diminue plus le bien-être (avec la diminution du profit de l'entreprise $h2$) qu'il ne l'augmente (avec la hausse du profit de $h1$). Le gouvernement fixe donc une dotation, φ_1 , de telle manière à avoir la firme dominante en situation d'acheteuse de permis. Ainsi, l'incitation à accroître q^h est compensée par l'incitation à diminuer q^h . De même, augmenter le plafond de pollution par rapport au cas concurrentiel permet au régulateur de limiter le pouvoir de marché de $h1$ sans pour autant l'annuler. En établissant un plafond de pollution élevé et en attribuant une condition d'acheteuse de permis à l'entreprise dominante, le gouvernement prend en compte

trois effets : l'effet stratégique de détournement de rente sur les marchés des produits, l'effet de manipulation du prix des permis qu'il modère pour ne pas que h_2 soit trop pénalisée et l'effet de pouvoir de marché que l'on retrouve sur le marché des biens grâce aux interactions stratégiques des firmes. Nous notons que φ_1 n'est pas fixé de manière à ce que la firme dominante se comporte comme en concurrence, résultat classique sans intervention stratégique. Les autorités publiques ont un intérêt à laisser le pouvoir de marché à l'entreprise dominante. Ces effets expliquent l'indétermination du signe de $q^{h^{cce}} - q^{h^{man}} \leq 0$, mais la certitude concernant $\bar{E}^{h^{cce}} - \bar{E}^{h^{man}} < 0$. Comme l'entreprise dominante agit pour augmenter son profit et que ce dernier est une composante du bien-être, il existe donc des valeurs du prix du permis pour lesquelles l'objectif des pouvoirs publics et celui de l'entreprise dominante coïncident.

Par ailleurs, les équations (4.26) et (4.47) ne nous permettent pas de comparer les effets de \bar{E}^h sur la somme des profits et du rent-shifting entre le cas concurrentiel et le cas avec manipulation, car le prix des permis et les quantités domestiques produites ne sont pas identiques dans les deux situations. De même, les effets de \bar{E}^h sur les variables ont été modifiés dans des proportions et des directions différentes. Il aurait été intéressant de connaître l'impact de la prise en compte des réductions d'émission, grâce à la manipulation du prix des permis, dans la décision de production de la firme domestique 1 et sur les effets de rent-shifting. Par exemple, si la dotation de l'entreprise 1 augmente, elle peut ne pas diminuer autant ses abattements que dans le cas concurrentiel. Elle peut même aller jusqu'à les accroître pour augmenter la baisse du prix des permis. L'augmentation de sa production serait donc plus faible que dans le cas concurrentiel. Les firmes étrangères réagissent à ce changement de comportement. De ce fait, l'effet de détournement de rente peut ne plus avoir la même importance : $\sum_{i=1}^2 \left(-x_i^h x_{i\bar{E}^h}^f \right)^{man} \leq \sum_{i=1}^2 \left(-x_i^h x_{i\bar{E}^h}^f \right)^{cce}$.

Lorsque les pouvoirs publics fixent le plafond de pollution, ces derniers font un arbitrage entre le bénéfice marginal tiré des émissions polluantes et les dommages marginaux provoqués par la pollution. Les échanges internationaux conduisent à la prise en compte de l'impact de ce plafond de pollution

sur les termes de l'échange des entreprises. Considérant cette nouvelle dimension par rapport à Sartzetakis [1994], le plafond de pollution qui en résulte est donc plus élevé lorsque la concurrence internationale est prise en compte. Cet effet s'ajoute à celui qui incite l'entreprise $h1$ à acheter des PEN. Quand une entreprise domestique manipule le marché des permis, elle fixe un prix du permis plus faible (élevé) qu'à l'équilibre concurrentiel, si $\gamma_1^h < \gamma_2^h$ ($\gamma_1^h > \gamma_2^h$). Sachant cela, les pouvoirs publics ont, cette fois, deux outils à leur disposition, l'utilisation de chacun permettant de mener des objectifs différents. Un plafond de pollution plus laxiste permet au gouvernement d'atteindre deux objectifs : diminuer le coût de la dépollution des entreprises h pour les rendre plus compétitives sur les marchés des biens et limiter le pouvoir de marché de l'entreprise dominante, donc la distorsion engendrée sur le marché des permis. En même temps, comme la distorsion conduit à améliorer la situation, prise dans son ensemble, des entreprises domestiques, les intérêts des pouvoirs publics et ceux de l'entreprise dominante se rejoignent. Les pouvoirs publics accordent donc à l'entreprise dominante une dotation initiale qui la conduit à l'équilibre donnant le bien-être domestique le plus élevé possible.

Ce type de stratégie utilisée par les pouvoirs publics n'est pas favorable à l'environnement puisque le plafond de pollution mis en oeuvre est plus élevé qu'à l'équilibre concurrentiel. Néanmoins, aucun des plafonds de pollution obtenus ne correspond à celui de premier rang. Ce dernier est déterminé lorsque les marchés des biens fonctionnent de façon concurrentielle, ce qui n'est pas le cas ici. Par conséquent, le comportement stratégique des pouvoirs publics et celui de l'entreprise dominante peuvent rapprocher le plafond de pollution de son niveau de premier rang. Lorsque ce résultat est obtenu, les économies dans leur globalité convergent également vers cet état préférable.

En terme de production, on observe que :

$$X_1^{man} \leq X_1^{cce}$$

avec

$$x_1^{fman} \leq x_1^{fcce}$$

et :

$$x_1^{hman} \leq x_1^{hcce}$$

$$X_2^{man} \leq X_2^{cce}$$

avec :

$$x_2^{hman} \leq x_2^{hcce}$$

$$x_2^{fman} \leq x_2^{fcce}$$

$$\sum_{i=1}^2 x_i^{hman} > \sum_{i=1}^2 x_i^{hcce}$$

$$\sum_{i=1}^2 x_i^{fman} < \sum_{i=1}^2 x_i^{fcce}$$

En découle :

$$p_2^{man} \leq p_2^{cce}$$

$$p_1^{man} \leq p_1^{cce}$$

Les incertitudes relèvent du fait de l'indétermination du signe de $\gamma_1^h - \gamma_2^h$. En effet, l'efficacité en termes de réduction des émissions se traduit par des attitudes différentes sur les marchés des produits. Par exemple, les entreprises étrangères diminuent leur production si la firme $h1$ possède une technologie de réduction des émissions relativement moins efficace que la firme $h2$. Ceci se traduit par des prix des biens et des quantités produites par secteur pouvant être plus ou moins faibles en comparaison à la situation concurrentielle.

La distorsion existant sur le marché des permis se propage au marché des biens et le niveau de production global est modifié, contrairement à Sartzetakis [1994]. En effet, les coûts marginaux de production sont ici positifs et croissants des quantités produites, alors que chez Sartzetakis [1994], les coûts marginaux de production étant constants, la production est toujours identique, quelque soit le comportement des entreprises sur le marché des permis, concurrentiel

ou non. Au contraire, dans notre modèle, la répartition de la production peut être modifiée entre les entreprises selon le comportement des entreprises sur le marché des permis. Il existe alors deux effets différents. Un effet direct de propagation de la distorsion du marché des permis à chaque marché de bien, transitant par la modification du niveau de production des entreprises appartenant au marché des permis. L'effet indirect est constitué par l'effet de cette distorsion sur le niveau de production des entreprises étrangères de chaque secteur.

Lorsque l'entreprise dominante fixe le prix du permis, elle cherche à minimiser son coût de mise en conformité dans le domaine environnemental. Ainsi, elle ne cherche pas à affecter négativement la production de l'entreprise 2, puisque le secteur de production est différent du sien. Par contre, elle prend bien en compte, par le biais de la fonction de réaction de l'entreprise 1 étrangère, la variation de la production de l'entreprise f_1 à la suite de la variation du prix du permis. Ainsi, comme (H1.3) l'indique, la production de la firme f_1 décroît avec le prix du permis. Le prix du permis fixé par l'entreprise 1 résulte donc d'un arbitrage entre deux effets : la diminution de son coût de mise en conformité dans le domaine environnemental et la perte potentielle de sa production, perte que cette stratégie peut engendrer par l'intermédiaire de la variation de la production de l'entreprise étrangère. Ici, la dotation initiale accordée de façon stratégique à l'entreprise 1 la conduit à acheter des permis. Ainsi, si le prix du permis diminue, cela entraîne une réduction de la production de l'entreprise étrangère 1. A l'inverse, la production de l'entreprise 2 domestique croît lorsque le prix du permis diminue (ce qu'exprime H1.2).

L'entreprise dominante, en fixant le prix du permis inférieur (supérieur) à son niveau concurrentiel, doit donc acheter moins (plus) de permis par rapport à l'équilibre concurrentiel. Pour un même niveau de production, elle doit augmenter (réduire) ses activités de réduction des émissions ce qui est coûteux. Par conséquent, elle réduit (accroît) ses émissions - et donc le nombre de permis à acheter - en augmentant (diminuant) ses réductions d'émission **et** en réduisant (baissant) sa production. C'est pourquoi, la production de l'entreprise 1 est

plus faible (élevée) qu'à l'équilibre concurrentiel.

En comparant les niveaux de bien-être atteint, on obtient :

$$W^{hman} > W^{hcce}$$

$$W^{fman} \leq W^{fcce}$$

$$W^{hman} > W^{fman}$$

La manipulation du prix des PEN conduit le bien-être à être plus élevé dans le pays domestique par rapport au cas où le prix des PEN est concurrentiel. Cependant, le bien-être étranger peut soit être amélioré, soit être détérioré. Il dépend de la taille des marchés de biens, α . Si α est inférieur à une valeur seuil ($\alpha < \frac{80}{69}$ lorsque les fonctions sont spécifiées), alors les marchés ne sont pas suffisamment grands et W^f diminue. Si α est supérieur à la valeur seuil ($\alpha > \frac{80}{69}$), le bien-être f augmente. L'évolution du bien-être étranger à la suite de la manipulation du prix du permis résulte de différents effets. Il dépend, d'une part, d'un effet sur le marché des biens qui peut être positif ou négatif. Si, par exemple, le prix des permis augmente, alors la production de $f1$ diminue, celle de $f2$ augmente en même temps que le prix du bien 1 diminue et que celui du bien 2 s'accroît. Il y a donc un double effet positif pour la firme étrangère du secteur 2 qui a un profit en hausse (p_2 et x_2^f augmentent), mais un double effet négatif pour $f1$ (p_1 et x_1^f diminuent). Cependant de H1.3 et de H1.4, comme la firme $f1$ est plus réactive à la manipulation du prix des permis, l'effet négatif sur la firme $f1$ domine l'effet positif sur $f2$. Cet impact négatif se réduit lorsque le marché devient plus grand. L'effet de détournement de rente sera plus faible.

D'autre part, il existe un effet en termes de dommages environnementaux qui peut également être positif ou négatif. Si x_1^f diminue plus que n'augmente x_2^f suite à une hausse de q^h , alors les dommages diminuent ce qui est positif pour le bien-être étranger. Ainsi, au total, le bien-être étranger avec manipulation du prix des permis est soit supérieur soit inférieur au bien-être en concurrence

et résulte du comportement des entreprises domestiques. Le niveau que W^f atteint dépend donc de la technologie de réduction des émissions, de l'action stratégique du gouvernement h et de la taille des marchés des biens.

A l'aide des deux instruments, le plafond de pollution et la dotation de la firme dominante, les autorités domestiques transfèrent en partie leur pouvoir de détournement de rente à l'entreprise dominante qui, grâce à la manipulation du prix des permis, contraint l'entreprise étrangère rivale à adopter une attitude de suiveuse en diminuant sa production lorsque q^h augmente. Le pouvoir de la firme dominante sert également à détourner une partie de la rente technologique de l'entreprise domestique 2 : la distorsion créée sur le marché des permis permet à la firme $h1$ de retirer un gain au détriment de la firme $h2$, ce que le gouvernement limite en forçant la firme dominante à adopter un comportement d'acheteuse de permis par une augmentation du plafond de pollution. Cette attitude des pouvoirs publics est un résultat contraire à ce qui est généralement préconisé dans la littérature : en présence de position dominante sur le marché des permis, on recherche alors la dotation initiale de permis que l'on doit accorder à l'entreprise dominante et qui la conduirait à ne pas intervenir sur le marché des permis (en effet, ici le coût total de réduction des émissions n'est plus minimisé, ce qui réduit le niveau de bien-être atteint). Ce marché de PEN a alors un fonctionnement concurrentiel et ne présente donc plus de distorsion. Ici, φ_1 est fixé de manière à confirmer la position dominante de la firme 1 tout en la limitant. Il sert donc à réaffirmer l'avantage stratégique que la firme dominante détient sur la firme f du secteur 1.

Par ailleurs, Misiolek et Elder [1987], Sartzetakis [1994] et [1997] montrent que la manipulation par exclusion du marché des permis peut rapprocher le prix du permis de son niveau concurrentiel. Ce résultat ne peut être transposé ici, puisque les plafonds de pollution sont différents selon la structure du marché des permis. En revanche, il apparaît que le plafond de pollution de premier rang peut être plus faible ou plus élevé que celui obtenu lorsque le marché des permis est ou non concurrentiel. Cela signifie qu'il existe des configurations où les stratégies de l'entreprise dominante et des pouvoirs publics aboutissent à

fixer un plafond de pollution qui se rapproche de son niveau de premier rang.

Pour résumer, lorsque l'entreprise domestique du marché 1 exerce une position dominante, nous obtenons que :

- *Le plafond de pollution est plus élevé que le plafond de la situation unilatérale,*

- *Le bien-être domestique est plus élevé que le bien-être de la situation unilatérale,*

- *Les pouvoirs publics confirment la position dominante de l'entreprise h1. Pour cela, ils ne fixent pas un plafond de pollution et une dotation initiale de permis qui obligent l'entreprise dominante à se comporter comme dans une situation concurrentielle sur le marché des permis,*

- *L'allocation initiale de permis accordée à l'entreprise dominante et le plafond fixé par les autorités font que l'entreprise h1 est acheteuse de permis, ceci pour limiter son pouvoir de marché.*

Nous avons établi que les pouvoirs publics fixent un plafond de pollution plus élevé lorsque le marché des permis est manipulé. Le plafond de pollution est alors considéré comme l'un des éléments d'une politique de commerce stratégique. Lorsqu'il existe une entreprise dominante sur le marché des permis, les pouvoirs publics disposent cette fois de deux instruments : le plafond de pollution et la dotation initiale de permis accordée à l'entreprise dominante. Les pouvoirs publics attribuent une dotation initiale à l'entreprise dominante de telle sorte que cette dernière achète des permis, ceci lui permettant d'exercer un pouvoir stratégique sur le marché des biens et d'accroître le bien-être de la communauté. Ces deux instruments servent à corriger trois distorsions (et non plus deux comme dans le cas concurrentiel) : la politique choisie n'est donc pas celle de premier rang (cf. Tinbergen).

4.6 Exemple : permis d'émission négociables et politique stratégique

L'exemple suivant permet d'illustrer les différents aspects de la politique environnementale stratégique que nous avons mis en évidence dans le modèle ci-dessus.

De manière similaire à l'exemple des taxes environnementales en présence de lobbying, nous récapitulons les valeurs des variables suivantes : les fonctions de coût de production, de coût de réduction d'émission, de dommages environnementaux et de demande inverse. De plus, les firmes ne sont pas aussi efficaces les unes que les autres en termes de préservation de l'environnement. Les entreprises du secteur 1 ont un coût de réduction d'émission plus élevé que celles du secteur 2. Ainsi, nous supposons $\gamma_1 = 10$ et $\gamma_2 = 5$. Nous rappelons que l'équilibre du marché des permis d'émission négociables est obtenu lorsque $\bar{E}^k = E^k$, avec $k = h, f$. On pose $\alpha = 10$.

Tout d'abord, nous analysons la situation où seules les autorités h mettent en œuvre une politique de lutte contre la pollution. Puis, le gouvernement étranger adopte une posture symétrique en implémentant également un marché de permis d'émission négociables. Nous envisageons ensuite la coopération des nations. Enfin, nous traitons le cas unilatéral lorsque le prix des permis est manipulé par une entreprise.

4.6.1 Politique environnementale unilatérale

Nous indiquons dans le tableau ci-dessous les différentes valeurs d'équilibres lorsque le marché des PEN est concurrentiel³⁴ :

³⁴Remarquons que $\varphi_1 = 0.473$ a été choisi de manière arbitraire, car seules les dotations initiales et donc les profits des firmes domestiques dépendent de la répartition des permis. En effet, le marché des PEN étant parfaitement concurrentiel, les dotations initiales de permis n'altèrent pas le bien-être domestique : quel que soit φ_i , $W^h = 11.445$. $\varphi_1 = 0.473$ a été choisi afin de comparer les profits domestiques en concurrence aux profits domestiques avec manipulation où φ_1 est déterminé de manière optimale.

Tableau 4.1 : Politique unilatérale

	$i = 1$	$i = 2$	φ_1	0.473
x_i^h	1.658	1.658	\bar{E}^h	2.6412
x_i^f	2.781	2.781	\bar{e}_1^h	1.249
X_i	4.438	4.438	$e_1^h - \bar{e}_1^h$	0.184
p_i	5.561	5.561	$e_2^h - (\bar{E}^h - \bar{e}_1^h)$	-0.184
a_i^h	0.225	0.449	q^h	2.247
e_i^h	1.433	1.208	W^h	11.445
π_i^h	7.18	7.752	W^f	7.733
π_i^f	11.599	11.599	Ω	19.178

Le choix de créer un marché de PEN, de la part des régulateurs domestiques, a d'importantes conséquences sur le profit des firmes h . Préserver l'environnement est une charge supplémentaire pour les entreprises. Les concurrentes du pays f n'ont pas ce surcoût. Il est donc évident que la production des firmes h se contracte. Les firmes f bénéficient des parts de marché supplémentaires, dues au recul de la production h , par rapport à une situation sans intervention : d'après (D4) et (D5), on a $x_{iq^h}^f > 0$ et $x_{iq^h}^h < 0$. Ainsi, quel que soit le degré d'efficacité du programme de réduction d'émission, les firmes domestiques produisent des quantités de biens inférieures à celles des firmes f .

Par ailleurs, les entreprises domestiques ont des niveaux de production identiques : $x_1^h = x_2^h = 1.658$. Ce résultat provient du fait que les entreprises h peuvent égaliser leurs coûts marginaux de réduction d'émission grâce à l'échange de permis d'où $x_1^f = x_2^f$. Ceci n'est possible que lorsque le marché des PEN est concurrentiel. L'entreprise du secteur 2 étant deux fois plus efficace en termes de dépollution, elle réduit deux fois plus ses émissions que l'entreprise du secteur 1. L'entreprise $h1$ émet 1.658 unités de pollution procédant à des abattements de 0.225, ses émissions finales sont égales à 1.433; Recevant une dotation de 1.249 permis, elle achète 0.184 permis à l'entreprise $h2$. L'entreprise $h2$ réduit ses émissions de 0.449. Elle émet donc 1.208 unités de pollution. Recevant une dotation de 1.392, elle vend 0.184 permis à l'entreprise

$h1$.

La vente et l'achat de permis d'émission négociables se traduisent par un profit différent suivant que l'entreprise est efficace ou non en termes de technologie de réduction d'émission : $\pi_2^h = 7.752 > \pi_1^h = 7.18$. Le profit des entreprises domestiques est inférieur au profit des firmes étrangères. Cependant, le bien-être résultant d'une politique environnementale, W^h , est nettement plus élevé (11.445) que W^f (7.733) si les nuisances environnementales sont prises en compte (23.199 dans le cas contraire). Les gains obtenus de la lutte contre la pollution compensent la perte de profit des entreprises domestiques.

4.6.2 Interventions bilatérales

Tableau 4.2 : Politiques bilatérales

	$i = 1$	$i = 2$		
x_i^h	1.824	1.824	$\varphi_1^h = \varphi_1^f$	0.473
x_i^f	1.824	1.824	$\bar{E}^h = \bar{E}^f$	2.836
X_i	3.648	3.648	$\bar{e}_1^h = \bar{e}_1^f$	1.342
p_i	6.352	6.352	$e_1^h - \bar{e}_1^h = e_1^f - \bar{e}_1^f$	0.212
a_i^h	0.27	0.541	$e_2^h - \bar{e}_2^h = e_2^f - \bar{e}_2^f$	-0.212
a_i^f	0.27	0.541	$q^h = q^f$	2.705
e_i^h	1.553	1.283	$W^h = W^f$	14.725
e_i^f	1.553	1.283	Ω	29.451
π_i^h	8.984	9.764		
π_i^f	8.984	9.764		

Comme dans le cas de la taxe environnementale avec intervention bilatérale, la production des firmes h s'accroît par comparaison de la situation unilatérale. Les agents étant symétriques et les marchés de permis d'émission négociables permettant l'égalisation des coûts marginaux d'abattements, les niveaux de production sont égaux : $x_i^h = x_i^f = 1.824$. Les gouvernements, afin de faire face à la concurrence, adoptent une politique environnementale laxiste. Le nombre total de permis alloués augmente par rapport à la situation unilatérale : 2.836

au lieu de 2.6412. Les autorités font du dumping écologique afin que leurs firmes nationales soient le moins pénalisées par la politique environnementale. Notons toutefois que la création d'un marché de permis d'émission négociables est moins coûteuse qu'une taxe environnementale. En effet, l'internalisation de la pollution permet aux entreprises de retirer un bénéfice des échanges sur le marché des PEN par rapport à une taxe : jusqu'à égalité entre le coût marginal d'abattement et le prix des permis, l'entreprise efficace dans ses réductions d'émission vend des permis et en retire un gain, tandis que pour la firme moins efficace, il est moins coûteux d'acheter des permis que d'abattre. L'échange de permis est mutuellement bénéfique pour les firmes et pour les pouvoirs publics. Ainsi, dans une situation comparable avec une taxe aux émissions à la place d'un marché de PEN, la production par entreprises est plus élevée (1.867 au lieu de 1.864), mais la somme des réductions d'émission plus faible (0.753 au lieu de 0.811). Les émissions totales sont donc plus importantes (2.975 au lieu de 2.836) et le bien-être plus petit : 14.525 au lieu de 14.725.

