

Politique environnementale et politique de la concurrence

Maia David^(*)

À l'heure actuelle, la protection de l'environnement a pris une place importante dans les débats politiques nationaux et internationaux. Le changement climatique, les accidents technologiques, les problèmes de gestion des déchets, la déforestation et la perte de biodiversité provoquent l'inquiétude de l'opinion publique. Progressivement, des mesures ont été adoptées dans les pays industrialisés pour répondre à ces préoccupations. Néanmoins, plusieurs décennies après l'introduction des premières réglementations environnementales, l'évolution de ces politiques demeure lente et difficile. Les normes imposées sont souvent mal respectées, la fiscalité environnementale reste à des niveaux très modestes et la mise en place d'un marché mondial de permis d'émissions est laborieuse. Si plusieurs facteurs expliquent ces difficultés, l'impact des mesures environnementales sur la compétitivité des secteurs polluants est un thème crucial et récurrent dans le débat politique. Il a constitué l'argument principal des États-Unis lors de leur retrait du Protocole de Kyoto en 2001. Face à ce constat, il apparaît particulièrement pertinent pour l'économiste d'étudier les interactions entre politique environnementale et concurrence.

À ses débuts, l'économie de l'environnement se concentrait sur les décisions de dépollution des pollueurs et négligeait leurs stratégies en termes de production et de prix. Les interactions entre concurrence au sein des pollueurs et politique environnementale étaient alors écartées de l'analyse. Progressivement, la littérature a pris en compte le mode de concurrence entre les entreprises polluantes (Barnett, 1980 ; Conrad et Wang, 1993 ; Katsoulacos et Xepapadeas, 1995, 1996 ; Requate, 1997). Elle a alors étudié, en fonction de la structure de marché de l'industrie régulée, comment les mesures environnementales influaient sur les parts de marché, la concentration et le pouvoir de marché des firmes. Ces travaux ont largement contribué à améliorer l'analyse des politiques de l'environnement.

Cependant, au-delà de ce qui a été considéré jusqu'à présent par la théorie économique, les répercussions de la protection de l'environnement sur la concurrence peuvent engendrer des conflits entre différentes autorités publiques. Ainsi, les dispositifs mis en place par une agence environnementale peuvent aller à l'encontre des objectifs d'une autorité de la concurrence, qui veille au fonctionnement concurrentiel des marchés. Dans la pratique, les autorités de la concurrence sont effectivement attentives aux effets des réglementations environnementales. La Direction générale Concurrence de la Commission européenne donne régulièrement son avis sur les directives européennes et les politiques environnementales des États membres. En France, le Conseil de la concurrence a une fonction consultative sur les projets de textes auprès du gouvernement, du Parlement ou des autorités de régulation sectorielle.

Les conflits potentiels entre autorités peuvent expliquer la progression difficile des réglementations environnementales. Il nous apparaît donc utile de les étudier explicitement

(*) UMR INRA-AgroParisTech Économie Publique.
E-mail: mdavid@grignon.inra.fr

Je remercie Saïd Souam, Anne Perrot, Katheline Schubert, Christophe Blanc, Jean-Christophe Vergnaud et deux rapporteurs anonymes pour leurs précieux commentaires.

pour combler la lacune de la littérature économique sur cette question. On se propose ici d'examiner les conflits de régulation entre une agence environnementale et une autorité de la concurrence dans un duopole polluant. L'agence environnementale vise un objectif donné sur le niveau total de pollution. L'autorité de la concurrence, quant à elle, est consultée sur la politique environnementale. Si la protection de l'environnement nuit au fonctionnement concurrentiel du marché, elle peut prononcer un avis défavorable sur le projet de politique. Elle peut également indiquer sa préférence entre plusieurs instruments⁽¹⁾ pour atteindre l'objectif environnemental.

On se concentre principalement sur une taxe sur la pollution comme instrument de politique environnementale. La taxe est un des instruments économiques de protection de l'environnement les plus courants en Europe. Il existe une littérature relativement répandue sur les effets de la taxe environnementale sur les profits, les parts de marché et la concentration de l'industrie polluante. Simpson (1995) notamment met en évidence certains effets positifs d'une taxe dans un duopole. Il montre que, outre son effet sur la qualité de l'environnement, la taxe opère un transfert de production de la firme inefficace vers la firme efficace, ce qui améliore l'efficacité productive dans l'économie.