Dans le cas bilatéral, les autorités se livrent concurrence à travers leur instrument de politique environnementale afin de favoriser leurs entreprises sur le marché des produits. Les plafonds de pollution sont donc élevés. L'incitation des gouvernements à manipuler le marché des biens est plus forte que l'effet sur les dommages. Le régulateur h augmente le dumping écologique par rapport à la situation unilatérale : $\bar{E}^{h^{bil}} > \bar{E}^{h^{uni}}$.

Les entreprises du secteur 1 émettent 1.824 unités et ont le droit d'émettre, après avoir acheté 0.212 permis aux firmes locales du secteur 2, 1.554. Elles sont obligées, pour se conformer aux exigences environnementales, de réduire leurs émissions de 0.27. La hausse de la production est manifeste dans le pays h : 0.166 unité supplémentaire, alors que, dans le même temps, le nombre de permis attribués augmente de 0.1948.

Malgré l'accroissement des coûts liés aux réductions d'émission, les profits de chacune des firmes domestiques augmentent. La hausse de la production permise par l'allègement de la contrainte environnementale et par l'apparition d'un instrument étranger de politique environnementale, compense largement

les hausses des coûts d'abattement et de production. Le bien-être domestique est également en hausse. Il ne faut pas pour autant croire que le dumping écologique améliore le surplus collectif. Le principal effet permettant la croissance de W^h est l'apparition du plafond de pollution f . Ce dernier permet le rééquilibrage de la compétitivité des firmes. Les parts de marché se répartissent à nouveau équitablement. Nous retrouvons ici une remarque que nous avons formulée dans le cas de la taxation : l'intervention bilatérale peut être préférable à l'intervention unilatérale. Cependant, lorsque nous comparerons ce présent cas au mode coopératif, nous nous apercevrons qu'il est souhaitable de durcir la politique en offrant moins de permis aux entreprises.

Pour la nation f , l'imposition d'un instrument, même dans un contexte de dumping écologique, est profitable si les dommages environnementaux sont pris en compte. W^f a cru de 7.733 à 14.725. W^h augmente grâce à l'effet de détournement de rente sur le marché des produits (qui fait plus que compenser la dégradation de l'environnement suite à l'accroissement de la production et donc des émissions) et à la politique environnementale f . W^f s'accroît grâce à la réduction des dommages environnementaux (qui compense largement la perte de parts de marché due à l'apparition du marché de permis d'émission). Le bien-être de chacune des nations augmentant, le bien-être mondial s'améliore.

4.6.3 Coopération

Tableau 4.3 : Coopération environnementale internationale

	$i = 1$	$i = 2$		
x_i^h	1.661	1.661	$\varphi_1^h = \varphi_1^f$	0.473
x_i^f	1.661	1.661	$\bar{E}^h = \bar{E}^f$	2.316
X_i	3.323	3.323	$\bar{e}_1^h = \bar{e}_1^f$	1.096
p_i	6.677	6.677	$e_1^h - \bar{e}_1^h = e_1^f - \bar{e}_1^f$	0.23
a_i^h	0.335	0.671	$e_2^h - \bar{e}_2^h = e_2^f - \bar{e}_2^f$	-0.23
a_i^f	0.335	0.671	$q^h = q^f$	3.355
e_i^h	1.326	0.99	$W^h = W^f$	15.056
e_i^f	1.326	0.99	Ω	30.112
π_i^h	8.378	9.36		
π_i^f	8.378	9.36		

En mode coopératif, les gouvernements adoptent généralement une politique environnementale rigoureuse. Cependant, la présence d'un terme de « pollution shifting » compense partiellement un effet de « rent shifting ». Cet effet de « pollution shifting » mesure les gains, en termes d'amélioration de l'environnement, que pourrait gagner le pays f si les autorités h assouplissaient les contraintes environnementales et donc acceptaient que les entreprises h produisent davantage, à la place des firmes f . L'effet de « rent shifting » représente la perte des parts de marché que subissent les entreprises f quand le gouvernement h adopte une politique environnementale laxiste.

Cet exemple nous donne une appréciation de l'effet de « pollution shifting ». Il est faible, car le nombre de permis alloués diminue fortement par rapport à la situation bilatérale. La politique environnementale coopérative préconise un plafond d'émission bas. Le bien-être de chacune des nations participant à la coopération et le bien-être joint s'améliorent.

Le nombre de permis négociables attribués en début de période diminuant, les firmes s'adaptent en abattant plus et en réduisant leur production. Leurs

profits sont plus petits. Toutefois, la baisse des profits ne se fait pas dans les mêmes proportions suivant que l'entreprise possède une technologie de lutte contre la pollution efficace ou non. Pour les firmes du secteur 2, les réductions d'émission sont moins coûteuses. De plus, elles ont la possibilité de vendre une partie de leurs droits dont le prix a augmenté du fait de la raréfaction des permis. Elles compensent ainsi une partie de la perte due au durcissement de la politique environnementale. Globalement, les contraintes environnementales pèsent moins sur les entreprises du secteur 2 et leurs profits en souffrent moins. Par rapport à l'intervention bilatérale, π_1^k diminue plus que π_2^k , $\forall k = h, f$.

4.6.4 Marché des PEN non concurrentiels

Le tableau ci-dessous rend compte de l'équilibre de marché lorsque le marché des PEN est soumis à une position dominante :

Tableau 4.4 : Politique environnementale unilatérale avec manipulation du marché des PEN

	$i = 1$	$i = 2$	φ_1	0.473
x_i^h	1.675	1.643	\bar{E}^h	2.6414
x_i^f	2.775	2.786	\bar{e}_1^h	1.249
X_i	4.45	4.429	$e_1^h - \bar{e}_1^h$	0.205
p_i	5.55	5.571	$e_2^h - (\bar{E}^h - \bar{e}_1^h)$	-0.205
a_i^h	0.22	0.457	q^h	2.284
e_i^h	1.455	1.187	W^h	11.446
π_i^h	7.181	7.753	W^f	7.643
π_i^f	11.552	11.639	Ω	19.089

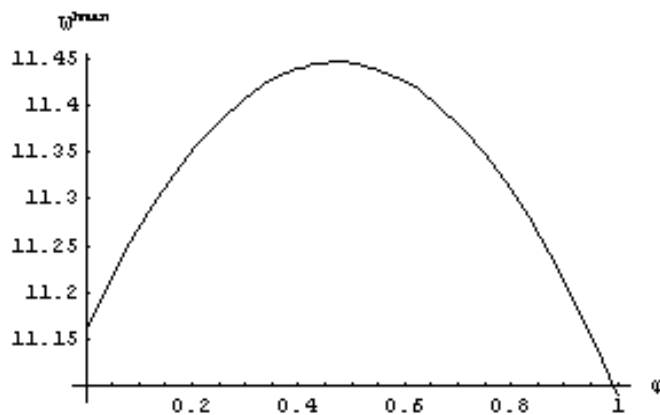
Tout d'abord, on remarque que l'entreprise dominante achète (0.205) permis à l'entreprise 2³⁵. Par ailleurs, il s'avère que le plafond de pollution est légèrement plus élevé que lorsque les entreprises se comportent de façon concurrentielle ($2.6414 > 2.6412$). L'entreprise dominante exerce un comportement

³⁵ $x_1^h - a_1^h - \bar{e}_1^h = 0.205$ et $x_2^h - a_2^h - \bar{e}_2^h = -0.205$.

de type monopsonne sur le marché des permis et pourtant le prix du permis est plus élevé qu'à l'équilibre concurrentiel ($2.284 > 2.247$).

Le prix du permis augmente, ce qui entraîne une réduction de la production de l'entreprise étrangère du secteur 1, passant de 2.781 à 2.775, mais une augmentation de la production de $f2$, passant de 2.781 à 2.786. La production de l'entreprise 2 domestique diminue lorsque le prix du permis augmente, ce que nous vérifions ici ($1.658 > 1.643$). Nous pouvons retrouver ces effets dans les équations (D4 et (D5) et (H1.1) à (H1.4). Notons que les effets de q^h sur les productions des firmes f ne sont pas identiques. La concurrence à la Cournot sur le marché des biens explique que la firme $f1$ réagisse différemment à la manipulation du prix des permis de $h1$, $x_{2q^h}^{h^{man}}$ étant identique à $x_{2q^h}^{h^{cce}}$.

Le graphique suivant³⁶ illustre l'importance de la dotation initiale de l'entreprise dominante sur le niveau du bien-être atteint dans le pays domestique :



Graphique 4.2 : Bien être domestique en fonction de la dotation de l'entreprise dominante

Le bien-être est maximal lorsque l'entreprise dominante reçoit une dotation initiale équivalente à 47.3% du plafond de pollution ($\varphi_1 = 0.473$).

Comme nous avons pu le souligner dans la section précédente, face à un changement du prix du marché des permis, les entreprises du secteur 1 sont les seules à modifier leur comportement par rapport à un marché de permis concurrentiel. La firme étrangère du secteur 2 réagit toujours positivement à une augmentation du prix des permis, elle accroît sa production et la firme

³⁶Source : l'auteur.

h_2 la réduit. Si la firme domestique du secteur 1 fait en sorte que le prix des permis augmente, elle accroît sa production et augmente ses émissions. De fait, si q^h augmente, les variations de sa production et de ses réductions d'émission se font dans les proportions respectives de $\frac{69}{152}$ et de $-\frac{23}{190}$. Elle profite de sa position dominante afin de minimiser le coût de la politique environnementale et de dégager une rente de double nature. La première est d'ordre technologique. En manipulant le prix des permis, elle détourne une partie des gains que réalise, en concurrence, l'entreprise domestique 2 sur le marché des permis grâce à sa technologie de dépollution peu coûteuse. C'est la conséquence de la minimisation des coûts de mise en conformité environnementale de la firme dominante. La seconde est plus classique, car il s'agit pour la firme dominante de se servir du marché des permis pour contrôler le marché des biens et donc de détourner une fraction de la rente d'oligopole de l'entreprise étrangère opérant dans le même secteur (dans le cadre concurrentiel seul le gouvernement se charge de détourner la rente).

Tableaux 4.5 : Effet du plafond de pollution sur la production et les réductions d'émission dans les situations concurrentielles et de manipulation du marché des PEN

Concurrence	$i = 1$	$i = 2$	Manipulation	$i = 1$	$i = 2$
$x_{i\bar{E}^h}^h$	0.357	0.357	$x_{i\bar{E}^h}^h$	$\frac{2280(1+\varphi_1)}{8927}$	$-\frac{15(-6039+2888\varphi_1)}{205321}$
$x_{i\bar{E}^h}^f$	-0.119	-0.119	$x_{i\bar{E}^h}^f$	$-\frac{760(1+\varphi_1)}{8927}$	$\frac{5(-6039+2888\varphi_1)}{205321}$
$a_{i\bar{E}^h}^h$	-0.095	-0.19	$a_{i\bar{E}^h}^h$	$-\frac{608(1+\varphi_1)}{8927}$	$\frac{8(-6039+2888\varphi_1)}{205321}$

Manipulation avec $\varphi_1 = 0.473$	$i = 1$	$i = 2$
$x_{i\bar{E}^h}^h$	0.376	0.341
$x_{i\bar{E}^h}^f$	-0.125	-0.114
$a_{i\bar{E}^h}^h$	-0.1	-0.182

En observant le tableau reportant les effets de \bar{E}^h dans le cadre concurrentiel à celui avec manipulation, nous nous rendons compte de l'importance

de la part de la dotation accordée à l'entreprise domestique 1 sur les variables de réductions d'émission et de production. En effet, suivant que l'Etat accorde une grande part des permis à l'entreprise dominante ou non, l'impact d'une variation du plafond de pollution sur la production et les réductions d'émission des firmes du secteur 2 peut être plus ou moins important. Ainsi, dans une situation sans comportement stratégique, les autorités chercheraient la valeur de φ_1 pour laquelle la firme domestique du secteur 1 ne serait plus incitée à manipuler le prix des permis. Lorsque $\varphi_1 = 0.473$, l'effet du plafond de pollution sur la production des firmes du secteur 1 devient plus élevé que dans le cadre concurrentiel. Ces entreprises réagissent plus activement à tout changement de prix : $x_{1\bar{E}^h}^{h^{man}} = 0.376$ contre $x_{1\bar{E}^h}^{h^{cce}} = 0.357$ et $x_{1\bar{E}^h}^{f^{man}} = -0.125$ contre $x_{1\bar{E}^h}^{f^{cce}} = -0.119$. Il en est de même pour les abattements de ce secteur : $a_{1\bar{E}^h}^{h^{man}} = -0.1$ contre $a_{1\bar{E}^h}^{h^{cce}} = -0.095$. Au contraire, les entreprises du secteur 2 réagissent moins fortement à toute modification du plafond de pollution que ce soit en termes de production ou en termes de réductions d'émission. De plus, il est intéressant de souligner ici que le prix des permis et le plafond de pollution n'ont pas d'effets opposés pour la firme $h1$. Lorsqu'il n'y a pas de manipulation, l'impact du prix des permis sur nos variables est opposé à celui du plafond de pollution. En effet, $x_{1q^h}^{h^{man}}$ et $a_{1q^h}^{h^{man}}$ sont de même signe que $x_{1\bar{E}^h}^{h^{man}}$ et $a_{1\bar{E}^h}^{h^{man}}$: dans le cadre concurrentiel, une augmentation de q^h (\bar{E}^h) aboutit à une réduction (augmentation) de la production et une augmentation (diminution) des réductions d'émission. La manipulation du prix des permis, compte tenu d'une allocation de permis donnée, mène l'entreprise dominante à toujours se comporter de la même manière, c'est-à-dire à augmenter la production et à diminuer les réductions d'émission quelles que soient les variations de q^h ou de \bar{E}^h . Par ailleurs, il est intéressant de souligner que le choix d'un φ_1 faible tempère les réactions de la firme $h1$. En effet, plus φ_1 tend vers 0, plus $x_{1\bar{E}^h}^{h^{man}}$ et $a_{1\bar{E}^h}^{h^{man}}$ sont petits.

Quand on étudie les tableaux 4.5, nous notons trois effets de \bar{E}^h sur les différentes variables avec $\varphi_1^{man} = 0.473$. Premièrement, l'effet d'un accroissement de \bar{E}^h se traduit par une variation plus importante de la production domestique

totale par rapport au cas concurrentiel : $\sum_{i=1}^2 x_{i\bar{E}^h}^{h^{man}} = 0.717$ et $\sum_{i=1}^2 x_{i\bar{E}^h}^{h^{cce}} = 0.714$. Deux effets jouent alors l'un contre l'autre. D'une part, la hausse de la production se traduit par une augmentation des profits et donc améliore le bien-être. Mais d'autre part, la croissance des émissions est plus importante, donc plus coûteuse à abattre et nuisible au bien-être. Deuxièmement, la réaction des firmes étrangères est plus forte $\left(\sum_{i=1}^2 x_{i\bar{E}^h}^{f^{man}} = -0.239 \text{ et } \sum_{i=1}^2 x_{i\bar{E}^h}^{f^{cce}} = -0.238 \right)$. Le détournement de rente se fait plus aisément et s'ajoute aux effets positifs attendus en termes de bien-être domestique. Les firmes f concèdent plus de parts de marché quand \bar{E}^h croît. Dernier point, la diminution des abattements est plus forte dans le cadre concurrentiel $\left(\sum_{i=1}^2 a_{i\bar{E}^h}^{h^{man}} = -0.282 \text{ et } \sum_{i=1}^2 a_{i\bar{E}^h}^{h^{cce}} = -0.285 \right)$ que dans le cas avec manipulation. Le coût des réductions d'émission est plus élevé, mais les dommages totaux sont réduits. La conjugaison de l'ensemble de ces facteurs aboutit à ce que les autorités préfèrent, lorsqu'il y a manipulation du prix des permis négociables, accroître légèrement le plafond de pollution $(\bar{E}^{h^{man}} = 2.6414 \text{ et } \bar{E}^{h^{cce}} = 2.6412)$. Les effets incitant au relâchement de la contrainte environnementale sont plus élevés : les impacts sur les dommages marginaux sont maintenus $\left(\sum_{i=1}^2 \left(x_{i\bar{E}^h}^{h^{man}} - a_{i\bar{E}^h}^{h^{man}} \right) = 0.999 \text{ et } \sum_{i=1}^2 \left(x_{i\bar{E}^h}^{h^{cce}} - a_{i\bar{E}^h}^{h^{cce}} \right) = 0.999 \right)$ et les firmes étrangères réagissent globalement davantage à toutes variations de \bar{E}^h . Ainsi, pour faire gagner un nombre donné de parts de marché, les autorités doivent moins relâcher moins la pression de la politique environnementale quand il y a manipulation du prix des permis³⁷, c'est-à-dire que toute hausse du plafond de pollution entraîne des gains plus importants en présence de manipulation. De surcroît, comme les variations des dommages environnementaux sont identiques, la combinaison de tous ces effets aide au choix d'un \bar{E}^h plus élevé. Ceci contribue à expliquer la préférence d'une politique environnementale moins contraignante. Au final, par rapport

³⁷Nous retrouvons ces effets en calculant ceux de rent-shifting : $\left(-x_2^h x_{2\bar{E}^h}^f \right)^{cce} = \left(-x_1^h x_{1\bar{E}^h}^f \right)^{cce} = 0.1973$, $\left(-x_1^h x_{1\bar{E}^h}^f \right)^{man} = 0.2077$ et $\left(-x_2^h x_{2\bar{E}^h}^f \right)^{man} = 0.1873$. Nous observons une facilité légèrement plus grande pour les firmes domestiques à prendre des parts de marché aux entreprises étrangères, car, en moyenne, le détournement de rente des firmes domestiques en manipulation vaut 0.1975.

à un marché de permis concurrentiel, il existe des incitations supplémentaires pour que le gouvernement diminue sa contrainte environnementale.

Ces résultats se retrouvent lorsque l'on considère l'équation (4.47). En comparant la somme des effets de \bar{E}^h sur nos variables entre le cas concurrentiel et le cas avec manipulation, nous comprenons la politique gouvernementale.

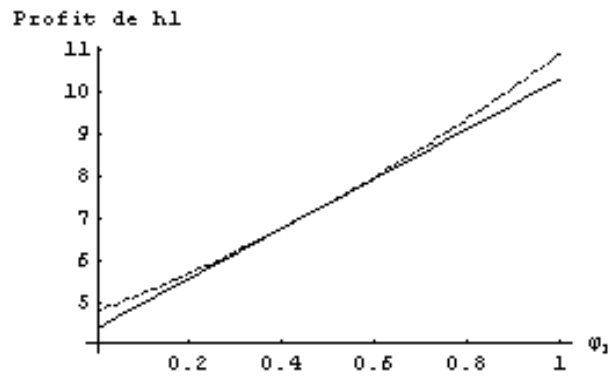
Globalement, la production du secteur 1 augmente, alors que la production du secteur 2 diminue. Le prix du bien 2 étant plus élevé qu'à l'équilibre concurrentiel et le prix du bien 1 plus faible, les impacts en valeur de cette position dominante sur les profits sont différents : le profit de l'entreprise 1 étrangère diminue et celui de l'entreprise du secteur 2 augmente.

Au final, le bien être du pays étranger est plus faible lorsque le prix du permis est manipulé. Ce résultat provient de la combinaison de plusieurs effets : la production diminuant dans ce pays, les dommages sont moins élevés, mais ils ne compensent pas la diminution du profit de l'entreprise 1 qui est plus importante que l'augmentation du profit de l'entreprise du secteur 2.

En ce qui concerne le bien-être domestique, celui-ci augmente par rapport au cas où le marché des permis est concurrentiel. Ceci provient de différents effets opposés. L'entreprise dominante voit son profit augmenter grâce à sa stratégie de manipulation du prix du permis et celui de l'entreprise 2 augmente également : moins de production à un prix plus élevé et ventes de permis accrues à un prix plus élevé (2.284 au lieu de 2.247) grâce à une dotation de permis plus favorable (0.205 permis vendus au lieu de 0.184). Cependant, ces hausses de profit sont faibles. En effet, afin de limiter le pouvoir de marché de l'entreprise dominante, sans pour autant le supprimer, le régulateur choisit une dotation en permis qui n'est pas le partage égal des permis entre les deux entreprises ($\varphi_1^{man} = 0.473$). Dans le but de satisfaire le meilleur bien-être h possible, cette allocation initiale limite la hausse du profit de $h1$ et la baisse du profit de $h2$ (jusqu'à accroître le profit $h2$) qui auraient été permises sans intervention du gouvernement. L'entreprise dominante doit acheter plus de permis puisqu'elle en est moins dotée et qu'elle produit davantage. Malgré sa condition d'acheteuse de PEN et à cause de sa position dominante, le prix du

permis augmente par rapport à la situation concurrentielle.

Sur le graphique suivant³⁸, on montre que le profit de l'entreprise dominante est toujours plus élevé lorsque le prix du permis est manipulé (en pointillé) plutôt que concurrentiel :



Graphique 4.3 : profit de l'entreprise domestique

³⁸Source : l'auteur.

Ce chapitre s'inscrit dans le prolongement des articles de Barrett [1994], Conrad [1993a et 1993b], Kennedy [1994] et Ulph [1996b]. Nous nous attachons à démontrer les relations entre environnement et compétitivité, lorsqu'un marché de permis d'émission négociables est mis en place plutôt qu'une taxe aux émissions polluantes. En analysant les gouvernements des nations productrices, les entreprises polluées qui y sont établies et le pays tiers, nous évaluons les effets des marchés des permis d'émission négociables. Les Etats cherchent à évoluer dans un environnement sain et une économie prospère.

Les marchés des permis d'émission négociables n'échappent pas à la politique environnementale stratégique. Nous retrouvons des résultats similaires à ceux de Barrett [1994] parmi d'autres auteurs, qui expliquent l'intérêt des autorités à dévier de leur politique environnementale optimale dans le but de soutenir le commerce extérieur à l'aide de taxes aux émissions. Nous obtenons, en présence de permis d'émission négociables, des résultats analogues : les gouvernements cherchent à détourner une rente commerciale du pays rival en allégeant la contrainte environnementale pesant sur les firmes nationales. Lorsque les deux nations adoptent le même comportement stratégique, nous obtenons une situation de dumping écologique. Quand nous nous intéressons au mode coopératif, les politiques deviennent soit plus rigoureuses soit plus laxistes à cause de deux effets opposés : le détournement de rente et le détournement de pollution. Les plafonds de pollution domestique et étranger, fixant le nombre de permis alloués, peuvent être réévalués au niveau obtenu sans intervention stratégique. Les pouvoirs publics peuvent même aller au-delà de la simple correction de l'externalité qu'est la pollution, s'ils choisissent une politique sévère à l'égard des firmes polluantes. Si une telle politique stricte est adoptée, avec l'usage d'un unique instrument de politique environnementale, les gouvernements cherchent à pallier en plus aux problèmes liés à l'imperfection de la concurrence sur les marchés des produits. Les PEN, à défaut de ne pas avoir la possibilité d'utiliser d'autres instruments, offrent aux régulateurs la possibilité de diminuer de manière imparfaite les distorsions dues à la situation duopolistique sur chaque marché de biens. Les gouvernements utilisent

le marché des permis d'émission négociables pour corriger deux distorsions : la pollution et l'imperfection de la concurrence sur le marché des biens de production.

Lorsque l'on s'intéresse à un marché des permis non concurrentiel, nous conservons l'incitation du régulateur à réduire la contrainte environnementale. Toutefois, par rapport au cas concurrentiel sur le marché des permis, le bien-être est accru. Pour réguler à la fois le marché des produits et le marché des permis, le gouvernement utilise deux outils : le plafond de pollution et la dotation initiale de la firme dominante. A l'aide de ces instruments, les autorités forcent l'entreprise dominante à adopter une position d'acheteuse de PEN pour que l'effet de détournement de rente sur le marché des permis soit plus élevé que l'effet de l'augmentation de la pollution (qui reste faible). L'entreprise dominante a un pouvoir stratégique dont le régulateur se sert pour améliorer le bien-être de la nation.

4.7 Appendices mathématiques du chapitre 4

4.7.1 Appendice D

Nous cherchons à anticiper les effets du prix des permis sur nos trois variables que sont les abattements et les productions h et f . Les conditions de premier ordre des firmes étrangères et domestiques i en fonction de q^h sont données par :

$$\begin{aligned}\pi_{ix_i^h}^h \left(x_i^h(q^h), x_i^f(q^h), a_i^h(q^h); (q^h) \right) &= 0 & (D1) \\ \pi_{ia_i^h}^h \left(x_i^h(q^h), x_i^f(q^h), a_i^h(q^h); (q^h) \right) &= 0 \\ \pi_{ix_i^f}^f \left(x_i^h(q^h), x_i^f(q^h), a_i^h(q^h); (q^h) \right) &= 0\end{aligned}$$

Les dérivées croisées des CPO donnent : $\pi_{ix_i^h a_i^h}^h = 0$, $\pi_{ix_i^h q^h}^h = -1$, $\pi_{ia_i^h x_i^h}^h = 0$, $\pi_{ia_i^h x_i^f}^h = 0$, $\pi_{ia_i^h q^h}^h = 1$, $\pi_{ix_i^f a_i^h}^f = 0$ et $\pi_{ix_i^f q^h}^f = 0$. Le prix des permis d'émission négociables influence les deux variables domestiques, mais ne joue pas sur la firme étrangère. L'entreprise étrangère i réagit à q^h indirectement via la production domestique x_i^h . La condition précédente se réécrit de la façon suivante :

$$\begin{aligned}\pi_{ix_i^h x_i^h}^h \frac{dx_i^h}{dq^h} + 0 + \pi_{ix_i^h x_i^f}^h \frac{dx_i^f}{dq^h} - 1 &= 0 & (D2) \\ 0 + \pi_{ia_i^h a_i^h}^h \frac{da_i^h}{dq^h} + 0 + 1 &= 0 \\ \pi_{ix_i^f x_i^h}^f \frac{dx_i^h}{dq^h} + 0 + \pi_{ix_i^f x_i^f}^f \frac{dx_i^f}{dq^h} + 0 &= 0\end{aligned}$$

La condition (D2) exprimée sous forme matricielle donne :

$$\begin{bmatrix} \pi_{ix_i^h x_i^h}^h & 0 & \pi_{ix_i^h x_i^f}^h \\ 0 & \pi_{ia_i^h a_i^h}^h & 0 \\ \pi_{ix_i^f x_i^h}^f & 0 & \pi_{ix_i^f x_i^f}^f \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \frac{dx_i^h}{dq^h} \\ \frac{da_i^h}{dq^h} \\ \frac{dx_i^f}{dq^h} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} -1 \\ 1 \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

$$\Leftrightarrow \begin{bmatrix} \pi_{ix_i^h x_i^h}^h & 0 & \pi_{ix_i^h x_i^f}^h \\ 0 & \pi_{ia_i^h a_i^h}^h & 0 \\ 0 & 0 & \pi_{ix_i^f x_i^h}^f \pi_{ix_i^h x_i^f}^h - \pi_{ix_i^f x_i^f}^f \pi_{ix_i^h x_i^h}^h \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \frac{dx_i^h}{dq^h} \\ \frac{da_i^h}{dq^h} \\ \frac{dx_i^f}{dq^h} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} -1 \\ 1 \\ -\pi_{ix_i^f x_i^h}^f \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

$$\Leftrightarrow \begin{bmatrix} \pi_{ix_i^h x_i^h}^h & 0 & \pi_{ix_i^h x_i^f}^h \\ 0 & \pi_{ia_i^h a_i^h}^h & 0 \\ 0 & 0 & -H^{\bar{e}} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \frac{dx_i^h}{dq^h} \\ \frac{da_i^h}{dq^h} \\ \frac{dx_i^f}{dq^h} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} -1 \\ 1 \\ -\pi_{ix_i^f x_i^h}^f \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

avec $H^{\bar{e}} = \pi_{ix_i^h x_i^h}^h \pi_{ix_i^f x_i^f}^f - \pi_{ix_i^h x_i^f}^h \pi_{ix_i^f x_i^h}^h$. Evaluons a_{iq}^h à partir de la matrice précédente :

$$\pi_{ia_i^h a_i^h}^h \frac{da_i^h}{dq^h} + 1 = 0$$

$$\Leftrightarrow \pi_{ia_i^h a_i^h}^h \frac{da_i^h}{dq^h} = -1$$

$$\Leftrightarrow a_{iq^h}^h = -\frac{1}{\pi_{ia_i^h a_i^h}^h} > 0 \quad (\text{D3})$$

$a_{iq^h}^h$ reflète la réaction de la firme domestique i en matière de réduction d'émission par rapport aux variations du prix des permis d'émission négociables. Cherchons $x_{iq^h}^f$ qui représente la réponse de la firme étrangère à la mise en place d'un marché domestique de permis d'émission négociables.

$$-H^{\bar{e}} \frac{dx_i^f}{dq^h} - \pi_{ix_i^f x_i^h}^f = 0$$

$$\Leftrightarrow H^{\bar{e}} \frac{dx_i^f}{dq^h} = -\pi_{ix_i^f x_i^h}^f$$

$$\Leftrightarrow x_{iq^h}^f = -\frac{\pi_{ix_i^f x_i^h}^f}{H^{\bar{e}}} > 0 \quad (\text{D4})$$

Le comportement domestique face à cette création est donné par :

$$\begin{aligned}
& \pi_{ix_i^h x_i^h}^h \frac{dx_i^h}{dq^h} + \pi_{ix_i^h x_i^f}^h \frac{dx_i^f}{dq^h} - 1 = 0 \\
& \iff \pi_{ix_i^h x_i^h}^h \frac{dx_i^h}{dq^h} + \pi_{ix_i^h x_i^f}^h \frac{dx_i^f}{dq^h} = 1 \\
& \iff \pi_{ix_i^h x_i^h}^h x_{iq^h}^h = 1 + \pi_{ix_i^h x_i^f}^h \frac{\pi_{ix_i^f x_i^h}^f}{H^e} \\
& \iff \pi_{ix_i^h x_i^h}^h x_{iq^h}^h = \frac{\pi_{ix_i^h x_i^h}^h \pi_{ix_i^f x_i^f}^f - \pi_{ix_i^h x_i^f}^h \pi_{ix_i^f x_i^h}^f}{H^e} + \frac{\pi_{ix_i^h x_i^f}^h \pi_{ix_i^f x_i^h}^f}{H^e} \\
& \iff x_{iq^h}^h = \frac{\pi_{ix_i^f x_i^f}^f}{H^e} < 0
\end{aligned} \tag{D5}$$

De manière explicite (D3), (D4) et (D5) donnent :

$$x_{iq^h}^{h^{cce}} = \frac{\partial x_i^{h^{cce}}}{\partial q^h} = -\frac{3}{8} < 0 \tag{D6}$$

$$x_{iq^h}^{f^{cce}} = \frac{\partial x_i^{f^{cce}}}{\partial q^h} = \frac{1}{8} > 0 \tag{D7}$$

$$a_{iq^h}^{h^{cce}} = \frac{\partial a_i^{h^{cce}}}{\partial q^h} = \frac{1}{\gamma_i^h} > 0 \tag{D8}$$

4.7.2 Appendice E

4.7.2.1 Appendice E1

Nous obtenons le prix des permis en fonction du plafond de pollution à partir de (4.16). Nous remplaçons dans (4.16), les valeurs de x_i^h et a_i^h par (4.11) et (4.12). Nous avons donc :

$$\begin{aligned}
E^h = \bar{E}^h &\iff \sum_{i=1}^2 \left(\frac{\alpha}{4} - \frac{3q^h}{8} - \frac{q^h}{\gamma_i^h} \right) = \bar{E}^h \\
&\iff \frac{\alpha}{2} - \frac{3q^h}{4} - \frac{q^h}{\gamma_1^h} - \frac{q^h}{\gamma_2^h} = \bar{E}^h \\
&\iff -q^h \left(\frac{3\gamma_1^h \gamma_2^h + 4\gamma_1^h + 4\gamma_2^h}{4\gamma_1^h \gamma_2^h} \right) = \bar{E}^h - \frac{\alpha}{2} \\
&\iff q^{h^{cce}} = \frac{2\gamma_1^h \gamma_2^h (\alpha - 2\bar{E}^h)}{3\gamma_1^h \gamma_2^h + 4\gamma_2^h + 4\gamma_1^h}
\end{aligned}$$

Afin d'obtenir les valeurs d'équilibre de la première étape en fonction du plafond de pollution choisi par les autorités h , il suffit de remplacer le prix d'équilibre des permis d'émission négociables (4.17) dans les équations (4.2), (4.5) et (4.3) :

$$x_i^{h^{cce}} = \frac{3\bar{E}^h \gamma_1^h \gamma_2^h + 2\alpha (\gamma_1^h + \gamma_2^h)}{8\gamma_2^h + \gamma_1^h (8 + 6\gamma_2^h)} \quad (\text{E1.1})$$

$$x_i^{f^{cce}} = \frac{2\alpha (\gamma_1^h + \gamma_2^h + \gamma_1^h \gamma_2^h) - \bar{E}^h \gamma_1^h \gamma_2^h}{8\gamma_2^h + \gamma_1^h (8 + 6\gamma_2^h)} \quad (\text{E1.2})$$

$$a_i^{h^{cce}} = \frac{2\gamma_j^h (\alpha - 2\bar{E}^h)}{3\gamma_1^h \gamma_2^h + 4\gamma_2^h + 4\gamma_1^h} \quad (\text{E1.3})$$

avec $j \neq i$.

Les conditions de premier ordre du profit domestique se réécrivent :

$$\pi_{ix_i^h}^h = \alpha - 3x_i^h - x_i^f - \frac{2\gamma_1^h \gamma_2^h (\alpha - 2\bar{E}^h)}{3\gamma_1^h \gamma_2^h + 4\gamma_2^h + 4\gamma_1^h} \quad (\text{E1.4})$$

$$\pi_{ia_i^h}^h = -\gamma_i^h a_i^h + \frac{2\gamma_1^h \gamma_2^h (\alpha - 2\bar{E}^h)}{3\gamma_1^h \gamma_2^h + 4\gamma_2^h + 4\gamma_1^h} \quad (\text{E1.5})$$

A partir de (E1.4) et de (E1.5), nous recherchons l'effet de l'allocation initiale de permis sur nos variables. Pour ce faire, nous dérivons les conditions de premier ordre des firmes domestiques et étrangères représentatives opérant au sein du secteur i . Nous constatons que \bar{E}^h , le nombre total de droits à polluer alloué par les autorités h , influence positivement le profit marginal lié à la production, mais influence négativement les profits marginaux des réductions d'émission. Les CPO en fonction de \bar{E}^h sont données par :

$$\begin{aligned}\pi_{ix_i^h}^h \left(x_i^h \left(\bar{E}^h \right), x_i^f \left(\bar{E}^h \right), a_i^h \left(\bar{E}^h \right); \left(\bar{E}^h \right) \right) &= 0 \\ \pi_{ia_i^h}^h \left(x_i^h \left(\bar{E}^h \right), x_i^f \left(\bar{E}^h \right), a_i^h \left(\bar{E}^h \right); \left(\bar{E}^h \right) \right) &= 0 \\ \pi_{ix_i^f}^f \left(x_i^h \left(\bar{E}^h \right), x_i^f \left(\bar{E}^h \right), a_i^h \left(\bar{E}^h \right); \left(\bar{E}^h \right) \right) &= 0\end{aligned}$$

En différenciant ces conditions de premier ordre, nous obtenons la matrice suivante :

$$\begin{aligned}& \begin{bmatrix} \pi_{ix_i^h x_i^h}^h & 0 & \pi_{ix_i^h x_i^f}^h \\ 0 & \pi_{ia_i^h a_i^h}^h & 0 \\ \pi_{ix_i^f x_i^h}^f & 0 & \pi_{ix_i^f x_i^f}^f \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \frac{dx_i^h}{d\bar{E}^h} \\ \frac{da_i^h}{d\bar{E}^h} \\ \frac{dx_i^f}{d\bar{E}^h} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \frac{4\gamma_1^h \gamma_2^h}{3\gamma_1^h \gamma_2^h + 4\gamma_2^h + 4\gamma_1^h} \\ -\frac{4\gamma_1^h \gamma_2^h}{3\gamma_1^h \gamma_2^h + 4\gamma_2^h + 4\gamma_1^h} \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \\ \\ \Leftrightarrow & \begin{bmatrix} \pi_{ix_i^h x_i^h}^h & 0 & \pi_{ix_i^h x_i^f}^h \\ 0 & \pi_{ia_i^h a_i^h}^h & 0 \\ 0 & 0 & -H^{\bar{e}} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \frac{dx_i^h}{d\bar{E}^h} \\ \frac{da_i^h}{d\bar{E}^h} \\ \frac{dx_i^f}{d\bar{E}^h} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \frac{4\gamma_1^h \gamma_2^h}{3\gamma_1^h \gamma_2^h + 4\gamma_2^h + 4\gamma_1^h} \\ -\frac{4\gamma_1^h \gamma_2^h}{3\gamma_1^h \gamma_2^h + 4\gamma_2^h + 4\gamma_1^h} \\ \pi_{ix_i^f x_i^h}^f \frac{4\gamma_1^h \gamma_2^h}{3\gamma_1^h \gamma_2^h + 4\gamma_2^h + 4\gamma_1^h} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}\end{aligned}$$

Les résultats de statiques comparatives sont donc :

$$a_{i\bar{E}^h}^h = \frac{4\gamma_1^h \gamma_2^h}{(3\gamma_1^h \gamma_2^h + 4\gamma_2^h + 4\gamma_1^h) \pi_{ia_i^h a_i^h}^h} < 0 \quad (\text{E1.6})$$

$$\begin{aligned}
-H^{\bar{e}} x_{i\bar{E}^h}^f &= -\pi_{ix_i^f x_i^h}^f \frac{4\gamma_1^h \gamma_2^h}{3\gamma_1^h \gamma_2^h + 4\gamma_2^h + 4\gamma_1^h} \\
\iff x_{i\bar{E}^h}^f &= \frac{\pi_{ix_i^f x_i^h}^f 4\gamma_1^h \gamma_2^h}{H^{\bar{e}} (3\gamma_1^h \gamma_2^h + 4\gamma_2^h + 4\gamma_1^h)} < 0
\end{aligned} \tag{E1.7}$$

$$\begin{aligned}
\pi_{ix_i^h x_i^h}^h x_{i\bar{E}^h}^h + \pi_{ix_i^h x_i^f}^h \frac{\pi_{ix_i^f x_i^h}^f 4\gamma_1^h \gamma_2^h}{H^{\bar{e}} (3\gamma_1^h \gamma_2^h + 4\gamma_2^h + 4\gamma_1^h)} &= -\frac{4\gamma_1^h \gamma_2^h}{(3\gamma_1^h \gamma_2^h + 4\gamma_2^h + 4\gamma_1^h)} \\
\iff \pi_{ix_i^h x_i^h}^h x_{i\bar{E}^h}^h &= -\frac{\pi_{ix_i^h x_i^h}^h \pi_{ix_i^f x_i^f}^f (4\gamma_1^h \gamma_2^h)}{H^{\bar{e}} (3\gamma_1^h \gamma_2^h + 4\gamma_2^h + 4\gamma_1^h)} \\
\iff x_{i\bar{E}^h}^h &= -\frac{\pi_{ix_i^f x_i^f}^f (4\gamma_1^h \gamma_2^h)}{H^{\bar{e}} (3\gamma_1^h \gamma_2^h + 4\gamma_2^h + 4\gamma_1^h)} > 0
\end{aligned} \tag{E1.8}$$

De manière explicite, (E1.6), (E1.7) et (E1.8) se réécrivent :

$$x_{i\bar{E}^h}^{h^{cce}} = \frac{\partial x_i^{h^{cce}}}{\partial \bar{E}^h} = \frac{3\gamma_1^h \gamma_2^h}{8\gamma_2^h + \gamma_1^h (8 + 6\gamma_2^h)} > 0 \tag{E1.9}$$

$$x_{i\bar{E}^h}^{f^{cce}} = \frac{\partial x_i^{f^{cce}}}{\partial \bar{E}^h} = -\frac{\gamma_1^h \gamma_2^h}{8\gamma_2^h + \gamma_1^h (8 + 6\gamma_2^h)} < 0 \tag{E1.10}$$

$$a_{i\bar{E}^h}^{h^{cce}} = \frac{\partial a_i^{h^{cce}}}{\partial \bar{E}^h} = -\frac{4\gamma_j^h}{4\gamma_1^h + 4\gamma_2^h + 3\gamma_1^h \gamma_2^h} < 0 \tag{E1.11}$$

avec $j \neq i$.

La production domestique est croissante en fonction de \bar{E}^h au contraire de la production étrangère. Les réductions d'émission sont une fonction décroissantes du plafond de pollution. En effet, si les autorités décident d'allouer davantage de permis en augmentant le plafond de pollution, la contrainte environnementale est moins coûteuse pour les firmes domestiques. Cela se traduit par l'accroissement de la production h et la diminution des abattements h , la production des firmes f diminuant. Si \bar{E}^h s'accroît, la production mondiale est

en hausse puisque l'effet d'une variation de \bar{E}^h sur x_i^h est plus importante que sur x_i^f d'après (E1.7) et (E1.8) et les CSO.