Dans notre article, on distingue deux situations : celle où les firmes les plus efficaces pour produire sont les plus polluantes et celles où elles sont au contraire moins polluantes (cas considéré par Simpson). Les deux cas existent dans la pratique. On montre alors que selon la configuration dans laquelle on se situe, les résultats de Simpson peuvent être remis en cause. Ce résultat constitue un apport non négligeable à la littérature car il permet de distinguer les cas où l'efficacité environnementale va de pair ou non avec l'efficacité économique. Cet aspect est peu pris en compte dans les travaux existants alors que nous montrons ici que, selon la situation considérée, les mesures prises ont des conséquences très différentes sur la concurrence.

Dans ce cadre, on étudie les cas où l'autorité de la concurrence peut s'opposer à l'application d'une taxe environnementale pour risque d'abus de position dominante d'une firme et pour risque de collusion tacite. On envisage ensuite une autre forme d'intervention environnementale, une norme de procédé qui porte exclusivement sur les choix d'investissement des pollueurs. On montre que, à moyen terme, ce type de réglementations présente une propriété de neutralité sur la concurrence. On étudie alors la préférence entre la taxe et ce la norme de procédé de la part de l'autorité de la concurrence. On montre que la norme de procédé obtient la préférence de cette autorité dans un duopole où la firme efficace pour produire est largement plus polluante que sa rivale.

(1) Les principaux instruments de politiques environnementales sont les normes, les taxes, les subventions, les marchés de permis d'émissions négociables et les approches volontaires.

Les plus grandes industries polluantes, telles que l'industrie chimique et l'industrie des pâtes et papier, sont caractérisées par une structure de marché fortement concentrée. Si à ses débuts l'économie de l'environnement négligeait les interactions entre concurrence au sein des pollueurs et politique environnementale, elle a progressivement pris en compte la structure de marché de l'industrie régulée (Barnett, 1980 ; Conrad et Wang, 1993 ; Katsoulacos et Xepapadeas, 1995, 1996 ; Requate, 1997). Lorsque les entreprises polluantes sont en concurrence imparfaite, la politique environnementale a des effets sur les parts de marché, la concentration et le pouvoir de marché des firmes. Elle modifie ainsi l'efficacité allocative et productive au sein de l'économie et ces effets doivent être pris en compte dans l'élaboration de la politique optimale. De plus, au-delà de ce qui a généralement été considéré dans la littérature, l'intervention environnementale peut affecter le fonctionnement concurrentiel des marchés et provoquer la réaction des autorités de la concurrence.

Concrètement, les autorités de la concurrence sont effectivement sollicitées pour se prononcer sur la législation dans un autre domaine que la concurrence. La Direction Générale (DG) Concurrence de la Commission européenne, par exemple, donne régulièrement son avis sur les directives européennes et les politiques environnementales des États membres⁽¹⁾. Elle s'est par exemple prononcée en 2002 sur les effets d'une taxe environnementale au Royaume-Uni, la *Climate Change Levy*, sur la concurrence dans le secteur de l'acier (Décision de la Commission, 2002/677/EC). La DG Concurrence se prononce également lorsque la politique environnementale s'accompagne d'aides d'État qui peuvent fausser la concurrence (Commission européenne, 2001). En France, le Conseil de la concurrence a une fonction consultative sur les projets de textes auprès du gouvernement, du Parlement ou des autorités de régulation sectorielle. En 2004, il a rendu quatre avis sur des projets de textes réglementaires instituant des régimes nouveaux (Conseil de la Concurrence, 2004). De plus, dans le cadre d'un groupe de travail sur l'ouverture des marchés du gaz et de l'électricité, la DGCCRF⁽²⁾ s'est intéressée à l'impact du marché européen de permis d'émissions de CO₂ sur le fonctionnement du marché français de l'électricité (voir Izart *et alii*, 2004).

La première contribution principale de cet article est d'étudier les conflits de régulation qui peuvent apparaître entre une agence environnementale et une autorité de la concurrence dans un duopole de Cournot asymétrique⁽³⁾. L'agence environnementale vise un objectif exogène sur le niveau total de pollution. L'autorité de la concurrence, quant à elle, est consultée sur la politique environnementale. Si la protection de l'environnement nuit au

fonctionnement concurrentiel du marché, elle peut prononcer un avis défavorable sur le projet de politique. Elle peut également indiquer sa préférence entre plusieurs instruments pour atteindre l'objectif environnemental.