4.7.2.2 Appendice E2

Nous détaillons ici le calcul de (4.26). Le bien-être est la somme des profits moins les dommages. Nous réécrivons la fonction de bien-être :

$$\begin{aligned}
W^h(\bar{E}^h) &= \pi_1^h(x_i^h, x_i^f, a_i^h, \bar{e}_i^h) + \pi_2^h(x_i^h, x_i^f, a_i^h, \bar{e}_i^h) - D^h\left(\sum_{i=1}^2 e_i^h\right) \\
&= \sum_{i=1}^2 \left[\left(\alpha - (x_i^h + x_i^f) \right) x_i^h - \frac{x_i^{h2}}{2} - \gamma_i^h \frac{a_i^{h2}}{2} \right] \\
&\quad - \sum_{i=1}^2 q^h [e_i^h - \bar{e}_i^h] - D^h\left(\sum_{i=1}^2 e_i^h\right) \\
&= \sum_{i=1}^2 \left[\left(\alpha - (x_i^h + x_i^f) \right) x_i^h - \frac{x_i^{h2}}{2} - \gamma_i^h \frac{a_i^{h2}}{2} \right] \\
&\quad - q^h (E^h - \bar{E}^h) - D^h\left(\sum_{i=1}^2 e_i^h\right) \\
&= \sum_{i=1}^2 \left[\left(\alpha - (x_i^h + x_i^f) \right) x_i^h - \frac{x_i^{h2}}{2} - \gamma_i^h \frac{a_i^{h2}}{2} \right] - D^h\left(\sum_{i=1}^2 e_i^h\right)
\end{aligned}$$

Nous dérivons $W^h(\bar{E}^h)$ par rapport à \bar{E}^h :

$$\begin{aligned}
W_{\bar{E}^h}^h = 0 &\iff \sum_{i=1}^2 \left(\alpha - 3x_i^h - x_i^f \right) \frac{\partial x_i^h}{\partial \bar{E}^h} + \sum_{i=1}^2 \left(-\gamma_i^h a_i^h \right) \frac{\partial a_i^h}{\partial \bar{E}^h} \\
&\quad - \sum_{i=1}^2 \left(x_i^h \frac{\partial x_i^f}{\partial \bar{E}^h} \right) - D_{E^h}^h \left[\sum_{i=1}^2 \left(x_{i\bar{E}^h}^h - a_{i\bar{E}^h}^h \right) \right] = 0
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Leftrightarrow \sum_{i=1}^2 \left(\alpha - 3x_i^h - x_i^f - q^h \right) \frac{\partial x_i^h}{\partial \bar{E}^h} + \sum_{i=1}^2 \left(-\gamma_i^h a_i^h + q^h \right) \frac{\partial a_i^h}{\partial \bar{E}^h} - \sum_{i=1}^2 \left(x_i^h \frac{\partial x_i^f}{\partial \bar{E}^h} \right) \\ + q^h \sum_{i=1}^2 \left(\frac{\partial x_i^h}{\partial \bar{E}^h} - \frac{\partial a_i^h}{\partial \bar{E}^h} \right) - D_{E^h}^h \left[\sum_{i=1}^2 \left(x_{i\bar{E}^h}^h - a_{i\bar{E}^h}^h \right) \right] = 0 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Leftrightarrow \sum_{i=1}^2 \frac{\partial \pi_i^h}{\partial x_i^h} \frac{\partial x_i^h}{\partial \bar{E}^h} + \sum_{i=1}^2 \frac{\partial \pi_i^h}{\partial a_i^h} \frac{\partial a_i^h}{\partial \bar{E}^h} - \sum_{i=1}^2 \left(x_i^h \frac{\partial x_i^f}{\partial \bar{E}^h} \right) \\ + q^h \sum_{i=1}^2 \left(\frac{\partial x_i^h}{\partial \bar{E}^h} - \frac{\partial a_i^h}{\partial \bar{E}^h} \right) - D_{E^h}^h \left[\sum_{i=1}^2 \left(x_{i\bar{E}^h}^h - a_{i\bar{E}^h}^h \right) \right] = 0 \end{aligned}$$

$$\Leftrightarrow \sum_{i=1}^2 \left[q^h \left(\frac{\partial x_i^h}{\partial \bar{E}^h} - \frac{\partial a_i^h}{\partial \bar{E}^h} \right) - x_i^h x_{i\bar{E}^h}^f \right] = D_{E^h}^h \left[\sum_{i=1}^2 \left(x_{i\bar{E}^h}^h - a_{i\bar{E}^h}^h \right) \right]$$

Nous calculons désormais le bénéfice marginal. Nous remplaçons q^h par les valeurs obtenues des CPO (4.2) et (4.3) :

$$Bm = \sum_{i=1}^2 \left[\left(\alpha - 3x_i^h - x_i^f \right) \frac{\partial x_i^h}{\partial \bar{E}^h} - \gamma_i^h a_i^h \frac{\partial a_i^h}{\partial \bar{E}^h} - x_i^h x_{i\bar{E}^h}^f \right]$$

Nous dérivons ensuite Bm par rapport à \bar{E}^h :

$$\begin{aligned} Bm' &= \sum_{i=1}^2 \left[\begin{aligned} &\left(-3 \frac{\partial x_i^h}{\partial \bar{E}^h} - \frac{\partial x_i^f}{\partial \bar{E}^h} \right) \frac{\partial x_i^h}{\partial \bar{E}^h} \\ &- \gamma_i^h \left(\frac{\partial a_i^h}{\partial \bar{E}^h} \right)^2 - \frac{\partial x_i^h}{\partial \bar{E}^h} \frac{\partial x_i^f}{\partial \bar{E}^h} \end{aligned} \right] \\ &= \sum_{i=1}^2 \left[\left(-3 \frac{\partial x_i^h}{\partial \bar{E}^h} - 2 \frac{\partial x_i^f}{\partial \bar{E}^h} \right) \frac{\partial x_i^h}{\partial \bar{E}^h} - \gamma_i^h \left(\frac{\partial a_i^h}{\partial \bar{E}^h} \right)^2 \right] \end{aligned}$$

4.7.2.3 Appendice E3

En posant que $D^h \left(\bar{E}^h \right) = \sum_{i=1}^2 \frac{(x_i^h - a_i^h)^2}{2}$ et en remplaçant le prix des permis dans les valeurs d'équilibre, on obtient :

$$\begin{aligned}
 x_1^{h^{cce}} = x_2^{h^{cce}} &= \frac{2\alpha(\gamma_1^h + \gamma_2^h + \gamma_1^h \gamma_2^h)(4\gamma_2^h + \gamma_1^h(4 + 3\gamma_2^h))}{32\gamma_2^{h^2} + 16\gamma_1^h \gamma_2^h(4 + 5\gamma_2^h) + \gamma_1^{h^2}(32 + \gamma_2^h(80 + 39\gamma_2^h))} \\
 x_1^{f^{cce}} = x_2^{f^{cce}} &= \frac{\alpha(8\gamma_2^{h^2} + 2\gamma_1^h \gamma_2^h(8 + 11\gamma_2^h) + \gamma_1^{h^2}(8 + 11\gamma_2^h(2 + \gamma_2^h)))}{32\gamma_2^{h^2} + 16\gamma_1^h \gamma_2^h(4 + 5\gamma_2^h) + \gamma_1^{h^2}(32 + \gamma_2^h(80 + 39\gamma_2^h))} \\
 X_1^{cce} = X_2^{cce} &= \frac{\alpha(16\gamma_2^{h^2} + 4\gamma_1^h \gamma_2^h(8 + 9\gamma_2^h) + \gamma_1^{h^2}(16 + \gamma_2^h(36 + 17\gamma_2^h)))}{32\gamma_2^{h^2} + 16\gamma_1^h \gamma_2^h(4 + 5\gamma_2^h) + \gamma_1^{h^2}(32 + \gamma_2^h(80 + 39\gamma_2^h))} \\
 \gamma_1 a_1^{cce} = \gamma_2 a_2^{cce} &= \frac{2\alpha\gamma_1^h \gamma_2^h(8\gamma_2^h + \gamma_1^h(8 + 5\gamma_2^h))}{32\gamma_2^{h^2} + 16\gamma_1^h \gamma_2^h(4 + 5\gamma_2^h) + \gamma_1^{h^2}(32 + \gamma_2^h(80 + 39\gamma_2^h))} \\
 W^{h^{cce}} &= \frac{2\alpha^2(\gamma_1^h + \gamma_2^h + \gamma_1^h \gamma_2^h)(3\gamma_2^h + \gamma_1^h(3 + 2\gamma_2^h))}{32\gamma_2^{h^2} + 16\gamma_1^h \gamma_2^h(4 + 5\gamma_2^h) + \gamma_1^{h^2}(32 + \gamma_2^h(80 + 39\gamma_2^h))} \\
 W^{f^{cce}} &= \frac{\alpha^2(8\gamma_2^{h^2} + 2\gamma_1^h \gamma_2^h(8 + 11\gamma_2^h) + \gamma_1^{h^2}(8 + 11\gamma_2^h(2 + \gamma_2^h)))^2}{(32\gamma_2^{h^2} + 16\gamma_1^h \gamma_2^h(4 + 5\gamma_2^h) + \gamma_1^{h^2}(32 + \gamma_2^h(80 + 39\gamma_2^h)))^2} \\
 &\quad \alpha^2(8\gamma_2^h + \gamma_1^h(8 + 5\gamma_2^h))(16\gamma_2^{h^3} + 2\gamma_1^{h^2}\gamma_2^h(2 + \gamma_2^h)(12 + 17\gamma_2^h) \\
 &\quad \quad + 2\gamma_1^h \gamma_2^{h^2}(24 + 23\gamma_2^h) \\
 &\quad \quad + \gamma_1^{h^3}(16 + \gamma_2^h(46 + \gamma_2^h(34 + 7\gamma_2^h)))) \\
 W^{h^{cce}} - W^{f^{cce}} &= \frac{\quad}{(32\gamma_2^{h^2} + 16\gamma_1^h \gamma_2^h(4 + 5\gamma_2^h) + \gamma_1^{h^2}(32 + \gamma_2^h(80 + 39\gamma_2^h)))^2} > 0 \\
 x_i^{h^{cce}} - x_i^{f^{cce}} &= -\frac{\alpha\gamma_1^h \gamma_2^h(8\gamma_2^h + \gamma_1^h(8 + 5\gamma_2^h))}{32\gamma_2^{h^2} + 16\gamma_1^h \gamma_2^h(4 + 5\gamma_2^h) + \gamma_1^{h^2}(32 + \gamma_2^h(80 + 39\gamma_2^h))} < 0
 \end{aligned}$$

4.7.3 Appendice F

Le gouvernement étranger choisit de mettre en place une politique environnementale. Il crée un marché de permis d'émission négociables. Nous modifions le profit de l'entreprise étrangère du secteur i :

$$\pi_i^f \left(x_i^f, x_i^h, a_i^f, \bar{e}_i^f \right) = p_i(x_i^h, x_i^f)x_i^f - c_i^f(x_i^f) - \gamma_i^f A_i^f(a_i^f) - q^f \left[x_i^f - a_i^f - \bar{e}_i^f \right] \quad (\text{F1})$$

Etant donné que le processus de résolution est symétrique au cas du pays h , les effets de q^f sur x_i^h , x_i^f et a_i^f sont :

$$x_{iq^f}^h = -\frac{\pi_{ix_i^h x_i^f}^h}{H^e} > 0 \quad (\text{F2})$$

$$x_{iq^f}^f = \frac{\pi_{ix_i^h x_i^h}^h}{H^e} < 0 \quad (\text{F3})$$

$$a_{iq^f}^f = -\frac{1}{\pi_{ia_i^f a_i^f}^f} > 0 \quad (\text{F4})$$

Les commentaires sont également symétriques. Toutefois, les variables ne sont plus seulement fonction de q^h . Elles dépendent aussi de q^f : $x_i^h = f(q^h, q^f)$ et $x_i^f = f(q^h, q^f)$. Lorsque les conditions d'équilibre sur les marchés de PEN h et f sont vérifiées, l'équilibre de Nash en quantités devient :

$$\begin{aligned} x_i^h &= \frac{\alpha - q^h}{3} - \frac{\alpha - x_i^h - q^f}{9} \\ \iff \frac{8}{9}x_i^h &= \frac{2\alpha - 3q^h + q^f}{9} \\ \iff x_i^h &= \frac{2\alpha - 3q^h + q^f}{8} \end{aligned} \quad (\text{F5})$$

$$\begin{aligned} x_i^f &= \frac{\alpha - q^f}{3} - \frac{2\alpha - 3q^h + q^f}{24} \\ \iff x_i^f &= \frac{8\alpha - 8q^f}{24} - \frac{2\alpha - 3q^h + q^f}{24} \\ \iff x_i^f &= \frac{2\alpha - 3q^f + q^h}{8} \end{aligned} \quad (\text{F6})$$

Nous remplaçons ces valeurs dans les équations d'équilibre des marchés des permis domestique et étranger afin d'exprimer q^h en fonction de \bar{e}_i^h et q^f en fonction de \bar{e}_i^f .

$$\begin{aligned}
E^h = \bar{E}^h &\iff \sum_{i=1}^2 (x_i^h - a_i^h) = \sum_{i=1}^2 \bar{e}_i^h \\
&\iff 2 \times \frac{2\alpha - 3q^h + q^f}{8} - \sum_{i=1}^2 \left(\frac{q^h}{\gamma_i^h} \right) = \bar{E}^h \\
&\iff \frac{2\alpha - 3q^h + q^f}{4} - \frac{q^h}{\gamma_1^h} - \frac{q^h}{\gamma_2^h} = \bar{E}^h \\
&\iff -\frac{3\gamma_1^h \gamma_2^h q^h + 4\gamma_1^h q^h + 4\gamma_2^h q^h}{4\gamma_1^h \gamma_2^h} = \bar{E}^h - \frac{2\alpha + q^f}{4} \\
&\iff q^h \frac{3\gamma_1^h \gamma_2^h + 4\gamma_1^h + 4\gamma_2^h}{4\gamma_1^h \gamma_2^h} = \frac{2\alpha + q^f}{4} - \bar{E}^h \\
&\iff q^h = \frac{\left(2\alpha + q^f - 4\bar{E}^h \right) \gamma_1^h \gamma_2^h}{3\gamma_1^h \gamma_2^h + 4\gamma_1^h + 4\gamma_2^h} \tag{F7}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
E^f = \bar{E}^f &\iff \sum_{i=1}^2 (x_i^f - a_i^f) = \sum_{i=1}^2 \bar{e}_i^f \\
&\iff 2 \times \frac{2\alpha - 3q^f + q^h}{8} - \sum_{i=1}^2 \left(\frac{q^f}{\gamma_i^f} \right) = \bar{E}^f \\
&\iff \frac{2\alpha - 3q^f + q^h}{4} - \frac{q^f}{\gamma_1^f} - \frac{q^f}{\gamma_2^f} = \bar{E}^f \\
&\iff q^f = \frac{\left(2\alpha + q^h - 4\bar{E}^f \right) \gamma_1^f \gamma_2^f}{3\gamma_1^f \gamma_2^f + 4\gamma_1^f + 4\gamma_2^f} \tag{F8}
\end{aligned}$$

On substitue (F7) dans (F8) :

$$\begin{aligned}
q^f &= \frac{\left(2\alpha - 4\bar{E}^f\right) \gamma_1^f \gamma_2^f + \gamma_1^f \gamma_2^f \frac{\left(2\alpha + q^f - 4\bar{E}^h\right) \gamma_1^h \gamma_2^h}{3\gamma_1^h \gamma_2^h + 4\gamma_1^h + 4\gamma_2^h}}{3\gamma_1^f \gamma_2^f + 4\gamma_1^f + 4\gamma_2^f} \\
&\iff q^f - q^f \frac{\gamma_1^f \gamma_2^f \gamma_1^h \gamma_2^h}{\left(3\gamma_1^f \gamma_2^f + 4\gamma_1^f + 4\gamma_2^f\right) \left(3\gamma_1^h \gamma_2^h + 4\gamma_1^h + 4\gamma_2^h\right)} \\
&= \gamma_1^f \gamma_2^f \frac{\left(2\alpha - 4\bar{E}^f\right) + \frac{\left(2\alpha - 4\bar{E}^h\right) \gamma_1^h \gamma_2^h}{3\gamma_1^h \gamma_2^h + 4\gamma_1^h + 4\gamma_2^h}}{3\gamma_1^f \gamma_2^f + 4\gamma_1^f + 4\gamma_2^f} \\
&\iff q^f \left(\frac{\left(3\gamma_1^f \gamma_2^f + 4\gamma_1^f + 4\gamma_2^f\right) \left(3\gamma_1^h \gamma_2^h + 4\gamma_1^h + 4\gamma_2^h\right) - \gamma_1^f \gamma_2^f \gamma_1^h \gamma_2^h}{\left(3\gamma_1^f \gamma_2^f + 4\gamma_1^f + 4\gamma_2^f\right) \left(3\gamma_1^h \gamma_2^h + 4\gamma_1^h + 4\gamma_2^h\right)} \right) \\
&= \gamma_1^f \gamma_2^f \frac{\left(2\alpha - 4\bar{E}^f\right) \left(3\gamma_1^h \gamma_2^h + 4\gamma_1^h + 4\gamma_2^h\right) + \left(2\alpha - 4\bar{E}^h\right) \gamma_1^h \gamma_2^h}{\left(3\gamma_1^f \gamma_2^f + 4\gamma_1^f + 4\gamma_2^f\right) \left(3\gamma_1^h \gamma_2^h + 4\gamma_1^h + 4\gamma_2^h\right)} \\
&\iff q^f = \gamma_1^f \gamma_2^f \frac{\left(2\alpha - 4\bar{E}^f\right) \left(3\gamma_1^h \gamma_2^h + 4\gamma_1^h + 4\gamma_2^h\right) + \left(2\alpha - 4\bar{E}^h\right) \gamma_1^h \gamma_2^h}{\left(3\gamma_1^f \gamma_2^f + 4\gamma_1^f + 4\gamma_2^f\right) \left(3\gamma_1^h \gamma_2^h + 4\gamma_1^h + 4\gamma_2^h\right) - \gamma_1^f \gamma_2^f \gamma_1^h \gamma_2^h} \\
&\iff q^f = \gamma_1^f \gamma_2^f \frac{\left(2\alpha - 4\bar{E}^f\right) \kappa^h + \left(2\alpha - 4\bar{E}^h\right) \gamma_1^h \gamma_2^h}{\kappa^h \kappa^f - \gamma_1^f \gamma_2^f \gamma_1^h \gamma_2^h} \tag{F9}
\end{aligned}$$

avec $\kappa^h = (3\gamma_1^h \gamma_2^h + 4\gamma_1^h + 4\gamma_2^h)$ et $\kappa^f = (3\gamma_1^f \gamma_2^f + 4\gamma_1^f + 4\gamma_2^f)$. D'où,

$$q^h = \gamma_1^h \gamma_2^h \frac{\left(2\alpha - 4\bar{E}^h\right) \left(3\gamma_1^f \gamma_2^f + 4\gamma_1^f + 4\gamma_2^f\right) + \left(2\alpha - 4\bar{E}^f\right) \gamma_1^f \gamma_2^f}{\left(3\gamma_1^f \gamma_2^f + 4\gamma_1^f + 4\gamma_2^f\right) \left(3\gamma_1^h \gamma_2^h + 4\gamma_1^h + 4\gamma_2^h\right) - \gamma_1^f \gamma_2^f \gamma_1^h \gamma_2^h}$$

$$\Leftrightarrow q^h = \gamma_1^h \gamma_2^h \frac{\left(2\alpha - 4\bar{E}^h\right) \kappa^f + \left(2\alpha - 4\bar{E}^f\right) \gamma_1^f \gamma_2^f}{\kappa^h \kappa^f - \gamma_1^f \gamma_2^f \gamma_1^h \gamma_2^h} \quad (\text{F10})$$

κ^h et κ^f sont sans ambiguïté positifs. Ainsi, toute variation du nombre de permis alloués a une conséquence inverse sur le prix des permis puisque $\frac{dq^h}{d\bar{E}^h} = -\kappa^h < 0$. Dans la situation de politiques bilatérales, q^h dépend de \bar{E}^h mais aussi de \bar{E}^f .

L'impact de la création d'un tel marché sur le bien-être domestique est modifié par rapport à la situation où seules les autorités du pays h interviennent. Nous observons les effets de \bar{E}^h sur le bien-être en dérivant $W^h \left(\bar{E}^h \right)$ par rapport à \bar{E}^h .

$$\begin{aligned} W_{\bar{E}^h}^h = 0 &\Leftrightarrow \sum_{i=1}^2 \frac{d\pi_i^h}{d\bar{E}^h} - D_{E^h}^h \left[\sum_{i=1}^2 \left(x_{i\bar{E}^h}^h - a_{i\bar{E}^h}^h \right) \right] = 0 \\ &\Leftrightarrow \sum_{i=1}^2 \left(\begin{aligned} & -x_i^h x_{i\bar{E}^h}^f \\ & + \frac{4\kappa^f \gamma_1^h \gamma_2^h}{\kappa^h \kappa^f - \gamma_1^f \gamma_2^f \gamma_1^h \gamma_2^h} \left(x_i^h - a_i^h - \bar{e}_i^h \right) \end{aligned} \right) \\ & + \varphi_i \gamma_1^h \gamma_2^h \frac{\left(2\alpha - 4\bar{E}^h\right) \kappa^f + \left(2\alpha - 4\bar{E}^f\right) \gamma_1^f \gamma_2^f}{\kappa^h \kappa^f - \gamma_1^f \gamma_2^f \gamma_1^h \gamma_2^h} \\ & + (1 - \varphi_i) \gamma_1^h \gamma_2^h \frac{\left(2\alpha - 4\bar{E}^h\right) \kappa^f + \left(2\alpha - 4\bar{E}^f\right) \gamma_1^f \gamma_2^f}{\kappa^h \kappa^f - \gamma_1^f \gamma_2^f \gamma_1^h \gamma_2^h} \\ & - D_{E^h}^h \left[\sum_{i=1}^2 \left(x_{i\bar{E}^h}^h - a_{i\bar{E}^h}^h \right) \right] = 0 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & \Leftrightarrow \sum_{i=1}^2 \left(\begin{array}{c} -x_i^h x_{i\bar{E}^h}^f \\ + \frac{4\kappa^f \gamma_1^h \gamma_2^h}{\kappa^h \kappa^f - \gamma_1^f \gamma_2^f \gamma_1^h \gamma_2^h} (x_i^h - a_i^h) \end{array} \right) \\ & + \gamma_1^h \gamma_2^h \frac{2\alpha \kappa^f + (2\alpha - 4\bar{E}^f) \gamma_1^f \gamma_2^f}{\kappa^h \kappa^f - \gamma_1^f \gamma_2^f \gamma_1^h \gamma_2^h} \\ & - D_{E^h}^h \left[\sum_{i=1}^2 \left(x_{i\bar{E}^h}^h - a_{i\bar{E}^h}^h \right) \right] = \frac{8\kappa^f \gamma_1^h \gamma_2^h}{\kappa^h \kappa^f - \gamma_1^f \gamma_2^f \gamma_1^h \gamma_2^h} \bar{E}^h \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Leftrightarrow \bar{E}^h &= \frac{\kappa^h \kappa^f - \gamma_1^f \gamma_2^f \gamma_1^h \gamma_2^h}{8\kappa^f \gamma_1^h \gamma_2^h} \left(\begin{array}{c} \sum_{i=1}^2 \left(-x_i^h x_{i\bar{E}^h}^f \right) \\ - D_{E^h}^h \left[\sum_{i=1}^2 \left(x_{i\bar{E}^h}^h - a_{i\bar{E}^h}^h \right) \right] \end{array} \right) \quad (\text{F11}) \\ & + \frac{2\alpha \kappa^f + (2\alpha - 4\bar{E}^f) \gamma_1^f \gamma_2^f}{8\kappa^f} + \frac{1}{2} \sum_{i=1}^2 (x_i^h - a_i^h) \end{aligned}$$

Par symétrie, le plafond d'émission optimal du pays f en fonction du pays h s'écrit :

$$\begin{aligned} \bar{E}^f &= \frac{\kappa^h \kappa^f - \gamma_1^f \gamma_2^f \gamma_1^h \gamma_2^h}{8\kappa^h \gamma_1^f \gamma_2^f} \left(\begin{array}{c} \sum_{i=1}^2 \left(-x_i^f x_{i\bar{E}^f}^h \right) \\ - D_{E^f}^f \left[\sum_{i=1}^2 \left(x_{i\bar{E}^f}^f - a_{i\bar{E}^f}^f \right) \right] \end{array} \right) \quad (\text{F12}) \\ & + \frac{2\alpha \kappa^h + (2\alpha - 4\bar{E}^h) \gamma_1^h \gamma_2^h}{8\kappa^h} + \frac{1}{2} \sum_{i=1}^2 (x_i^f - a_i^f) \end{aligned}$$

Par substitution de (F11) dans (F12), nous avons le niveau optimal de permis offert par le pays f puis par le pays h :

$$\begin{aligned}
\bar{E}^f &= \frac{\kappa^h \kappa^f - \gamma_1^f \gamma_2^f \gamma_1^h \gamma_2^h}{8\kappa^h \gamma_1^f \gamma_2^f} \left(\begin{array}{c} \sum_{i=1}^2 (-x_i^f x_{i\bar{E}^f}^h) \\ -D_{E^f}^f \left[\sum_{i=1}^2 (x_{i\bar{E}^f}^f - a_{i\bar{E}^f}^f) \right] \end{array} \right) \\
&\quad + \alpha \frac{\kappa^h + \gamma_1^h \gamma_2^h}{4\kappa^h} + \frac{1}{2} \sum_{i=1}^2 (x_i^f - a_i^f) \\
&- \frac{\gamma_1^h \gamma_2^h}{2\kappa^h} \left[\frac{\kappa^h \kappa^f - \gamma_1^f \gamma_2^f \gamma_1^h \gamma_2^h}{8\kappa^f \gamma_1^h \gamma_2^h} \left(\begin{array}{c} \sum_{i=1}^2 (-x_i^h x_{i\bar{E}^h}^f) \\ -D_{E^h}^h \left[\sum_{i=1}^2 (x_{i\bar{E}^h}^h - a_{i\bar{E}^h}^h) \right] \end{array} \right) \right] \\
&- \frac{\gamma_1^h \gamma_2^h}{2\kappa^h} \left[\frac{2\alpha \kappa^f + (2\alpha - 4\bar{E}^f) \gamma_1^f \gamma_2^f}{8\kappa^f} + \frac{1}{2} \sum_{i=1}^2 (x_i^h - a_i^h) \right]
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\iff \bar{E}^f &= \frac{\kappa^h \kappa^f - \gamma_1^f \gamma_2^f \gamma_1^h \gamma_2^h}{8\kappa^h \gamma_1^f \gamma_2^f} \left(\begin{array}{c} \sum_{i=1}^2 (-x_i^f x_{i\bar{E}^f}^h) \\ -D_{E^f}^f \left[\sum_{i=1}^2 (x_{i\bar{E}^f}^f - a_{i\bar{E}^f}^f) \right] \end{array} \right) \\
&\quad + \alpha \frac{\kappa^h + \gamma_1^h \gamma_2^h}{4\kappa^h} + \frac{1}{2} \sum_{i=1}^2 (x_i^f - a_i^f) \\
&- \frac{\kappa^h \kappa^f - \gamma_1^f \gamma_2^f \gamma_1^h \gamma_2^h}{16\kappa^h \kappa^f} \left(\begin{array}{c} \sum_{i=1}^2 (-x_i^h x_{i\bar{E}^h}^f) \\ -D_{E^h}^h \left[\sum_{i=1}^2 (x_{i\bar{E}^h}^h - a_{i\bar{E}^h}^h) \right] \end{array} \right) \\
&- \frac{\gamma_1^h \gamma_2^h}{2\kappa^h} \left[\alpha \frac{\kappa^f + \gamma_1^f \gamma_2^f}{4\kappa^f} + \frac{1}{2} \sum_{i=1}^2 (x_i^h - a_i^h) \right] \\
&\quad + \left[\frac{\bar{E}^f \gamma_1^f \gamma_2^f \gamma_1^h \gamma_2^h}{4\kappa^h \kappa^f} \right]
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\iff \bar{E}^f \left[\frac{4\kappa^h \kappa^f - \gamma_1^f \gamma_2^f \gamma_1^h \gamma_2^h}{4\kappa^h \kappa^f} \right] &= \frac{\kappa^h \kappa^f - \gamma_1^f \gamma_2^f \gamma_1^h \gamma_2^h}{8\kappa^h \gamma_1^f \gamma_2^f} \left(\begin{array}{c} \sum_{i=1}^2 \left(-x_i^f x_{i\bar{E}^f}^h \right) \\ -D_{E^f}^f \left[\sum_{i=1}^2 \left(x_{i\bar{E}^f}^f - a_{i\bar{E}^f}^f \right) \right] \end{array} \right) \\
&+ \alpha \frac{\kappa^h + \gamma_1^h \gamma_2^h}{4\kappa^h} + \frac{1}{2} \sum_{i=1}^2 \left(x_i^f - a_i^f \right) \\
&- \frac{\kappa^h \kappa^f - \gamma_1^f \gamma_2^f \gamma_1^h \gamma_2^h}{16\kappa^h \kappa^f} \left(\begin{array}{c} \sum_{i=1}^2 \left(-x_i^h x_{i\bar{E}^h}^f \right) \\ -D_{E^h}^h \left[\sum_{i=1}^2 \left(x_{i\bar{E}^h}^h - a_{i\bar{E}^h}^h \right) \right] \end{array} \right) \\
&- \frac{\gamma_1^h \gamma_2^h}{2\kappa^h} \left[\alpha \frac{\kappa^f + \gamma_1^f \gamma_2^f}{4\kappa^f} + \frac{1}{2} \sum_{i=1}^2 \left(x_i^h - a_i^h \right) \right] \\
\iff \bar{E}^f &= \frac{\kappa^f \left(\kappa^h \kappa^f - \gamma_1^f \gamma_2^f \gamma_1^h \gamma_2^h \right)}{2\gamma_1^f \gamma_2^f \left(4\kappa^h \kappa^f - \gamma_1^f \gamma_2^f \gamma_1^h \gamma_2^h \right)} \left(\begin{array}{c} \sum_{i=1}^2 \left(-x_i^f x_{i\bar{E}^f}^h \right) \\ -D_{E^f}^f \left[\sum_{i=1}^2 \left(x_{i\bar{E}^f}^f - a_{i\bar{E}^f}^f \right) \right] \end{array} \right) \\
&\tag{F13}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
&+ \alpha \frac{\kappa^f \left(\kappa^h + \gamma_1^h \gamma_2^h \right)}{\left(4\kappa^h \kappa^f - \gamma_1^f \gamma_2^f \gamma_1^h \gamma_2^h \right)} + \frac{2\kappa^h \kappa^f}{4\kappa^h \kappa^f - \gamma_1^f \gamma_2^f \gamma_1^h \gamma_2^h} \sum_{i=1}^2 \left(x_i^f - a_i^f \right) \\
&- \frac{\kappa^h \kappa^f - \gamma_1^f \gamma_2^f \gamma_1^h \gamma_2^h}{4 \left(4\kappa^h \kappa^f - \gamma_1^f \gamma_2^f \gamma_1^h \gamma_2^h \right)} \left(\begin{array}{c} \sum_{i=1}^2 \left(-x_i^h x_{i\bar{E}^h}^f \right) \\ -D_{E^h}^h \left[\sum_{i=1}^2 \left(x_{i\bar{E}^h}^h - a_{i\bar{E}^h}^h \right) \right] \end{array} \right) \\
&- \frac{2\kappa^f \gamma_1^h \gamma_2^h}{\left(4\kappa^h \kappa^f - \gamma_1^f \gamma_2^f \gamma_1^h \gamma_2^h \right)} \left[\alpha \frac{\kappa^f + \gamma_1^f \gamma_2^f}{4\kappa^f} + \frac{1}{2} \sum_{i=1}^2 \left(x_i^h - a_i^h \right) \right]
\end{aligned}$$

De manière symétrique, \bar{E}^h est donné par :

$$\begin{aligned}
\bar{E}^h = & \frac{\kappa^h \left(\kappa^h \kappa^f - \gamma_1^f \gamma_2^f \gamma_1^h \gamma_2^h \right)}{2\gamma_1^h \gamma_2^h \left(4\kappa^h \kappa^f - \gamma_1^f \gamma_2^f \gamma_1^h \gamma_2^h \right)} \left(\begin{array}{c} \sum_{i=1}^2 \left(-x_i^h x_{i\bar{E}^h}^f \right) \\ -D_{E^h}^h \left[\sum_{i=1}^2 \left(x_{i\bar{E}^h}^h - a_{i\bar{E}^h}^h \right) \right] \end{array} \right) \\
& + \alpha \frac{\kappa^h \left(\kappa^f + \gamma_1^f \gamma_2^f \right)}{\left(4\kappa^h \kappa^f - \gamma_1^f \gamma_2^f \gamma_1^h \gamma_2^h \right)} + \frac{2\kappa^h \kappa^f}{4\kappa^h \kappa^f - \gamma_1^f \gamma_2^f \gamma_1^h \gamma_2^h} \sum_{i=1}^2 \left(x_i^h - a_i^h \right) \\
& - \frac{\kappa^h \kappa^f - \gamma_1^f \gamma_2^f \gamma_1^h \gamma_2^h}{4 \left(4\kappa^h \kappa^f - \gamma_1^f \gamma_2^f \gamma_1^h \gamma_2^h \right)} \left(\begin{array}{c} \sum_{i=1}^2 \left(-x_i^f x_{i\bar{E}^f}^h \right) \\ -D_{E^f}^f \left[\sum_{i=1}^2 \left(x_{i\bar{E}^f}^f - a_{i\bar{E}^f}^f \right) \right] \end{array} \right) \\
& - \frac{2\kappa^h \gamma_1^f \gamma_2^f}{\left(4\kappa^h \kappa^f - \gamma_1^f \gamma_2^f \gamma_1^h \gamma_2^h \right)} \left[\alpha \frac{\kappa^h + \gamma_1^h \gamma_2^h}{4\kappa^h} + \frac{1}{2} \sum_{i=1}^2 \left(x_i^f - a_i^f \right) \right]
\end{aligned} \tag{F14}$$

(F14) se réécrit de la manière suivante :

$$\begin{aligned}
\bar{E}^{h^{bi}} = & \frac{\alpha \gamma_1^h \gamma_2^h (3\gamma_2^f + \gamma_1^f (3 + 2\gamma_2^f)) (3\gamma_2^h + \gamma_1^h (3 + 2\gamma_2^h))}{\left(\begin{aligned} & 2\gamma_2^{f^2} (4\gamma_2^h + \gamma_1^h (4 + 3\gamma_2^h)) \\ & + 2\gamma_1^f \gamma_2^f \left((8 + 11\gamma_2^f) \gamma_2^h + \gamma_1^h (8 + 11\gamma_2^f + 6\gamma_2^h + 8\gamma_2^f \gamma_2^h) \right) \\ & + \gamma_1^{f^2} \left(\begin{aligned} & (8 + 11\gamma_2^f (2 + \gamma_2^f)) \gamma_2^h \\ & + \gamma_1^h (8 + 6\gamma_2^h + \gamma_2^f (2 + \gamma_2^f) (11 + 8\gamma_2^h)) \end{aligned} \right) \end{aligned} \right)} \\
& \left(4\gamma_2^f + \gamma_1^f (4 + 3\gamma_2^f) \right) \left(\begin{aligned} & 32\gamma_2^{f^2} + 16\gamma_1^f \gamma_2^f (4 + 5\gamma_2^f) \\ & + \gamma_1^{f^2} (32 + \gamma_2^f (80 + 39\gamma_2^f)) \end{aligned} \right) \gamma_1^{h^3} \\
& + \gamma_1^{h^2} \gamma_2^h \left(\begin{aligned} & 3 (4\gamma_2^f + \gamma_1^f (4 + 3\gamma_2^f)) \left(\begin{aligned} & 32\gamma_2^{f^2} + 16\gamma_1^f \gamma_2^f (4 + 5\gamma_2^f) \\ & + \gamma_1^{f^2} (32 + \gamma_2^f (80 + 39\gamma_2^f)) \end{aligned} \right) \\ & + \left(\begin{aligned} & 416\gamma_2^{f^3} + 16\gamma_1^f \gamma_2^{f^2} (78 + 83\gamma_2^f) \\ & + \gamma_1^{f^2} \gamma_2^f (1248 + 83\gamma_2^f (32 + 15\gamma_2^f)) \\ & + \gamma_1^{f^3} (416 + \gamma_2^f (1328 + 3\gamma_2^f (415 + 121\gamma_2^f))) \end{aligned} \right) \gamma_1^h \end{aligned} \right) + \\
& \left(\begin{aligned} & 3 (4\gamma_2^f + \gamma_1^f (4 + 3\gamma_2^f)) \left(\begin{aligned} & 32\gamma_2^{f^2} + 16\gamma_1^f \gamma_2^f (4 + 5\gamma_2^f) \\ & + \gamma_1^{f^2} (32 + \gamma_2^f (80 + 39\gamma_2^f)) \end{aligned} \right) + \\ & 2 \left(\begin{aligned} & 416\gamma_2^{f^3} + 16\gamma_1^f \gamma_2^{f^2} (78 + 83\gamma_2^f) \\ & + \gamma_1^{f^2} \gamma_2^f (1248 + 83\gamma_2^f (32 + 15\gamma_2^f)) \\ & + \gamma_1^{f^3} (416 + \gamma_2^f (1328 + 3\gamma_2^f (415 + 121\gamma_2^f))) \end{aligned} \right) \gamma_1^h + \\ & (3\gamma_2^f + \gamma_1^f (3 + 2\gamma_2^f)) \left(\begin{aligned} & 132\gamma_2^{f^2} + 3\gamma_1^f \gamma_2^f (88 + 109\gamma_2^f) \\ & + \gamma_1^{f^2} (132 + \gamma_2^f (327 + 167\gamma_2^f)) \end{aligned} \right) \gamma_1^{h^2} \end{aligned} \right) \\
& + \gamma_2^{h^3} \left(\begin{aligned} & \gamma_2^{f^3} (4 + 3\gamma_1^h) (32 + \gamma_1^h (80 + 39\gamma_1^h)) + \\ & \gamma_1^f \gamma_2^{f^2} \left(\begin{aligned} & 3 (4 + 3\gamma_1^h) (32 + \gamma_1^h (80 + 39\gamma_1^h)) + \\ & \gamma_2^f (416 + \gamma_1^h (1328 + 3\gamma_1^h (415 + 121\gamma_1^h))) \end{aligned} \right) + \\ & \gamma_1^{f^3} \left(\begin{aligned} & (4 + 3\gamma_1^h) (32 + \gamma_1^h (80 + 39\gamma_1^h)) \\ & + \gamma_2^{f^3} (3 + 2\gamma_1^h) (39 + \gamma_1^h (95 + 48\gamma_1^h)) + \\ & \gamma_2^{f^2} (3 + 2\gamma_1^h) (132 + \gamma_1^h (327 + 167\gamma_1^h)) \\ & + \gamma_2^f (416 + \gamma_1^h (1328 + 3\gamma_1^h (415 + 121\gamma_1^h))) \end{aligned} \right) + \\ & \gamma_1^{f^2} \gamma_2^f \left(\begin{aligned} & 3 (4 + 3\gamma_1^h) (32 + \gamma_1^h (80 + 39\gamma_1^h)) + \\ & \gamma_2^{f^2} (3 + 2\gamma_1^h) (132 + \gamma_1^h (327 + 167\gamma_1^h)) \\ & + \gamma_2^f (832 + 2\gamma_1^h (1328 + 3\gamma_1^h (415 + 121\gamma_1^h))) \end{aligned} \right) \end{aligned} \right)
\end{aligned}$$

4.7.4 Appendice G

$$\frac{d\Omega}{d\bar{E}^h} = 0 \iff W_{\bar{E}^h}^h + W_{\bar{E}^h}^f = 0$$

$$\begin{aligned} \iff \bar{E}^h &= \frac{\kappa^h \kappa^f - \gamma_1^f \gamma_2^f \gamma_1^h \gamma_2^h}{8\kappa^f \gamma_1^h \gamma_2^h} \left(\begin{array}{c} \sum_{i=1}^2 \left(-x_i^h x_{i\bar{E}^h}^f \right) \\ -D_{E^h}^h \left[\sum_{i=1}^2 \left(x_{i\bar{E}^h}^h - a_{i\bar{E}^h}^h \right) \right] \end{array} \right) \\ &+ \frac{\kappa^h \kappa^f - \gamma_1^f \gamma_2^f \gamma_1^h \gamma_2^h}{8\kappa^f \gamma_1^h \gamma_2^h} \left[\sum_{i=1}^2 \left(-x_i^f x_{i\bar{E}^h}^h \right) - D_{E^f}^f x_{i\bar{E}^h}^f \right] \\ &+ \frac{2\alpha \kappa^f + \left(2\alpha - 4\bar{E}^f \right) \gamma_1^f \gamma_2^f}{8\kappa^f} + \frac{1}{2} \sum_{i=1}^2 \left(x_i^h - a_i^h \right) \end{aligned} \quad (\text{G1})$$

$$\frac{d\Omega}{d\bar{E}^f} = 0 \iff W_{\bar{E}^f}^h + W_{\bar{E}^f}^f = 0$$

$$\begin{aligned} \iff \bar{E}^f &= \frac{\kappa^h \kappa^f - \gamma_1^f \gamma_2^f \gamma_1^h \gamma_2^h}{8\kappa^h \gamma_1^f \gamma_2^f} \left(\begin{array}{c} \sum_{i=1}^2 \left(-x_i^f x_{i\bar{E}^f}^h \right) \\ -D_{E^f}^f \left[\sum_{i=1}^2 \left(x_{i\bar{E}^f}^f - a_{i\bar{E}^f}^f \right) \right] \end{array} \right) \\ &+ \frac{\kappa^h \kappa^f - \gamma_1^f \gamma_2^f \gamma_1^h \gamma_2^h}{8\kappa^h \gamma_1^f \gamma_2^f} \left(\sum_{i=1}^2 \left(-x_i^h x_{i\bar{E}^f}^f \right) - D_{E^h}^h x_{i\bar{E}^f}^h \right) \\ &+ \frac{2\alpha \kappa^h + \left(2\alpha - 4\bar{E}^h \right) \gamma_1^h \gamma_2^h}{8\kappa^h} + \frac{1}{2} \sum_{i=1}^2 \left(x_i^f - a_i^f \right) \end{aligned} \quad (\text{G2})$$

Nous substituons (G1) dans (G2) :

$$\begin{aligned}
\bar{E}^f &= \frac{\kappa^h \kappa^f - \gamma_1^f \gamma_2^f \gamma_1^h \gamma_2^h}{8\kappa^h \gamma_1^f \gamma_2^f} \left(\begin{aligned} &\sum_{i=1}^2 \left(-x_i^f x_{i\bar{E}^f}^h \right) \\ &-D_{E^f}^f \left[\sum_{i=1}^2 \left(x_{i\bar{E}^f}^f - a_{i\bar{E}^f}^f \right) \right] \end{aligned} \right) \\
&+ \frac{\kappa^h \kappa^f - \gamma_1^f \gamma_2^f \gamma_1^h \gamma_2^h}{8\kappa^h \gamma_1^f \gamma_2^f} \left(\begin{aligned} &\sum_{i=1}^2 \left(-x_i^h x_{i\bar{E}^f}^f \right) - D_{E^h}^h x_{i\bar{E}^f}^h \end{aligned} \right) \\
&\quad + \alpha \frac{\kappa^h + \gamma_1^h \gamma_2^h}{4\kappa^h} + \frac{1}{2} \sum_{i=1}^2 \left(x_i^f - a_i^f \right) \\
&- \frac{\kappa^h \kappa^f - \gamma_1^f \gamma_2^f \gamma_1^h \gamma_2^h}{16\kappa^h \kappa^f} \left(\begin{aligned} &\sum_{i=1}^2 \left(-x_i^h x_{i\bar{E}^h}^f \right) \\ &-D_{E^h}^h \left[\sum_{i=1}^2 \left(x_{i\bar{E}^h}^h - a_{i\bar{E}^h}^h \right) \right] \end{aligned} \right) \\
&\quad - \frac{\kappa^h \kappa^f - \gamma_1^f \gamma_2^f \gamma_1^h \gamma_2^h}{16\kappa^h \kappa^f} \left[\sum_{i=1}^2 -x_i^f x_{i\bar{E}^h}^h - D_{E^f}^f x_{i\bar{E}^h}^f \right] \\
&- \frac{2\alpha \kappa^f + \left(2\alpha - 4\bar{E}^f \right) \gamma_1^f \gamma_2^f}{16\kappa^h \kappa^f} + \frac{\gamma_1^h \gamma_2^h}{4\kappa^h} \sum_{i=1}^2 \left(x_i^h - a_i^h \right)
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
&\iff \bar{E}^f \left(\frac{4\kappa^h \kappa^f - \gamma_1^f \gamma_2^f \gamma_1^h \gamma_2^h}{4\kappa^h \kappa^f} \right) = \\
&\frac{\kappa^h \kappa^f - \gamma_1^f \gamma_2^f \gamma_1^h \gamma_2^h}{8\kappa^h \gamma_1^f \gamma_2^f} \left(\begin{array}{c} \sum_{i=1}^2 \left(-x_i^f x_{i\bar{E}^f}^h \right) \\ -D_{E^f}^f \left[\sum_{i=1}^2 \left(x_{i\bar{E}^f}^f - a_{i\bar{E}^f}^f \right) \right] \end{array} \right) \\
&+ \frac{\kappa^h \kappa^f - \gamma_1^f \gamma_2^f \gamma_1^h \gamma_2^h}{8\kappa^h \gamma_1^f \gamma_2^f} \left(\sum_{i=1}^2 \left(-x_i^h x_{i\bar{E}^f}^f \right) - D_{E^h}^h x_{i\bar{E}^f}^h \right) \\
&\quad + \alpha \frac{\kappa^h + \gamma_1^h \gamma_2^h}{4\kappa^h} + \frac{1}{2} \sum_{i=1}^2 \left(x_i^f - a_i^f \right) \\
&- \frac{\kappa^h \kappa^f - \gamma_1^f \gamma_2^f \gamma_1^h \gamma_2^h}{16\kappa^h \kappa^f} \left(\begin{array}{c} \sum_{i=1}^2 \left(-x_i^h x_{i\bar{E}^h}^f \right) \\ -D_{E^h}^h \left[\sum_{i=1}^2 \left(x_{i\bar{E}^h}^h - a_{i\bar{E}^h}^h \right) \right] \end{array} \right) \\
&- \frac{\kappa^h \kappa^f - \gamma_1^f \gamma_2^f \gamma_1^h \gamma_2^h}{16\kappa^h \kappa^f} \left[\sum_{i=1}^2 -x_i^f x_{i\bar{E}^h}^h - D_{E^f}^f x_{i\bar{E}^h}^f \right] \\
&- \gamma_1^h \gamma_2^h \alpha \frac{\kappa^f + \gamma_1^f \gamma_2^f}{8\kappa^h \kappa^f} + \frac{\gamma_1^h \gamma_2^h}{4\kappa^h} \sum_{i=1}^2 \left(x_i^h - a_i^h \right)
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\iff \bar{E}^f &= \frac{\kappa^f \left(\kappa^h \kappa^f - \gamma_1^f \gamma_2^f \gamma_1^h \gamma_2^h \right)}{2\gamma_1^f \gamma_2^f \left(4\kappa^h \kappa^f - \gamma_1^h \gamma_2^h \gamma_1^f \gamma_2^f \right)} \left(\begin{array}{c} \sum_{i=1}^2 \left(-x_i^f x_{i\bar{E}^f}^h \right) \\ -D_{E^f}^f \left[\sum_{i=1}^2 \left(x_{i\bar{E}^f}^f - a_{i\bar{E}^f}^f \right) \right] \end{array} \right) \\
&+ \frac{\kappa^f \left(\kappa^h \kappa^f - \gamma_1^f \gamma_2^f \gamma_1^h \gamma_2^h \right)}{2\gamma_1^f \gamma_2^f \left(4\kappa^h \kappa^f - \gamma_1^h \gamma_2^h \gamma_1^f \gamma_2^f \right)} \left(\sum_{i=1}^2 \left(-x_i^h x_{i\bar{E}^f}^f \right) - D_{E^h}^h x_{i\bar{E}^f}^h \right) \\
&+ \alpha \kappa^f \frac{\kappa^h + \gamma_1^h \gamma_2^h}{\left(4\kappa^h \kappa^f - \gamma_1^h \gamma_2^h \gamma_1^f \gamma_2^f \right)} + \frac{2\kappa^h \kappa^f}{4\kappa^h \kappa^f - \gamma_1^h \gamma_2^h \gamma_1^f \gamma_2^f} \sum_{i=1}^2 \left(x_i^f - a_i^f \right) \\
&- \frac{\kappa^h \kappa^f - \gamma_1^f \gamma_2^f \gamma_1^h \gamma_2^h}{4 \left(4\kappa^h \kappa^f - \gamma_1^h \gamma_2^h \gamma_1^f \gamma_2^f \right)} \left(\begin{array}{c} \sum_{i=1}^2 \left(-x_i^h x_{i\bar{E}^h}^f \right) \\ -D_{E^h}^h \left[\sum_{i=1}^2 \left(x_{i\bar{E}^h}^h - a_{i\bar{E}^h}^h \right) \right] \end{array} \right) \\
&- \frac{\kappa^h \kappa^f - \gamma_1^f \gamma_2^f \gamma_1^h \gamma_2^h}{4 \left(4\kappa^h \kappa^f - \gamma_1^h \gamma_2^h \gamma_1^f \gamma_2^f \right)} \left[\sum_{i=1}^2 -x_i^f x_{i\bar{E}^h}^h - D_{E^f}^f x_{i\bar{E}^h}^f \right] \\
&- \gamma_1^h \gamma_2^h \alpha \frac{\kappa^f + \gamma_1^f \gamma_2^f}{2 \left(4\kappa^h \kappa^f - \gamma_1^h \gamma_2^h \gamma_1^f \gamma_2^f \right)} + \frac{\kappa^f \gamma_1^h \gamma_2^h}{\left(4\kappa^h \kappa^f - \gamma_1^h \gamma_2^h \gamma_1^f \gamma_2^f \right)} \sum_{i=1}^2 \left(x_i^h - a_i^h \right)
\end{aligned} \tag{G3}$$