On se concentre principalement sur une taxe sur la pollution comme instrument de politique environnementale. La taxe est l'instrument économique de protection de l'environnement le plus courant en Europe. Carraro et Soubeyran (1996) analysent l'effet d'une fiscalité environnementale sur la part de marché des firmes, leur profit et la concentration dans un oligopole asymétrique. Cependant, ces auteurs supposent que la fonction de coût de chaque firme dépend, suite à l'introduction d'une taxe, de la quantité produite par les autres firmes, ce qui est une hypothèse justifiable mais particulière. Simpson (1995) étudie la taxe dans un duopole de Cournot asymétrique. Dans ce cadre, il rappelle l'existence de trois distorsions : la pollution, une production totale insuffisante due à l'exercice du pouvoir de duopole et une allocation inefficace de la production entre les deux firmes. Il montre alors que la taxe engendre, outre son effet sur la qualité de l'environnement, un transfert de production de la firme inefficace vers la firme efficace, ce qui améliore l'efficacité de l'allocation de la production.

Une deuxième contribution principale de notre article est de remettre en cause une partie des résultats de Simpson sur les effets de la taxe. En effet, dans le modèle de Simpson, la pollution est issue de la consommation d'un facteur de production. L'auteur suppose alors que la firme efficace est celle dont le processus de production lui permet d'utiliser moins de facteur polluant pour produire une unité de bien. Cette firme a donc à la fois un coût de production plus faible et génère moins de pollution que sa rivale pour chaque unité produite. La modélisation de Simpson implique donc nécessairement que la firme la plus efficace pour produire soit également moins polluante que sa rivale. Dans la pratique, il existe des cas où une pollution réduite coïncide effectivement avec une meilleure utilisation des facteurs et donc avec des coûts de production réduits. Toutefois, il est plus fréquent que l'adoption d'un processus de production qui permette de réduire la pollution engendre une production plus coûteuse. Dans les industries lourdes notamment, les processus de production les plus efficaces économiquement sont souvent les plus polluants (industrie chimique de base, industrie métallurgique). On suppose ici que les deux firmes du duopole produisent un même bien et utilisent deux processus de production différents⁽⁴⁾. Ces deux processus engendrent à la fois des coûts de production différents et une quantité de pollution émise par unité produite différente. On distingue alors deux cas. Dans le premier, comme dans le modèle de Simpson, la firme efficace pour produire est la moins polluante. Dans le second, la

firme aux coûts de production les plus faibles est la plus polluante. On montre que les résultats de Simpson sont confirmés dans le premier cas mais ne sont plus valables dans le second.

Dans un premier temps, on met en évidence les éventuels conflits entre les deux autorités considérées lors de l'application d'une taxe (première et deuxième parties). On envisage alors une autre forme d'intervention environnementale, qui porte sur les choix d'investissement des pollueurs et qui présente une propriété de neutralité sur la concurrence. On étudie la préférence entre la taxe et ce type d'instruments de la part d'une autorité de la concurrence qui maximise la somme du surplus des consommateurs et du profit des firmes. On montre que la politique sur l'investissement obtient la préférence de cette autorité dans un duopole où la firme efficace pour produire est largement plus polluante que sa rivale (troisième partie).

Le cadre d'analyse

On se situe dans un modèle d'équilibre partiel dans lequel il existe un bien de consommation et un polluant résultant de la production de ce bien. Le bien de consommation est produit par un duopole asymétrique engagé dans une concurrence en quantité. Les coûts de production de la firme la plus efficace pour produire (dite "firme efficace") sont $C(x)$, où x représente le niveau de production de la firme, alors que ceux de la firme moins efficace (dite "firme inefficace") sont $\alpha C(x)$, avec $\alpha > 1$. La fonction C est croissante convexe, ce qui traduit des rendements d'échelle non croissants pour l'activité de production.

De manière similaire à Barnett (1980), Katsoulacos et Xepapadeas (1995, 1996) et Farzin et Kort (2001), on suppose que les émissions de polluant peuvent être réduites grâce à une technologie de traitement de la pollution en bout de chaîne. Les exemples de techniques de ce type sont nombreux. Il s'agit de filtres d'épuration, de dépoussiéreurs et, plus généralement, d'équipements de traitement, épuration et élimination de la pollution. Cette forme de dépollution est la plus courante dans la pratique⁽⁵⁾.