Et,

$$\begin{aligned}
\bar{E}^h = & \frac{\kappa^h \left(\kappa^h \kappa^f - \gamma_1^f \gamma_2^f \gamma_1^h \gamma_2^h \right)}{2\gamma_1^h \gamma_2^h \left(4\kappa^h \kappa^f - \gamma_1^h \gamma_2^h \gamma_1^f \gamma_2^f \right)} \left(\begin{array}{c} \sum_{i=1}^2 \left(-x_i^h x_{i\bar{E}^h}^f \right) \\ -D_{E^h}^h \left[\sum_{i=1}^2 \left(x_{i\bar{E}^h}^h - a_{i\bar{E}^h}^h \right) \right] \end{array} \right) \quad (\text{G4}) \\
& + \frac{\kappa^h \left(\kappa^h \kappa^f - \gamma_1^f \gamma_2^f \gamma_1^h \gamma_2^h \right)}{2\gamma_1^h \gamma_2^h \left(4\kappa^h \kappa^f - \gamma_1^h \gamma_2^h \gamma_1^f \gamma_2^f \right)} \left(\sum_{i=1}^2 \left(-x_i^f x_{i\bar{E}^h}^h \right) - D_{E^f}^f x_{i\bar{E}^h}^f \right) \\
& + \alpha \kappa^h \frac{\kappa^f + \gamma_1^f \gamma_2^f}{\left(4\kappa^h \kappa^f - \gamma_1^h \gamma_2^h \gamma_1^f \gamma_2^f \right)} + \frac{2\kappa^h \kappa^f}{4\kappa^h \kappa^f - \gamma_1^h \gamma_2^h \gamma_1^f \gamma_2^f} \sum_{i=1}^2 \left(x_i^h - a_i^h \right) \\
& - \frac{\kappa^h \kappa^f - \gamma_1^f \gamma_2^f \gamma_1^h \gamma_2^h}{4 \left(4\kappa^h \kappa^f - \gamma_1^h \gamma_2^h \gamma_1^f \gamma_2^f \right)} \left(\begin{array}{c} \sum_{i=1}^2 \left(-x_i^f x_{i\bar{E}^f}^h \right) \\ -D_{E^f}^f \left[\sum_{i=1}^2 \left(x_{i\bar{E}^f}^f - a_{i\bar{E}^f}^f \right) \right] \end{array} \right) \\
& - \frac{\kappa^h \kappa^f - \gamma_1^f \gamma_2^f \gamma_1^h \gamma_2^h}{4 \left(4\kappa^h \kappa^f - \gamma_1^h \gamma_2^h \gamma_1^f \gamma_2^f \right)} \left[\sum_{i=1}^2 -x_i^h x_{i\bar{E}^f}^f - D_{E^h}^h x_{i\bar{E}^f}^h \right] \\
& - \gamma_1^f \gamma_2^f \alpha \frac{\kappa^h + \gamma_1^h \gamma_2^h}{2 \left(4\kappa^h \kappa^f - \gamma_1^h \gamma_2^h \gamma_1^f \gamma_2^f \right)} + \frac{\kappa^h \gamma_1^f \gamma_2^f}{\left(4\kappa^h \kappa^f - \gamma_1^h \gamma_2^h \gamma_1^f \gamma_2^f \right)} \sum_{i=1}^2 \left(x_i^f - a_i^f \right)
\end{aligned}$$

De manière explicite \bar{E}^{hcoop} est donnée par :

$$\bar{E}^{hcoop} = \frac{\alpha \gamma_1^h \gamma_2^h \left(3\gamma_2^f + \gamma_1^f (3 + 2\gamma_2^f) \right) \times \left(\begin{array}{l} 2\gamma_2^f \gamma_1^h + \gamma_1^f \gamma_1^h (2 + 5\gamma_2^f) + \gamma_2^f \gamma_2^h (2 + \gamma_1^h) \\ + \gamma_1^f \gamma_2^h (2 + \gamma_1^h + \gamma_2^f (5 + 3\gamma_1^h)) \end{array} \right)}{\gamma_1^f \gamma_2^f \left(\begin{array}{l} 8\gamma_2^{h2} (4 + 5\gamma_2^f) + 2\gamma_1^h \gamma_2^h (32 + 40\gamma_2^f + 40\gamma_2^h + 49\gamma_2^f \gamma_2^h) \\ + \gamma_1^{h2} (32 + 40\gamma_2^f + 80\gamma_2^h + 98\gamma_2^f \gamma_2^h + 9\gamma_2^{h2} (4 + 5\gamma_2^f)) + \\ 2\gamma_2^{f2} (8\gamma_2^{h2} + 4\gamma_1^h \gamma_2^h (4 + 5\gamma_2^h) + \gamma_1^{h2} (8 + \gamma_2^h (20 + 9\gamma_2^h))) + \\ \gamma_1^{f2} \left(\begin{array}{l} 2\gamma_2^{h2} (8 + \gamma_2^f (20 + 9\gamma_2^f)) + \\ 2\gamma_2^{h2} (8 + \gamma_2^f (20 + 9\gamma_2^f)) \\ + (40 + \gamma_2^f (98 + 45\gamma_2^f)) \gamma_2^h \\ + 3\gamma_2^{h2} (6 + \gamma_2^f (15 + 7\gamma_2^f)) \end{array} \right) + \\ \gamma_1^h \gamma_2^h (8(4 + 5\gamma_2^h)) + \gamma_2^f (80 + 98\gamma_2^f + 9\gamma_2^{f2} (4 + 5\gamma_2^h)) \end{array} \right)} \quad (G5)$$

4.7.5 Appendice H

4.7.5.1 Appendice H1

Nous procédons de manière similaire aux annexes D et E. Nous évaluons tout d'abord les effets du prix des permis sur les variables de production et de réduction d'émission.

$$x_{1q^h}^{hman} = \frac{24\gamma_1^h + 9\gamma_1^h \gamma_2^h}{8(8 + 3\gamma_1^h) \gamma_2^h} > 0 \quad (H1.1)$$

$$x_{2q^h}^{hman} = -\frac{3}{8} < 0 \quad (H1.2)$$

$$x_{1q^h}^{fman} = -\frac{8\gamma_1^h + 3\gamma_1^h \gamma_2^h}{8(8 + 3\gamma_1^h) \gamma_2^h} < 0 \quad (H1.3)$$

$$x_{2q^h}^{fman} = \frac{1}{8} > 0 \quad (H1.4)$$

$$a_{1q^h}^{hman} = -\frac{8 + 3\gamma_2^h}{(8 + 3\gamma_1^h) \gamma_2^h} < 0 \quad (H1.5)$$

$$a_{2q^h}^{hman} = \frac{1}{\gamma_2^h} > 0 \quad (\text{H1.6})$$

Nous obtenons la valeur de q^{hman} à partir de la seconde étape de la maximisation du profit de l'entreprise dominante :

$$q^{hman} = \frac{2\gamma_2^h \left(\begin{array}{c} 32\gamma_2^h \bar{e}_1^h (8 + 3\gamma_1^h)^2 \\ + \alpha (8\gamma_1^h (136 + 45\gamma_1^h) + (512 + 9\gamma_1^h (88 + 23\gamma_1^h)) \gamma_2^h) \\ - 4\bar{E}^h (512\gamma_2^h + 64\gamma_1^h (8 + 9\gamma_2^h) + 3\gamma_1^{h2} (56 + 45\gamma_2^h)) \end{array} \right)}{(8 + 3\gamma_2^h) (1024\gamma_2^h + 64\gamma_1^h (8 + 15\gamma_2^h) + 3\gamma_1^{h2} (56 + 69\gamma_2^h))} \quad (\text{H1.7})$$

Puis en remplaçant q^{hman} par sa valeur dans les expressions (4.42), (4.43), (4.44) et (4.34) pour a_2^h , nous avons :

$$x_1^{hman} = \frac{8(8 + 3\gamma_1^h) \left(3\gamma_1^h \gamma_2^h \left(\bar{E}^h + \bar{e}_1^h \right) + 2\alpha (\gamma_1^h + 2\gamma_2^h) \right)}{1024\gamma_2^h + 64\gamma_1^h (8 + 15\gamma_2^h) + 3\gamma_1^{h2} (56 + 69\gamma_2^h)} \quad (\text{H1.8})$$

$$a_1^{hman} = - \frac{64 \left(\bar{E}^h + \bar{e}_1^h \right) (8 + 3\gamma_1^h) \gamma_2 + 2\alpha (192\gamma_2^h + \gamma_1^h (-8 + 69\gamma_2^h))}{1024\gamma_2^h + 64\gamma_1^h (8 + 15\gamma_2^h) + 3\gamma_1^{h2} (56 + 69\gamma_2^h)} \quad (\text{H1.9})$$

$$x_2^{hman} = \frac{2\alpha (8\gamma_1^h (64 + 21\gamma_1^h) + (8 + 3\gamma_1^h) (128 + 45\gamma_1^h) \gamma_2^h + 3(64 + 21\gamma_1^h) \gamma_2^{h2}) + 3\gamma_2^h \left(-8\bar{e}_1^h (8 + 3\gamma_1^h)^2 \gamma_2^h + \bar{E}^h \left(\begin{array}{c} 8\gamma_1^h (64 + 21\gamma_1^h) \\ + (512 + 9\gamma_1^h (64 + 15\gamma_1^h)) \gamma_2^h \end{array} \right) \right)}{(8 + 3\gamma_2^h) [1024\gamma_2^h + 64\gamma_1^h (8 + 15\gamma_2^h) + 3\gamma_1^{h2} (56 + 69\gamma_2^h)]} \quad (\text{H1.10})$$

$$a_2^{hman} = \frac{4\bar{e}_1^h - 4\bar{E}^h + \alpha}{8 + 3\gamma_2^h} - \frac{\gamma_1^h \left(4\bar{E}^h (64 + 21\gamma_1^h) + 4\bar{e}_1^h (64 + 21\gamma_1^h) - \alpha (208 + 69\gamma_1^h) \right)}{1024\gamma_2^h + 64\gamma_1^h (8 + 15\gamma_2^h) + 3\gamma_1^{h2} (56 + 69\gamma_2^h)} \quad (\text{H1.11})$$

$$x_1^{fman} = \frac{-8 \left(\bar{E}^h + \bar{e}_1^h \right) \gamma_1^h \gamma_2^h (8 + 3\gamma_1^h) + \alpha (256\gamma_2^h + 32\gamma_1^h (4 + 9\gamma_2^h) + \gamma_1^{h2} (40 + 69\gamma_2^h))}{1024\gamma_2^h + 64\gamma_1^h (8 + 15\gamma_2^h) + 3\gamma_1^{h2} (56 + 69\gamma_2^h)} \quad (\text{H1.12})$$

$$x_2^{fman} = \frac{16\alpha\gamma_1^h (64 + 21\gamma_1^h) + 2 \left(\begin{array}{c} -4\bar{E}^h \gamma_1^h (64 + 21\gamma_1^h) \\ +\alpha (1024 + 7\gamma_1^h (184 + 45\gamma_1^h)) \end{array} \right) \gamma_2^h + \left(\begin{array}{c} 8\bar{e}_1^h (8 + 3\gamma_1^h)^2 - \bar{E}^h (512 + 9\gamma_1^h (64 + 15\gamma_1^h)) \\ +\alpha (896 + 9\gamma_1^h (102 + 23\gamma_1^h)) \end{array} \right) \gamma_2^{h2}}{(8 + 3\gamma_2^h) [1024\gamma_2^h + 64\gamma_1^h (8 + 15\gamma_2^h) + 3\gamma_1^{h2} (56 + 69\gamma_2^h)]} \quad (\text{H1.13})$$

Avec $\bar{e}_1^h = \varphi_1 \bar{E}^h$, nous évaluons l'effet d'une variation de \bar{E}^h sur les variables des équations (H1.8) à (H1.13).

$$x_{1\bar{E}^h}^{hman} = \frac{24\gamma_1^h \gamma_2^h (8 + 3\gamma_1^h) (1 + \varphi_1)}{1024\gamma_2^h + 64\gamma_1^h (8 + 15\gamma_2^h) + 3\gamma_1^{h2} (56 + 69\gamma_2^h)} > 0 \quad (\text{H1.14})$$

$$a_{1\bar{E}^h}^{hman} = -\frac{64\gamma_2^h (8 + 3\gamma_1^h) (1 + \varphi_1)}{1024\gamma_2^h + 64\gamma_1^h (8 + 15\gamma_2^h) + 3\gamma_1^{h2} (56 + 69\gamma_2^h)} < 0 \quad (\text{H1.15})$$

$$x_{1\bar{E}^h}^{fman} = -\frac{8\gamma_1^h \gamma_2^h (8 + 3\gamma_1^h) (1 + \varphi_1)}{1024\gamma_2^h + 64\gamma_1^h (8 + 15\gamma_2^h) + 3\gamma_1^{h2} (56 + 69\gamma_2^h)} < 0 \quad (\text{H1.16})$$

$$x_{2\bar{E}^h}^{hman} = \frac{3\gamma_2^h \left(8\gamma_1^h (64 + 21\gamma_1^h) + (512 + 9\gamma_1^h (64 + 15\gamma_1^h)) \gamma_2^h - 8\gamma_2^h \varphi_1 (8 + 3\gamma_1^h)^2 \right)}{(8 + 3\gamma_2^h) [1024\gamma_2^h + 64\gamma_1^h (8 + 15\gamma_2^h) + 3\gamma_1^{h2} (56 + 69\gamma_2^h)]} > 0 \quad (\text{H1.17})$$

$$a_{2\bar{E}^h}^{hman} = \frac{4(\varphi_1 - 1)}{8 + 3\gamma_2^h} - \frac{4\gamma_1^h (64 + 21\gamma_1^h) (1 + \varphi_1)}{(8 + 3\gamma_2^h) [1024\gamma_2^h + 64\gamma_1^h (8 + 15\gamma_2^h) + 3\gamma_1^{h2} (56 + 69\gamma_2^h)]} < 0 \quad (\text{H1.18})$$

$$x_{2\bar{E}^h}^{fman} = \frac{\gamma_2^h \left[-8\gamma_1^h (64 + 21\gamma_1^h) + \gamma_2^h \left(8\varphi_1 (8 + 3\gamma_1^h)^2 - 512 - 9\gamma_1^h (64 + 15\gamma_1^h) \right) \right]}{(8 + 3\gamma_2^h) [1024\gamma_2^h + 64\gamma_1^h (8 + 15\gamma_2^h) + 3\gamma_1^{h2} (56 + 69\gamma_2^h)]} < 0 \quad (\text{H1.19})$$

En remplaçant le plafond de pollution par (4.49), on a :

$$x_1^{hman} = \frac{2\alpha(8 + 3\gamma_1^h) (64 + 21\gamma_2^h) (\gamma_1^h + \gamma_2^h + \gamma_1^h \gamma_2^h)}{64\gamma_2^h (64 + 21\gamma_2^h) + 16\gamma_1^h (256 + \gamma_2^h (640 + 183\gamma_2^h)) + 3\gamma_1^{h2} (448 + \gamma_2^h (976 + 273\gamma_2^h))}$$

$$x_2^{hman} = \frac{2\alpha(8 + 3\gamma_2^h) (64 + 21\gamma_1^h) (\gamma_1^h + \gamma_2^h + \gamma_1^h \gamma_2^h)}{64\gamma_2^h (64 + 21\gamma_2^h) + 16\gamma_1^h (256 + \gamma_2^h (640 + 183\gamma_2^h)) + 3\gamma_1^{h2} (448 + \gamma_2^h (976 + 273\gamma_2^h))}$$

$$x_1^{fman} = \frac{\alpha \left(\begin{array}{l} 64\gamma_1^h (16 + 5\gamma_1^h) + 2\gamma_2^h (512 + \gamma_1^h (1416 + 403\gamma_1^h)) \\ + 3\gamma_2^{2h} (112 + \gamma_1^h (274 + 77\gamma_1^h)) \end{array} \right)}{64\gamma_2^h (64 + 21\gamma_2^h) + 16\gamma_1^h (256 + \gamma_2^h (640 + 183\gamma_2^h)) \\ + 3\gamma_1^{h2} (448 + \gamma_2^h (976 + 273\gamma_2^h))}$$

$$x_2^{fman} = \frac{\alpha \left(\begin{array}{l} 64\gamma_2^h (16 + 5\gamma_2^h) + 2\gamma_1^h (512 + \gamma_2^h (1416 + 403\gamma_2^h)) \\ + 3\gamma_1^{2h} (112 + \gamma_2^h (274 + 77\gamma_2^h)) \end{array} \right)}{64\gamma_2^h (64 + 21\gamma_2^h) + 16\gamma_1^h (256 + \gamma_2^h (640 + 183\gamma_2^h)) \\ + 3\gamma_1^{h2} (448 + \gamma_2^h (976 + 273\gamma_2^h))}$$

$$X_1^{man} = \frac{\alpha(32\gamma_2^h(64 + 21\gamma_2^h) + \gamma_1^{h2}(704 + 7\gamma_2^h(188 + 51\gamma_2^h)) \\ + 4\gamma_1^h (512 + \gamma_2^h (1144 + 321\gamma_1^h)))}{64\gamma_2^h (64 + 21\gamma_2^h) + 16\gamma_1^h (256 + \gamma_2^h (640 + 183\gamma_2^h)) \\ + 3\gamma_1^{h2} (448 + \gamma_2^h (976 + 273\gamma_2^h))}$$

$$X_2^{man} = \frac{\alpha(32\gamma_1^h(64 + 21\gamma_1^h) + \gamma_2^{h2}(704 + 7\gamma_1^h(188 + 51\gamma_1^h)) \\ + 4\gamma_2^h (512 + \gamma_1^h (1144 + 321\gamma_1^h)))}{64\gamma_2^h (64 + 21\gamma_2^h) + 16\gamma_1^h (256 + \gamma_2^h (640 + 183\gamma_2^h)) \\ + 3\gamma_1^{h2} (448 + \gamma_2^h (976 + 273\gamma_2^h))}$$

$$W^{hman} = \frac{2\alpha^2 (\gamma_1^h + \gamma_2^h + \gamma_1^h \gamma_2^h) (384 + 127\gamma_2^h + \gamma_1^h (127 + 42\gamma_2^h))}{64\gamma_2^h (64 + 21\gamma_2^h) + 16\gamma_1^h (256 + \gamma_2^h (640 + 183\gamma_2^h)) \\ + 3\gamma_1^{h2} (448 + \gamma_2^h (976 + 273\gamma_2^h))}$$

$$\begin{aligned}
& \alpha^2(256\gamma_2^{h^2}(4096 + \gamma_2^h(2624 + 421\gamma_2^h))) \\
& + 32\gamma_1^h\gamma_2^h(65536 + \gamma_2^h(202240 + \gamma_2^h(110152 + 16699\gamma_2^h))) \\
& + \gamma_1^{h^4}(107776 + \gamma_2^h(534368 + 7\gamma_2^h(116332 + 363\gamma_2^h(148 + 21\gamma_2^h)))) \\
& + 4\gamma_1^{h^3}(167936 + \gamma_2^h(881216 + \gamma_2^h(1404296 + \gamma_2^h(658298 + 94017\gamma_2^h)))) \\
& + 4\gamma_1^{h^2}(262144 + \gamma_2^h(1617920 + \gamma_2^h(2892288 + \gamma_2^h(1404296 + 203581\gamma_2^h)))) \\
W^{f^{man}} = & \frac{\phantom{W^{f^{man}}}}{\left[\begin{aligned} & 64\gamma_2^h(64 + 21\gamma_2^h) + 16\gamma_1^h(256 + \gamma_2^h(640 + 183\gamma_2^h)) \\ & + 3\gamma_1^{h^2}(448 + \gamma_2^h(976 + 273\gamma_2^h)) \end{aligned} \right]^2}
\end{aligned}$$

$$\gamma_1^h a_1^{h^{man}} = \frac{2\alpha\gamma_1^h(8\gamma_2^h(136 + 45\gamma_2^h) + \gamma_1^h(-64 + \gamma_2^h(296 + 105\gamma_2^h)))}{64\gamma_2^h(64 + 21\gamma_2^h) + 16\gamma_1^h(256 + \gamma_2^h(640 + 183\gamma_2^h)) + 3\gamma_1^{h^2}(448 + \gamma_2^h(976 + 273\gamma_2^h))}$$

$$\gamma_2^h a_2^{h^{man}} = \frac{2\alpha\gamma_2^h(8\gamma_1^h(136 + 37\gamma_2^h) - 64\gamma_2^h + 15\gamma_1^{h^2}(24 + 7\gamma_2^h))}{64\gamma_2^h(64 + 21\gamma_2^h) + 16\gamma_1^h(256 + \gamma_2^h(640 + 183\gamma_2^h)) + 3\gamma_1^{h^2}(448 + \gamma_2^h(976 + 273\gamma_2^h))}$$