On note $e(x, w)$ les émissions de polluant, où w représente un niveau d'investissement dans la technologie de dépollution⁽⁶⁾. Les dérivées premières et secondes de la fonction d'émissions sont supposées telles que : $e_x(x, w) > 0$ (chaque unité produite génère de la pollution) ; $e_w(x, w) < 0$ (l'investissement dans la dépollution réduit la quantité finale d'émissions générées) ; $e_{xx} = 0$ (chaque unité produite engendre la même quantité de pollution) et $e_{ww}(x, w) \geq 0$ (plus une firme investit dans la dépollution, moins la dernière unité

d'investissement permet de réduire les émissions). De plus, on suppose que la fonction d'émissions est additivement séparable : $e_{xw} = 0$. Cette hypothèse se justifie par le fait qu'une dépollution en bout de chaîne n'affecte pas le processus de production. La quantité de pollution générée par chaque unité produite n'est donc pas modifiée avec le niveau de dépollution en bout de chaîne (le niveau w n'affecte pas e_x). Toutes les hypothèses posées sur la fonction e sont présentes dans Katsoulacos et Xepapadeas (1995).

Les firmes émettent des quantités différentes de pollution à travers la production. La firme efficace pour produire a une fonction d'émission notée $\underline{e}(x, w)$ et la fonction d'émission de la firme inefficace est $\bar{e}(x, w)$. La pollution générée par chaque unité produite par la firme efficace est $\frac{\partial \underline{e}(x, w)}{\partial x} = e_x$, alors que la pollution générée par

chaque unité produite par la firme inefficace est notée $\frac{\partial \bar{e}(x, w)}{\partial x} = \beta e_x$. L'investissement dans la

dépollution en bout de chaîne permet de réduire la pollution de la même manière pour les deux firmes, i.e. $\frac{\partial \underline{e}(x, w)}{\partial w} = \frac{\partial \bar{e}(x, w)}{\partial w} = e_w(w)$, car on suppose que

les deux firmes émettent le même polluant et utilisent la même technologie de dépollution. Deux hypothèses sont envisageables concernant la double asymétrie qui différencie les firmes. Premièrement, on peut supposer que la firme la plus efficace génère moins de pollution à travers sa production : $\beta > 1$. C'est le cas implicitement étudié par Simpson (1995). Deuxièmement, on peut supposer que la firme la plus efficace pour produire génère plus de pollution : $\beta \in]0, 1[$.

Le coût de l'investissement dans la dépollution est noté $G(w)$ et est le même pour les deux firmes. La fonction G est croissante convexe, ce qui traduit également des rendements d'échelle non croissants pour l'investissement dans la dépollution. Chaque firme prend deux décisions : sa production et son niveau d'investissement dans la dépollution. Enfin, la fonction de demande inverse du bien de consommation est notée $P(X)$, où X représente la quantité totale produite dans l'économie. On suppose que la fonction P est décroissante et linéaire⁽⁷⁾.

Dans ce cadre, on considère l'existence de deux institutions. D'une part, une agence environnementale vise un objectif exogène : la somme des émissions des deux firmes doit être inférieure à une valeur fixe E . D'autre part, une autorité de la concurrence est consultée sur la politique de l'agence environnementale.

À l'équilibre *ex ante*, chaque firme choisit sa quantité produite et son niveau d'investissement de manière à maximiser son profit à décisions données

de l'autre firme. On note $\underline{\pi}$ et $\bar{\pi}$ le profit respectif des deux firmes :

$$\max_{x,w} \underline{\pi} = P(X)x - C(x) - G(w)$$

$$\max_{x,w} \bar{\pi} = P(X)x - \alpha C(x) - G(w)$$

Les valeurs pour la quantité produite par chaque firme, notées \underline{x} et \bar{x} , sont alors données par les conditions du premier ordre suivantes⁽⁸⁾ :

$$(1) P(X) + P'\underline{x} - C'(\underline{x}) = 0$$

$$(2) P(X) + P'\bar{x} - \alpha C'(\bar{x}) = 0$$

Les valeurs pour la décision d'investissement dans la dépollution sont : $\underline{w} = \bar{w} = 0$. En l'absence de politique environnementale, les firmes choisissent de ne pas investir dans la dépollution car elles ne retirent aucun bénéfice de cet investissement. En outre, on observe une inefficacité productive à l'équilibre *ex ante* : les coûts totaux de production ne sont pas minimisés. Plus précisément, on montre que :

Lemme 1 : *À l'équilibre ex ante, la part de marché de la firme efficace est insuffisante par rapport à une allocation efficace de la production entre les deux firmes.*

Preuve : Étant données les hypothèses sur les fonctions P et C , la production d'une firme décroît avec son coût marginal de production et croît avec le coût marginal de sa rivale (Tirole, 1988). La firme efficace produit donc plus que sa rivale ($\underline{x} > \bar{x}$). De plus, d'après les équations (1) et (2), l'équilibre *ex ante* n'engendre pas l'égalité des coûts marginaux de production ($C'(\underline{x}) \neq \alpha C'(\bar{x})$) du fait de la présence du terme $P'x$ et n'atteint donc pas la minimisation des coûts totaux de production. Étant donné que $\underline{x} > \bar{x}$ et $P' < 0$, les équations (1) et (2) impliquent que :

$$(3) C'(\underline{x}) < \alpha C'(\bar{x})$$

Les coûts étant supposés convexes, l'équation (3) indique que la firme efficace ne produit pas suffisamment par rapport à sa rivale pour que les coûts marginaux soient égaux.

Les émissions totales à l'équilibre *ex ante* sont :

$$E_0 = \underline{e}(\underline{x}, 0) + \bar{e}(\bar{x}, 0)$$

et l'agence environnementale vise un objectif exogène E , avec $E < E_0$.

La taxe par unité d'émissions

Lorsque l'agence environnementale introduit une taxe t par unité d'émissions, chaque firme maximise son profit en tenant compte du paiement de la taxe :

$$\max_{x,w} \underline{\pi}^t = P(X)x - C(x) - G(w) - t\underline{e}(x,w)$$

$$\max_{x,w} \bar{\pi}^t = P(X)x - \alpha C(x) - G(w) - t\bar{e}(x,w)$$

Les quantités produites par les firmes, notées \underline{x}^t et \bar{x}^t , sont données par le système d'équations suivant :

$$(4) P(X^t) + P'\underline{x}^t - C'(\underline{x}^t) - te_x = 0$$

$$(5) P(X^t) + P'\bar{x}^t - \alpha C'(\bar{x}^t) - t\beta e_x = 0$$

Le prix d'équilibre avec la taxe est plus élevé qu'*ex ante* (comparer (1) et (4), ou (2) et (5)), *i.e* la production totale diminue. Cet effet est dû à la hausse des coûts marginaux de production des firmes avec la taxe. La firme efficace voit son coût marginal augmenter de te_x et celui de la firme inefficace augmente de $t\beta e_x$.

L'investissement dans la dépollution choisi par chaque firme est maintenant positif. Il est donné par l'égalité du coût marginal de cet investissement et du bénéfice marginal que les firmes en retirent en réduisant le paiement de la taxe :

$$(6) -G'(\underline{w}^t) - te_w(\underline{w}^t) = 0$$

$$-G'(\bar{w}^t) - te_w(\bar{w}^t) = 0$$

Étant données les hypothèses sur G et $e_w(w)$, les firmes font le même choix d'investissement ($\underline{w}^t = \bar{w}^t = w^t$).

Sachant que les firmes prennent leurs décisions en fonction de t , l'agence environnementale choisit le taux de taxe \hat{t} qui permet d'atteindre l'objectif E , c'est-à-dire tel que :

$$(7) \underline{e}(\underline{x}^{\hat{t}}, w^{\hat{t}}) + \bar{e}(\bar{x}^{\hat{t}}, w^{\hat{t}}) = E$$

On montre facilement, grâce au théorème des valeurs intermédiaires, que l'équation (7) admet une solution unique \hat{t} , décroissante de E .

Effets de la taxe sur les parts de marché

Étant donnée l'asymétrie des firmes, une taxe sur les émissions engendre une hausse des coûts marginaux de production différente pour les deux pollueurs. La taxe procure donc un avantage à l'une des deux

concurrentes par rapport à la situation *ex ante*. Deux cas doivent être distingués :

Cas où $\beta > 1$:

Dans ce cas, comme dans le modèle de Simpson (1995), le coût marginal de production de la firme efficace augmente moins que celui de sa rivale avec l'introduction d'une taxe et cette firme obtient donc un avantage concurrentiel. Dans ce cas, la part de marché de la firme efficace augmente toujours avec la taxe.