4.7.5.2 Appendice H2

$$e_1^{h^{man}} - \bar{e}_1^{h^{man}} = \frac{\alpha(64 + 21\gamma_1^h)(8 + 3\gamma_2^h)(\gamma_1^h + \gamma_2^h + \gamma_1^h\gamma_2^h)}{256\gamma_2^h(64 + 21\gamma_2^h) + 64\gamma_1^h(256 + \gamma_2^h(640 + 183\gamma_2^h)) + 12\gamma_1^{h^2}(448 + \gamma_2^h(976 + 273\gamma_2^h))} > 0$$

$$\begin{aligned}
\bar{E}^{h^{man}} - \bar{E}^{h^{cce}} = & \frac{192\alpha\gamma_1^h\gamma_2^h(\gamma_1^h - \gamma_2^h)^2(\gamma_1^h + \gamma_2^h + \gamma_1^h\gamma_2^h)}{(32\gamma_2^{h^2} + 16\gamma_1^h\gamma_2^h(4 + 5\gamma_2^h) + \gamma_1^{h^2}(32 + \gamma_2^h(80 + 39\gamma_2^h))) \times} \\
& \left(\begin{aligned} & 64\gamma_2^h(64 + 21\gamma_2^h) + 16\gamma_1^h(256 + \gamma_2^h(640 + 183\gamma_2^h)) \\ & + 3\gamma_1^{h^2}(448 + \gamma_2^h(976 + 273\gamma_2^h)) \end{aligned} \right) > 0
\end{aligned}$$

$$q^{h^{man}} - q^{h^{cce}} = \frac{64\alpha\gamma_2^h (\gamma_1^h - \gamma_2^h) (\gamma_1^h + \gamma_2^h + \gamma_1^h\gamma_2^h) \times (8\gamma_1^h (8 + 3\gamma_1^h) + (64 + \gamma_1^h (136 + 39\gamma_1^h)) \gamma_2^h)}{(32\gamma_2^{h^2} + 16\gamma_1^h\gamma_2^h (4 + 5\gamma_2^h) + \gamma_1^{h^2} (32 + \gamma_2^h (80 + 39\gamma_2^h))) \times \left(\begin{array}{c} 64\gamma_2^h (64 + 21\gamma_2^h) + 16\gamma_1^h (256 + \gamma_2^h (640 + 183\gamma_2^h)) \\ + 3\gamma_1^{h^2} (448 + \gamma_2^h (976 + 273\gamma_2^h)) \end{array} \right)} \leq 0$$

$$x_1^{f^{man}} - x_1^{f^{cce}} = -\frac{8\alpha\gamma_1^h (\gamma_1^h - \gamma_2^h) (\gamma_1^h + \gamma_2^h + \gamma_1^h\gamma_2^h) \times (8\gamma_2^h (8 + 3\gamma_2^h) + \gamma_1^h (64 + \gamma_2^h (136 + 39\gamma_2^h)))}{(32\gamma_2^{h^2} + 16\gamma_1^h\gamma_2^h (4 + 5\gamma_2^h) + \gamma_1^{h^2} (32 + \gamma_2^h (80 + 39\gamma_2^h))) \times \left(\begin{array}{c} 64\gamma_2^h (64 + 21\gamma_2^h) + 16\gamma_1^h (256 + \gamma_2^h (640 + 183\gamma_2^h)) \\ + 3\gamma_1^{h^2} (448 + \gamma_2^h (976 + 273\gamma_2^h)) \end{array} \right)} \leq 0$$

$$x_2^{f^{man}} - x_2^{f^{cce}} = -\frac{8\alpha\gamma_2^h (\gamma_1^h - \gamma_2^h) (\gamma_1^h + \gamma_2^h + \gamma_1^h\gamma_2^h) \times (8\gamma_1^h (8 + 3\gamma_1^h) + \gamma_2^h (64 + \gamma_1^h (136 + 39\gamma_1^h)))}{(32\gamma_2^{h^2} + 16\gamma_1^h\gamma_2^h (4 + 5\gamma_2^h) + \gamma_1^{h^2} (32 + \gamma_2^h (80 + 39\gamma_2^h))) \times \left(\begin{array}{c} 64\gamma_2^h (64 + 21\gamma_2^h) + 16\gamma_1^h (256 + \gamma_2^h (640 + 183\gamma_2^h)) \\ + 3\gamma_1^{h^2} (448 + \gamma_2^h (976 + 273\gamma_2^h)) \end{array} \right)} \leq 0$$

$$x_1^{h^{man}} - x_1^{h^{cce}} = -\frac{2\alpha (\gamma_1^h + \gamma_2^h + \gamma_1^h\gamma_2^h) (4\gamma_2^h + \gamma_1^h (4 + 3\gamma_2^h))}{(32\gamma_2^{h^2} + 16\gamma_1^h\gamma_2^h (4 + 5\gamma_2^h) + \gamma_1^{h^2} (32 + \gamma_2^h (80 + 39\gamma_2^h)))} + \frac{(8 + 3\gamma_1^h) (64 + 21\gamma_2^h)}{\left(\begin{array}{c} 64\gamma_2^h (64 + 21\gamma_2^h) + 16\gamma_1^h (256 + \gamma_2^h (640 + 183\gamma_2^h)) \\ + 3\gamma_1^{h^2} (448 + \gamma_2^h (976 + 273\gamma_2^h)) \end{array} \right)} \leq 0$$

$$\begin{aligned}
x_2^{hman} - x_2^{hcce} &= -\frac{2\alpha (\gamma_1^h + \gamma_2^h + \gamma_1^h \gamma_2^h) (4\gamma_2^h + \gamma_1^h (4 + 3\gamma_2^h))}{(32\gamma_2^{h2} + 16\gamma_1^h \gamma_2^h (4 + 5\gamma_2^h) + \gamma_1^{h2} (32 + \gamma_2^h (80 + 39\gamma_2^h)))} \\
&\quad + \frac{(8 + 3\gamma_2^h) (64 + 21\gamma_1^h)}{\left(\begin{array}{c} 64\gamma_2^h (64 + 21\gamma_2^h) + 16\gamma_1^h (256 + \gamma_2^h (640 + 183\gamma_2^h)) \\ + 3\gamma_1^{h2} (448 + \gamma_2^h (976 + 273\gamma_2^h)) \end{array} \right)} \leq 0 \\
X_1^{man} - X_1^{cce} &= -\frac{16\alpha\gamma_1^h (\gamma_1^h - \gamma_2^h) (\gamma_1^h + \gamma_2^h + \gamma_1^h \gamma_2^h) \times}{(8\gamma_2^h (8 + 3\gamma_2^h) + \gamma_1^h (64 + \gamma_2^h (136 + 39\gamma_2^h)))} \leq 0 \\
&\quad \frac{(32\gamma_2^{h2} + 16\gamma_1^h \gamma_2^h (4 + 5\gamma_2^h) + \gamma_1^{h2} (32 + \gamma_2^h (80 + 39\gamma_2^h))) \times}{\left(\begin{array}{c} 64\gamma_2^h (64 + 21\gamma_2^h) + 16\gamma_1^h (256 + \gamma_2^h (640 + 183\gamma_2^h)) \\ + 3\gamma_1^{h2} (448 + \gamma_2^h (976 + 273\gamma_2^h)) \end{array} \right)} \\
X_2^{man} - X_2^{cce} &= -\frac{16\alpha\gamma_2^h (\gamma_1^h - \gamma_2^h) (\gamma_1^h + \gamma_2^h + \gamma_1^h \gamma_2^h) \times}{(8\gamma_1^h (8 + 3\gamma_1^h) + \gamma_2^h (64 + \gamma_1^h (136 + 39\gamma_1^h)))} \leq 0 \\
&\quad \frac{(32\gamma_2^{h2} + 16\gamma_1^h \gamma_2^h (4 + 5\gamma_2^h) + \gamma_1^{h2} (32 + \gamma_2^h (80 + 39\gamma_2^h))) \times}{\left(\begin{array}{c} 64\gamma_2^h (64 + 21\gamma_2^h) + 16\gamma_1^h (256 + \gamma_2^h (640 + 183\gamma_2^h)) \\ + 3\gamma_1^{h2} (448 + \gamma_2^h (976 + 273\gamma_2^h)) \end{array} \right)} \\
\sum_{i=1}^2 (x_i^{hman} - x_i^{hcce}) &= \frac{384\alpha\gamma_1^h (\gamma_1^h - \gamma_2^h)^2 (\gamma_1^h + \gamma_2^h + \gamma_1^h \gamma_2^h) (4\gamma_2^h + \gamma_1^h (4 + 7\gamma_2^h))}{(32\gamma_2^{h2} + 16\gamma_1^h \gamma_2^h (4 + 5\gamma_2^h) + \gamma_1^{h2} (32 + \gamma_2^h (80 + 39\gamma_2^h))) \times} > 0 \\
&\quad \frac{\left(\begin{array}{c} 64\gamma_2^h (64 + 21\gamma_2^h) + 16\gamma_1^h (256 + \gamma_2^h (640 + 183\gamma_2^h)) \\ + 3\gamma_1^{h2} (448 + \gamma_2^h (976 + 273\gamma_2^h)) \end{array} \right)} \\
\sum_{i=1}^2 (x_i^{fman} - x_i^{fcce}) &= -\frac{128\alpha\gamma_1^h (\gamma_1^h - \gamma_2^h)^2 (\gamma_1^h + \gamma_2^h + \gamma_1^h \gamma_2^h) (4\gamma_2^h + \gamma_1^h (4 + 7\gamma_2^h))}{(32\gamma_2^{h2} + 16\gamma_1^h \gamma_2^h (4 + 5\gamma_2^h) + \gamma_1^{h2} (32 + \gamma_2^h (80 + 39\gamma_2^h))) \times} < 0 \\
&\quad \frac{\left(\begin{array}{c} 64\gamma_2^h (64 + 21\gamma_2^h) + 16\gamma_1^h (256 + \gamma_2^h (640 + 183\gamma_2^h)) \\ + 3\gamma_1^{h2} (448 + \gamma_2^h (976 + 273\gamma_2^h)) \end{array} \right)}
\end{aligned}$$

$$W^{h^{man}} - W^{f^{man}} = \frac{\alpha^2 \left(\begin{aligned} &128\gamma_2^{h^2} (16384 + \gamma_2^h (10944 + 1825\gamma_2^h)) \\ &+ 64\gamma_1^h \gamma_2^h (65536 + \gamma_2^h (135808 + \gamma_2^h (69128 + 10369\gamma_2^h))) \\ &+ \gamma_1^{h^4} (233600 + \gamma_2^h (663616 + \gamma_2^h (496262 + 147\gamma_2^h (998 + 105\gamma_2^h)))) \\ &+ 2\gamma_1^{h^3} (700416 + \gamma_2^h (2212096 + \gamma_2^h (1875552 + \gamma_2^h (625670 + 73353\gamma_2^h)))) \\ &+ \gamma_1^{h^2} \left(2097152 + 2\gamma_2^h \left(\begin{aligned} &4345856 + \gamma_2^h \\ &\times \left(4723072 + \gamma_2^h \begin{pmatrix} 1875552 \\ +248131\gamma_2^h \end{pmatrix} \right) \right) \right) \end{aligned} \right)}{\left(\begin{aligned} &64\gamma_2^h (64 + 21\gamma_2^h) + 16\gamma_1^h (256 + \gamma_2^h (640 + 183\gamma_2^h)) \\ &+ 3\gamma_1^{h^2} (448 + \gamma_2^h (976 + 273\gamma_2^h)) \end{aligned} \right)} > 0$$

$$W^{h^{man}} - W^{h^{cce}} = \frac{64\alpha^2 (\gamma_1^h - \gamma_2^h)^2 (\gamma_1^h + \gamma_2^h + \gamma_1^h \gamma_2^h)^2}{\left(\begin{aligned} &(32\gamma_2^{h^2} + 16\gamma_1^h \gamma_2^h (4 + 5\gamma_2^h) + \gamma_1^{h^2} (32 + \gamma_2^h (80 + 39\gamma_2^h))) \times \\ &\left(\begin{aligned} &64\gamma_2^h (64 + 21\gamma_2^h) + 16\gamma_1^h (256 + \gamma_2^h (640 + 183\gamma_2^h)) \\ &+ 3\gamma_1^{h^2} (448 + \gamma_2^h (976 + 273\gamma_2^h)) \end{aligned} \right) \end{aligned} \right)} > 0$$

$$W^{f^{man}} - W^{f^{cce}} = \frac{\alpha \left(\begin{aligned} &(8\gamma_2^{h^2} + 2\gamma_1^h \gamma_2^h (8 + 11\gamma_2^h) + \gamma_1^{h^2} (8 + 11\gamma_2^h (2 + \gamma_2^h))) \times \\ &\left(\begin{aligned} &8\gamma_2^{h^2} (7\alpha - 8) + 2\gamma_1^h \gamma_2^h (56\alpha - 64 - 80\gamma_2^h + 69\alpha\gamma_2^h) \\ &- 2\gamma_1^{h^2} (32 + \gamma_2^h (80 + 39\gamma_2^h)) \end{aligned} \right) \end{aligned} \right)}{\left(\begin{aligned} &(32\gamma_2^{h^2} + 16\gamma_1^h \gamma_2^h (4 + 5\gamma_2^h) + \gamma_1^{h^2} (32 + \gamma_2^h (80 + 39\gamma_2^h)))^2 \\ &+ \alpha^2 \left(\begin{aligned} &256\gamma_2^{h^2} (4096 + \gamma_2^h (2624 + 421\gamma_2^h)) \\ &+ 32\gamma_1^h \gamma_2^h (655536 + \gamma_2^h (202240 + \gamma_2^h (110152 + 16699\gamma_2^h))) \\ &+ \gamma_1^{h^4} (107776 + \gamma_2^h (534368 + 7\gamma_2^h (116332 + 363\gamma_2^h (148 + 21\gamma_2^h)))) \\ &+ 4\gamma_1^{h^3} (167936 + \gamma_2^h (881216 + \gamma_2^h (1404296 + \gamma_2^h (658298 + 94017\gamma_2^h)))) \\ &+ 4\gamma_1^{h^2} (262144 + \gamma_2^h (1617920 + \gamma_2^h (2892288 + \gamma_2^h (1404296 + 203581\gamma_2^h)))) \end{aligned} \right) \end{aligned} \right)} \leq 0$$

Conclusion générale

Depuis le milieu des années 1980, les subventions aux exportations ont été progressivement interdites par l'Organisation Mondiale du Commerce. Cette dernière cherche à libéraliser les économies nationales et mondiale afin de permettre une meilleure allocation des ressources. Cependant, les négociations des membres de l'OMC sont de plus en plus délicates. Les thématiques abordées concernent désormais des sujets sensibles telles que la santé, l'agriculture, l'éducation, etc. étant donné que le secteur industriel a déjà été libéralisé. De plus, les Etats, bien que partie contractante de l'OMC, n'apprécient guère de voir des entreprises nationales délocaliser ou fermer à cause d'une concurrence étrangère accrue. Les barrières douanières tarifaires et non tarifaires permettaient la survie de firmes peu compétitives. Les chiffres de l'emploi pouvaient être ainsi meilleurs à court terme.

Les préoccupations électoralistes des dirigeants politiques les conduisent souvent à pratiquer ce type de décision au détriment de choix économiquement justifiés. De ce fait, il n'est pas surprenant d'observer que les politiques environnementales soient différentes entre pays. Certains préfèrent adopter des politiques laxistes en arguant que les technologies futures pourront aider à la réduction de la pollution et d'autres imposent lourdement leurs firmes qui s'adaptent à une production plus respectueuse de l'environnement.

L'apparition de nombreux traités défendant les causes environnementales diminue difficilement les risques de comportement stratégique, comportement qui consiste à se servir de politiques environnementales pour soutenir la compétitivité d'entreprises nationales. Notre thèse met en lumière des attitudes

que peuvent adopter les autorités lorsqu'elles ne se préoccupent que de leur propre bien-être.

Après avoir réalisé une présentation de la littérature du commerce international en concurrence imparfaite en présence de subventions, nous avons exposé dans un second chapitre les modèles de politique environnementale stratégique. Ces articles soutiennent que les gouvernements sont toujours tentés d'intervenir sur le marché des produits à cause de l'imperfection de la concurrence via un instrument de politique environnementale.

Les taxes aux émissions polluantes sont l'instrument économique le plus utilisé à travers le monde, c'est pourquoi nous nous sommes proposés de contribuer à l'apport théorique en analysant l'impact de groupes de pression sur les décisions optimales des gouvernements en matière d'écologie. Dans le chapitre 3, les entreprises peuvent investir dans des activités de lobbying afin d'influencer la politique gouvernementale de taxation des émissions polluantes. Quand les autorités sont omniscientes, c'est-à-dire parfaitement informées, les lobbies sont intégralement anticipés. Les gouvernements ne se laissent pas duper par les préférences d'un seul type d'agent. Investir dans des groupes de pression est alors une perte pour la collectivité, car cela crée une nouvelle distorsion. Lorsque les Etats n'anticipent pas l'action des lobbies, seules les entreprises en bénéficient, parce que leurs profits augmentent. Le bien-être du pays se dégrade pour deux raisons. Premièrement, l'environnement est bien moins protégé, car la taxe est plus faible. Les réductions d'émission effectuées par l'entreprise sont diminuées, les dommages environnementaux s'accroissent. Deuxièmement, les recettes, que la nation prélève à l'aide du système de taxation, sont plus faibles.

En présence de deux pays symétriques, les résultats montrent une détérioration du bien-être de chacun des agents par rapport à une situation sans intervention stratégique. Comparativement au cas où l'intervention est unilatérale deux effets jouent l'un contre l'autre. Le premier effet est une course au dumping écologique entre les gouvernements qui mène à une brutale baisse du niveau de taxation. Afin de détourner une partie de la rente commerciale des firmes rivales, chaque intervenant propose une diminution de sa taxe en-

vironnementale pour donner un avantage en termes de coûts de production à la firme nationale. Le second effet incite la nation qui pratiquait seule l'intervention à durcir sa politique environnementale. Comme la firme locale n'est plus seule à être pénalisée en termes de coûts par la taxe (la firme étrangère est contrainte par la politique environnementale étrangère), elle devient plus compétitive. Les coûts subis par sa rivale sont identiques aux siens. D'après notre exemple, ce second effet l'emporte sur le premier quand nous évaluons le passage d'une intervention unilatérale à une intervention bilatérale. Mais ceci n'empêche nullement une dégradation du bien-être de chacune des nations due au dumping écologique, par rapport à une situation sans intervention stratégique. Nous sommes donc dans la situation du dilemme du prisonnier. Seule la coopération permet de rétablir un niveau de taxation environnementale efficient. Quand les gouvernements ne se livrent pas une guerre tarifaire, l'effet de détournement de rente est plus que compensé par un effet mesurant les conséquences négatives de ce détournement de rente sur l'autre nation. La taxe environnementale retrouve alors sa première attribution, c'est-à-dire corriger la distorsion environnementale. De plus, cette taxe atteint un niveau plus élevé que la taxe pigouvienne puisque, étant donné qu'elle reste l'unique instrument à disposition des autorités, les pays cherchent à corriger également la distorsion existante sur le marché des produits due à la situation oligopolistique.

Notre chapitre 4 prolonge l'analyse de la politique environnementale stratégique sans lobbying et montre que la mise en œuvre de marchés de permis d'émission négociables ne permet pas de s'affranchir de l'attitude protectionniste des gouvernements. Le cadre de la concurrence imparfaite est conservé. Il existe deux types d'entreprises appartenant à des secteurs industriels différents. Les firmes détiennent des technologies de réduction d'émission différentes. Nous reprenons donc ici la modélisation classique des marchés de permis d'émission négociables et nous obtenons sans surprise que les coûts de réduction d'émission sont égalisés grâce à l'échange de PEN.

Agissant dans un premier temps, les gouvernements choisissent d'offrir un nombre de permis plus élevé que ce qui aurait été attribué sans comporte-

ment stratégique. Lorsqu'un seul des gouvernements applique une politique environnementale, le nombre de droits à polluer octroyés est plus élevé que lorsque les deux pays interviennent. On retrouve les mêmes explications que lors de la présence d'une taxe aux émissions. Que les autorités soient seules ou plusieurs à mettre en œuvre un marché de permis d'émission, elles se comportent stratégiquement et diminuent la charge environnementale qui pèse sur les firmes.

Afin de s'éloigner du dilemme du prisonnier, la coopération est envisagée. Nous montrons que la politique coopérative poursuivie est un durcissement de la politique environnementale. Toutefois, nous soulignons l'apparition d'un terme de « pollution shifting » qui compense partiellement le terme de « rent shifting » subit par la firme rivale.

Dans la dernière section du chapitre 4, lorsqu'une entreprise détient une position dominante sur le marché des permis d'émission négociables, nous mettons en évidence l'existence d'un autre type de comportement stratégique sur le marché des permis qui n'est ni de la manipulation par exclusion ni une manipulation simple. De plus, nous montrons que le plafond de pollution est toujours plus élevé et que le bien-être augmente par rapport à une situation concurrentielle quand le prix des permis est manipulé. En effet, les autorités laissent le pouvoir de position dominante à l'entreprise qui le détient, tout en le contraignant afin de ne pas pénaliser l'autre firme domestique. Le régulateur fait en sorte que la firme en position dominante soit toujours acheteuse sur le marché des PEN. L'entreprise dominante retire donc une rente qui compense largement la perte de compétitivité de l'autre firme domestique due à la manipulation du prix des permis et la hausse des dommages environnementaux.

Notre travail souligne l'importance d'adopter de manière coopérative des mesures de protection de l'environnement. Il est impératif de les accompagner de moyens de contrôles et de sanctions pour obliger les autorités des différents pays à respecter les accords. Il est également nécessaire de se prémunir de l'action des groupes de pression qui semble nuire aux justes décisions des autorités

et donc au bien-être de la société.

Notre thèse a mis en évidence les conséquences économiques et environnementales des choix des agents. Celles-ci doivent être prises en compte par l'économiste et par le décideur politique lors de négociations multilatérales tant sur le commerce que sur l'environnement.

Ces recherches peuvent être prolongées afin d'élaborer des mécanismes crédibles de sanctions quant à l'adoption de comportements stratégiques. Nous n'avons en effet pas raisonné sur la possibilité de prise en compte d'amendes dans le calcul du bien-être des Etats lorsque ces derniers ne respectent pas leurs engagements. L'étude du marché européen de permis d'émission constitue une base solide pour des tels examens.

Bibliographie

- [1] Arvan L., 1991, Flexibility versus commitment in strategic trade policy uncertainty, *Journal of International Economics*, 31, 341-355.
- [2] Bagwell K. et Staiger R.W., 1994, The sensitivity of strategic corrective R&D policy in oligopolistic industries, *Journal of International Economics*, 36, 133-150.
- [3] Bagwell K. et Wolinsky A., 2002, Game theory and industrial organization, dans Aumann R.J. et Hart S., *Handbook of Game Theory*, volume III.
- [4] Bandyopadhyay S., 1997, Demand elasticities, asymmetry and strategic trade policy, *Journal of International Economics*, 42, 167-177.
- [5] Barrett S., 1994, Strategic environmental policy and international trade, *Journal of Public Economics*, 54, 325-338.
- [6] Bayındır-Upmann T., 2003, Strategic environmental policy under free entry of firms, *Review of International Economics*, 11, 2, 379-396.
- [7] Bouët A., 1992, Représailles et commerce international stratégique, *Economica*, Paris.
- [8] Bouët A., 1998, Le protectionnisme, *Analyse économique*, Vuilbert.
- [9] Brainard S.L. et Martimort D., 1996, Strategic trade policy with asymmetric information and public contracts, *Review of economic studies*, 63, 81-105.
- [10] Brainard S.L. et Martimort D., 1997, Strategic trade policy with incompletely informed policymakers, *Journal of International Economics*, 42, 33-65.

- [11] Brander J.A. et Spencer B.J., 1985, Export subsidies and international market share rivalry, *Journal of International Economics*, 18, 83-100.
- [12] Brander J.A. et Spencer B.J., 1988, Unionized oligopoly and international trade policy, *Journal of International Economics*, 24, 217-234.
- [13] Brander J.A., 1995, Strategic Trade Policy, in Grossman G. and Rogoff K. ed., *Handbook of International Economics*, Elsevier Science B.V., volume III, 1395-1455.
- [14] Bulow J., Geanakoplos J. et Klemperer P., 1985, Multimarket oligopoly : strategic substitutes and complements, *Journal of Political Economy*, 93, 3, 488-511.
- [15] Bureau D. et Mougeot M., 2004, Politiques environnementales et compétitivité, Rapport du Conseil d'Analyse Economique, *La Documentation Française, Paris*.
- [16] Calmette M-F., 2000, Régulation de firmes polluantes en libre-échange : conséquences des asymétries d'information et des groupes de pression, *Economie et Prévision*, 143-144, 2/3, 101-116.
- [17] Carlton D.W. et Perloff J.M., 2000, Modern industrial organization, troisième édition, Addison Wesley Longman.
- [18] Carmichael C., 1987, The control of export credit subsidies and its welfare consequences, *Journal of International Economics*, 23, 1-19.
- [19] Cassing J. et Kuhn T., 2003, Strategic environmental policies when waste products are tradable, *Review of International Economics*, 11, 3, 495-511.
- [20] Cheng K., 1987, Optimal trade and technology policies : dynamic linkages, *International Economic Review*, 28, 3, 757-776.
- [21] Collie D.R., 1991a, Anti-dumping and countervailing duties under oligopoly. A comment, *European Economic Review*, 35, 1185-1187.
- [22] Collie D.R., 1991b, Export subsidies and countervailing tariffs, *Journal of International Economics*, 31, 309-324.
- [23] Collie D.R., 1993, Strategic trade policy under asymmetric oligopoly, *European Journal of Political Economy*, 9, 275-280.

- [24] Collie D.R., 1997, Delegation and strategic trade policy, *International Economic Journal*, 11,3, 35-46.
- [25] Collie D.R., 1998, Trade policy under Bertrand duopoly with integrated markets : the pure strategy equilibrium, *Economics Letters*, 60, 179-183.
- [26] Collie D.R., 2000a, State aid in the European Union : the prohibition of subsidies in an integrated market, *International Journal of Industrial Organization*, 18, 867-884.
- [27] Collie D.R., 2000b, A rationale for the WTO prohibition of export subsidies : strategic export subsidies and world welfare, *Open Economies Review*, 11, 229-245.
- [28] Collie D.R., 2002, Prohibiting state aid in an integrated market : Cournot and Bertrand oligopolies with differentiated products, *Journal of Industry, Competition and Trade*, 2 :3, 215-231.
- [29] Collie D.R. et De Meza D., 2002, Comparative advantage and the pursuit of strategic trade policy, *Document de Travail*.
- [30] Conconi P., 2001, Strategic trade policy and threat of regionalism, *Document de Travail*.
- [31] Conrad K., 1993a, Taxes and subsidies for pollution-intensive industries as trade policy, *Journal of Environmental Economics and Management*, 25, 121-135.
- [32] Conrad K., 1993b, Optimal environmental policy for oligopolistic industries under intra-industry trade, in Carraro C., Katsoulacos Y. et Xepapadeas A. eds, *Environmental policy and market structure*, Kluwer Academic Publishers, 65-83.
- [33] Conrad K., 1994, Choosing emission taxes under international price competition, in Carraro C., Katsoulacos Y. et Xepapadeas A. eds, *Environmental policy and market structure*, Kluwer Academic Publishers, 85-98.
- [34] Conrad K., 1998, Voluntary environmental agreements, emission taxes and international trade : the importance of the timing of strategies, *document de travail*.

- [35] Cooper R. et Riezman R., 1989, Uncertainty and the choice of trade policy in oligopolistic industries, *Review of Economic Studies*, 56, 129-140.
- [36] De Stephano M. et Rysman M., 2003, Strategic trade policy with differentiated products, *Document de Travail*.
- [37] Dick A.R., 1993, Strategic trade policy. The empirical consequences of cross-ownership, *Journal of International Economics*, 35, 227-249.
- [38] Dixit A.K. et Grossman G.M., 1986, Targeted export promotion with several oligopolistic industries, *Journal of International Economics*, 21, 233-249.
- [39] Dixit A.K., 1984, International trade policy for oligopolistic industries, *Economic Journal Conference Papers*, XCIV, 1-16.
- [40] Dixit A.K., 1986, Comparative statics for oligopoly industries, *International Economic Review*, 27, 1, 107-122.
- [41] Dixit A.K., 1988, Anti-dumping and countervailing duties under oligopoly, *European Economic Review*, 32, 55-68.
- [42] Dockner E.J. et Haug A.A., 1990, Tariffs and quotas under dynamic duopolistic competition, *Journal of International Economics*, 29, 147-159.
- [43] Duval Y. et Hamilton S.F., 2002, Strategic environmental policy and international trade in asymmetric oligopoly markets, *International Tax and Public Finance*, 9, 259-271.
- [44] Eaton J. et Grossman G.M., 1986, Optimal trade and industrial policy under oligopoly, *Quarterly Journal of Economics*, 18, 383-406.
- [45] Fees E. et Muehlheusser G., 2002, Strategic environmental policy, clean technologies and the learning curve, *Environmental and Resource Economics*, 23, 149-166.
- [46] Fisher E.N. et Wilson C.A., 1995, Price competition between two international firms facing tariffs, *International Journal of Industrial Organization*, 13, 67-87.

- [47] Fun K.C. et Lin C.C., 2000, Political economy of strategic trade policy : menu-auctions with imperfect competition, *Document de Travail*.
- [48] Golberg P.K., 1995, Strategic export promotion in the absence of government precommitment, *International Economic Review*, 36, 2, 407-426.
- [49] Greaker M., 2003, Strategic environmental policy ; eco-dumping or a green strategy ?, *Journal of Environmental Economics and Management*, 45, 692-707.
- [50] Grossman G.H. et Helpman E., 2001, Special Interest Politics, *The MIT Press*.
- [51] Gruenspecht, H.K., 1988, Export subsidies for differentiated products, *Journal of International Economics*, 24, 331-344.
- [52] Guillochon, B., 2001, Le Protectionnisme, *La Découverte, Coll. Repères*, Paris.
- [53] Hayashibara M., 2002, Industrial concentration reverses the timing in a trade policy game, *Open Economies Review*, 13, 73-86.
- [54] Herguera I., Kujal P. et Petrakis E., 2002, Tariffs, quality reversals and exit in vertically differentiated industries, *Journal of International Economics*, 58, 467-492.
- [55] Huck S. et Konrad K.A., 2003, Strategic trade policy and the home bias in firm ownership structure, *Japan and the World Economy*, 15, 299-305.
- [56] Hwang H-S. et Schulman C.T., 1993, Strategic non-intervention and the choice of trade policy for international oligopoly, *Journal of International Economics*, 34, 73-93.
- [57] Ionaşcu D. et Žigić K., 2001, Strategic trade policy and mode of competition : symmetry versus asymmetric information, *Document de Travail*.
- [58] Ishikhawa J. et Spencer B.J., 1999, Rent-shifting export subsidies with an imported intermediate product, *Journal of International Economics*, 48, 199-232.
- [59] Jacquet P., Messerlin P. et Tubiana L., 1999, Le cycle du millénaire, *Conseil d'analyse économique*, La Documentation Française.

- [60] Jinji N., 2003, Strategic environmental and trade policies in an environmental mixed duopoly, *Document de travail*.
- [61] Jo S-G, 2002, Non-uniform R&D policy as a strategic trade policy : a conjectural variations approach, *Document de Travail*.
- [62] Jones R.W., 1984, Protection and the harmful effects of endogenous capital flows, *Economics Letters*, 15, 325-330.
- [63] Karikari J.A., février 1991, On why voluntary export restraints are voluntary, *Canadian Journal of Economics*, volume XXIV, 1, 228-233.
- [64] Kennedy P.W., 1994, Equilibrium pollution taxes in open economies with imperfect competition, *Journal of Environmental Economics and Management*, 27, 49-63.
- [65] Klette J., 1994, Strategic trade policy for exporting industries : more general results in the oligopolistic case, *Oxford Economic Papers*, 46, 296-310.
- [66] Kolher P. et Moore M.O., 2003, Domestic welfare effects of foreign strategic trade policy, *Journal of Economic Integration*, 18, 3, 573-586.
- [67] Krishna K, 1989, Trade restriction as facilitating practices, *Journal of International Economics*, 26, 251-270.
- [68] Krishna K. et Thursby M., 1991, Optimal policies with strategic distortions, *Journal of International Economics*, 31, 291-308.
- [69] Krishna K., Roy S. et Thursby M., 2001, Can subsidies from MARs be procompetitive?, *Canadian Journal of Economics*, volume XXXIV, 1, 212-224.
- [70] Krugman P., 1987, Is free-trade passé, *The Journal of Economic Perspective*, 1, 131-144.
- [71] Krugman P.R., 1984, Import protection and export promotion : international competition in the presence of oligopoly and economies of scale, in Kierzkowski H. ed., *Monopolistic competition in international trade*, Oxford : Oxford University Press, 180-193.

- [72] Kujal P. et Ruiz J., 2003, Policy Synchronization and Staggering in a dynamic model of strategic trade, *Document de Travail*.
- [73] Laussel D., 1992, Strategic commercial policy revisited : a supply-function equilibrium model, *American Economic Review*, 82, 1, 84-99.
- [74] Leahy D. et Neary J.P., 2001, Robust rules for industrial policy in open economies, *Conference Paper on Dynamics, Economic Growth and International Trade*, University of Rome, La Sapienza.
- [75] Maggi G., 1999, Strategic trade policy under incomplete information, *International Economic Review*, 40, 3, 571-594.
- [76] Maggi, G., 1996, Strategic trade policies with endogenous mode of competition, *American Economic Review*, 86, 1, 237-258.
- [77] Markusen J.R. et Venables A.J., 1988, Trade policy with increasing returns and imperfect competition, *Journal of International Economics*, 24, 299-316.
- [78] Martin S., 1993, *Advanced industrial economics*, Blackwell.
- [79] Maskin E. et Tirole J., 1987, A theory of dynamic oligopoly, III, *European Economic Review*, 31, 947-968.
- [80] Miller N.H. et Pazgal A., 2002, Strategic trade and delegated competition, *Document de Travail*.
- [81] Moore M.O. et Suranovic S.M., 1993, Lobbying and Cournot-Nash competition, *Journal of International Economics*, 35, 367-376.
- [82] Morasch K., 2000, Decentralization of industrial policy as strategic delegation, *Document de Travail*.
- [83] Nannerup N., 1998, Strategic environmental policy under incomplete information, *Environmental and Resource Economics*, 11, 61-78.
- [84] Neary J.P. et Leahy D., 2000, Strategic trade and industrial policy towards dynamic oligopolies, *The Economic Journal*, 110, 484-508.
- [85] Neary J.P., 1994, Cost asymmetries in international subsidy games : should governments help winners or losers?, *Journal of International Economics*, 37, 197-218.

- [86] Ngo V.L., et Soubeyran A., 1997, Cost heterogeneity, industry concentration and strategic trade policies, *Journal of International Economics*, 43, 207-220.
- [87] Ngo V.L., et Soubeyran A., 1999, Industry concentration and optimal discriminatory commercial policies, *Journal of International Trade and Economic Development*, 8, 3, 241-256.
- [88] Novshek W., 1993, Mathematics for economists, de William , *Academic Press. Inc, London*.
- [89] Ohkawa T., Okamura M. et Tawada M., 2003, On strategic trade policy in the three-country model : endogenous timing ant its economic interpretation, *Document de Travail*.
- [90] Okajima Y., 2003, A note on “optimal strategic trade policy under asymmetric information”, *Journal of International Economics*, 61, 243-246.
- [91] Pal D. et White M.D., 1998, Mixed oligopoly, privatization, and strategic trade policy, *Southern Economic Journal*, 65, 2, 264-281.
- [92] Phan D.L., 1995, La politique commerciale stratégique : apports et limites, dans Rainelli M. (éd.), *La négociation commerciale et financière internationale*, Economica, Paris.
- [93] Porter H. et Van der Linde C., 1995, Toward a New Conception of Environment. Competitiveness Relationship, *Journal of Economic Perspectives*, 9, 4.
- [94] Pralong F., [2003], Plan stratégique d'allocation des permis d'émission négociables, *Document de Travail*.
- [95] Pralong F., [2005], Does the distribution of permits matter for international competitiveness?, *Cahier de la Maison des Sciences Economiques Série Verte*, n°11.
- [96] Qiu L.D. et Tao Z., 1998, Policy on international R&D cooperation : subsidy or tax ?, *European Economic Review*, 42, 1727-1750.
- [97] Qiu L.D., 1994, Optimal strategic trade policy under asymmetric information, *Journal of International Economics*, 36, 333-354.

- [98] Rauscher M., 1991, Foreign Trade and the Environment, in *Economics and the Environment : The International Dimension*, Siebert H., Ed., Mohr, Tübingen.
- [99] Rauscher M., 1994, On ecological dumping, *Oxford Economic Papers*, 46, 822-840.
- [100] Rutsaert P., 1994, To promote R&D cooperation : a strategic trade policy ?, *Document de Travail*.
- [101] Sartzetakis E.S. et Constantatos C., 1995, Environmental regulation and international trade, *Journal of Regulatory Economics*, 8, 61-72.
- [102] Sartzetakis E.S. et McFertridge D.G., 1999, Emissions permits trading and market structure, in Petrakis E., Sartzetakis E.S. et Xepapadeas A. (éd), *Environmental Regulation and Market Power*, Edward Elgar Publishers, pp. 47-66.
- [103] Sartzetakis E.S., 1994, Permis d'émission négociables et réglementation dans des marchés de concurrence imparfaite, *L'Actualité Economique, Revue d'Analyse Economique*, 70, 2.
- [104] Sartzetakis E.S., 1997, Tradeable emission permits regulations in the presence of imperfectly competitive product markets : welfare implications, *Environmental and Resource Economics*, 9, 65-81.
- [105] Spencer B.J. et Brander J.A., 1983, International R&D rivalry and industrial strategy, *Review of Economic Studies*, L, 4, 707-722.
- [106] Tanguay G., 2001, Strategic environmental policies under international duopolistic competition, *International Tax and Public Finance*, 8, 793-811.
- [107] Tinbergen J., 1952, On the Theory of Economic Policy, *Amsterdam, North-Holland Pub. Co.*
- [108] Ulph A. et Ulph D., 1996, Trade, strategic innovation and strategic environmental policy – a general analysis, in Carraro C., Katsoulacos Y. et Xepapadeas A. (éd), *Environmental policy and market structure*, Kluwer Academic Publishers, 181-208.

- [109] Ulph A. et Valentini L., 1997, Plant location and strategic environmental policy with inter-sectoral linkages, *Resource and Energy Economics*, 19, 363-383.
- [110] Ulph A. et Valentini L., 2001, Is environmental dumping greater when plants are footloose?, *Scandinavian Journal of Economics*, 103, 4, 673-688.
- [111] Ulph A., 1992, The choice of environmental policy instruments and strategic international trade, in Pethig R (éd), *Conflicts and Cooperation in Managing Environmental Resources*, Springer Verlag, 111-129.
- [112] Ulph A., 1996a, Environmental policy and international trade when governments and producers act strategically, *Journal of Environmental Economics and Management*, 30, 265-281.
- [113] Ulph A., 1996b, Strategic environmental policy and international trade – the role of market conduct, in Carraro C., Katsoulacos Y. et Xepapadeas A. eds, *Environmental policy and market structure*, Kluwer Academic Publishers, 99-127.
- [114] Ulph A., 1997a, International environmental regulation when national governments act strategically, in Braden J.B. et Proost S. (éd), *The Economic Theory of Environmental Policy in a Federal System*, Edward Elgar Publishing, 66-96.
- [115] Ulph A., 1997b, International trade and the environment : a survey of recent economic analysis, in Folmer H. et Tietenberg T. (éd), *The International Yearbook of Environmental and Resource Economics 1997/1998 : A Survey of Current Issues*, Edward Elgar Publishing, 205-242.
- [116] Ulph A., 1998, Political institutions and the design of environmental policy in a federal system with asymmetric information, *European Economic Review*, 42, 583-592.

- [117] Venables A.J., 1985, Trade and trade policy with imperfect competition : the case of identical products and free entry, *Journal of International Economics*, 19, 1-19.
- [118] Venables A.J., 1994, Tariffs and subsidies with price competition and integrated markets ; the mixed strategy equilibria, *Oxford Economic Papers*, 46, 30-44.
- [119] Vives X., 1999, Oligopoly pricing, *The MIT Press*.
- [120] Walz U. et Wellisch D., 1997, Is free trade is in the interest of exporting countries when there is ecological dumping?, *Journal of Public Economics*, 66, 275-291.
- [121] Welzel P., 1995, Strategic trade policy with internationally owned firms, *Bulletin of Economic Research*, 47, 3, 221-232.
- [122] White M.D., 2002, Strategic trade policy with polynomial costs, *Document de Travail*.
- [123] Winters L.A., 1988, Completing the European internal market : some note on trade policy, *European Economic Review*, 32, 1477-1499.
- [124] Xing Y. et Kolstad C.D., 1996, Environment and trade : a review of theory and issues, *Document de Travail*.
- [125] Xing Y., 2000, Strategic environmental policy and environmental tariffs, *Document de Travail*.
- [126] Zhang A. et Zhang Y., 1998, An analysis of import protection as export promotion under economies of scale, *Japan and the World Economy*, 10, 199-219.
- [127] Zhou D., Spencer B.J. et Vertinsky I., 2002, Strategic trade policy with endogenous choice of quality and asymmetric costs, *Journal of International Economics*, 56, 205-232.