Proposition 1 : *Dans un duopole polluant dans lequel la firme efficace est la moins polluante ($\beta > 1$), l'introduction d'une taxe sur les émissions engendre une hausse de la part de marché de la firme efficace.*

Corollaire 1 : *Dans un duopole polluant dans lequel la firme efficace est la moins polluante, la production de la firme inefficace baisse toujours avec l'introduction d'une taxe alors que la production de la firme efficace peut augmenter.*

Preuve : Voir l'annexe 1.

De manière paradoxale, la fiscalité environnementale peut engendrer une hausse de la production de certaines firmes. Cette constatation, ainsi que le résultat de la Proposition 1, confirment les résultats de Simpson avec une autre forme de modélisation.

Cas où $\beta \in]0, 1[$

Dans ce deuxième cas, le coût marginal de production de la firme inefficace augmente moins que celui de sa rivale. C'est donc à présent la firme inefficace qui obtient un avantage concurrentiel avec la fiscalité. La part de marché de la firme inefficace peut alors augmenter. Cela est plus probable lorsque les firmes engendrent des quantités de pollution relativement différentes à travers leur production (β proche de 0). Plus précisément, la part de marché de la firme inefficace augmente avec la taxe si et seulement si :

$$\beta e_x (C'' - P') \leq \alpha C'' (e_x - P' \frac{dX^t}{dt}) + C'' P' \frac{dX^t}{dt} - P' e_x$$

Ce résultat est démontré dans l'annexe 1. Cette inégalité est notamment vérifiée lorsque α tend vers 1 (firmes proches dans leurs coûts de production) et β tend vers 0 (firmes très différentes dans la pollution qu'elles génèrent)⁽⁹⁾.

Proposition 2 : *Dans un duopole polluant dans lequel la firme efficace est plus polluante que sa rivale ($\beta \in]0, 1[$), l'introduction d'une taxe sur les émissions peut engendrer une hausse de la part de*

marché de la firme inefficace. C'est notamment le cas lorsque les firmes sont relativement différentes concernant la pollution qu'elles génèrent.

Corollaire 2 : *Lorsque la part de marché de la firme inefficace augmente avec l'introduction d'une taxe sur les émissions, la production de la firme efficace baisse toujours avec la taxe alors que la production de la firme inefficace peut augmenter.*

Preuve : Voir l'annexe 1.

Les propositions et corollaires ci-dessus demeurent valables dans le cas d'une fonction de demande non linéaire.

Simpson (1995) a mis en relief le fait que la taxe environnementale engendrait un transfert de parts de marché de la firme inefficace vers la firme efficace. On montre ici que le contraire peut arriver. Le cas présenté par Simpson est un des deux cas que l'on peut trouver dans les industries polluantes, et ses résultats sont spécifiques au cadre de son analyse. Ce constat constitue un apport non négligeable à la littérature existante. Tout d'abord, le cadre dans lequel on se situe est pertinent pour étudier les problèmes d'environnement : la taxe est un des instruments les plus courants dans la pratique et les industries polluantes sont souvent imparfaitement concurrentielles. Ensuite, il apparaît fondamental de distinguer de manière explicite les cas où l'efficacité environnementale va de pair ou non avec l'efficacité économique dans le processus de production des firmes. Cet aspect est peu pris en compte dans la littérature alors que les deux cas sont présents dans la pratique. Or nous montrons ici que, selon la situation dans laquelle on se situe, les mesures prises ont des conséquences économiques très différentes, ce qui peut affecter directement les recommandations en matière de politique publique.

L'avis de l'autorité de la concurrence sur la taxe

On a mis en évidence les effets d'une taxe environnementale sur les parts de marché des firmes. On étudie à présent la réaction de l'autorité de la concurrence qui en découle, en fonction de deux critères : la prévention de l'abus de position dominante et la prévention du risque de collusion.

Une des tâches des autorités de la concurrence est de punir ou prévenir l'abus de position dominante d'une firme sur le marché (article L.420-2 du Code de Commerce en France, article 86 du Traité de Rome). Dans cette optique, ces autorités peuvent se prononcer sur une législation en vigueur ou en cours d'élaboration. La DGCCRF est par exemple intervenue en août 2003 dans l'élaboration de la loi n° 2003-708 relative à la promotion des activités sportives afin d'éviter une position dominante suite aux ventes des droits télévisuels du championnat de football de ligue 1 (DGCCRF, 2004).

Comparaison d'instruments

En général, on estime qu'une firme jouit d'une position dominante lorsque sa part de marché dépasse un certain seuil. Dans le cadre de notre modèle, on montre facilement que plus β est élevé, plus la firme efficace obtient une part de marché importante suite à l'introduction d'une taxe. Par conséquent, l'autorité de la concurrence qui souhaite prévenir un potentiel abus de position dominante de la firme efficace émettra plus probablement une réserve face à la taxe lorsque la firme efficace est largement moins polluante que sa rivale (*i.e.* lorsque β est élevé).

Une autre préoccupation principale des autorités de la concurrence est de limiter les risques d'entente entre les firmes (article L. 420-1 du Code de Commerce français, article 85 du Traité de Rome). Un certain nombre d'éléments peuvent faciliter les comportements collusifs. Ces derniers sont notamment plus probables lorsque les firmes utilisent des techniques relativement homogènes ou supportent des coûts relativement proches. En effet, lorsque les firmes sont très différentes, elles n'ont pas le même prix de monopole et il leur est plus difficile de se coordonner sur un niveau de collusion (voir : Encaoua, 1997 ; Perrot, 1997 ; Compte, Jenny et Rey, 2002 ; Ivaldi, Jullien, Rey, Seabright et Tirole, 2003). D'après Jacquemin et Slade (1989), les efforts déployés par les firmes pour aboutir à un accord sont une fonction croissante de l'hétérogénéité et de l'asymétrie des firmes dans les coûts et la qualité des biens.

Dans notre cas, le risque de collusion est augmenté suite à l'introduction d'une taxe lorsque le coût marginal total de production de la firme efficace ($C'(x) + te_x(x)$) se rapproche du coût total marginal de production de la firme inefficace ($\alpha C'(x) + \beta te_x(x)$). Avant la taxe, la différence de coûts marginaux est donnée par :

$$\alpha C'(x) - C'(x) > 0$$

Si $te_x(x) > \beta te_x(x)$, donc si $\beta < 1$, l'introduction d'une taxe provoque une symétrisation des coûts et peut augmenter indirectement le risque de collusion. L'autorité peut donc émettre une réserve face à la taxe lorsque la firme efficace pour produire est cette fois plus polluante que sa rivale (β faible).

On a mis en évidence certaines situations où une autorité de la concurrence pouvait s'opposer à l'introduction d'une taxe environnementale. Ces résultats restent valables pour une fonction de demande non linéaire.

Le conflit d'objectifs qui peut apparaître ici entre l'agence environnementale et l'autorité de la concurrence résulte directement de l'effet de la taxe sur les parts de marché des pollueurs. Ce cadre met donc en évidence l'intérêt potentiel d'instruments de politique environnementale qui seraient neutres sur la répartition de la production entre les entités régulées. C'est le cas de mesures environnementales qui portent exclusivement sur des dépenses en infrastructures ou équipements de dépollution et qui représentent ainsi un coût fixe pour les pollueurs. Ces modes d'intervention n'affectent pas les coûts marginaux de production et n'ont pas d'effets, à court terme, sur les décisions de production des entreprises polluantes. Les exemples d'instruments de ce type sont relativement peu nombreux. La norme de procédé, qui impose aux pollueurs une technologie ou un équipement particulier, entre dans cette catégorie. Il existe, par exemple, des normes de procédé aux États-Unis qui imposent aux centrales électriques de s'équiper de filtres (*scrubbers*) pour les émissions de SO_2 . Certaines formes d'approches volontaires (AV) peuvent également présenter cette propriété de neutralité sur la concurrence⁽¹⁰⁾. Notamment, il existe une AV appliquée au Danemark pour réguler les émissions de CO_2 et de SO_2 qui porte sur un niveau d'effort d'investissement dans une technologie propre⁽¹¹⁾.

Une politique qui porte exclusivement sur un niveau d'investissement dans la dépollution se traduit, dans notre modèle, par un niveau d'investissement \bar{w} imposé aux pollueurs. On suppose que pour atteindre son objectif E , l'agence environnementale peut recourir, soit à une politique sur l'investissement, telle une norme de procédé ou l'AV danoise, soit à une taxe. On étudie alors la préférence de l'autorité de la concurrence entre ces deux instruments. On suppose que le critère retenu par l'autorité de la concurrence est la maximisation de la somme du surplus des consommateurs et du profit des firmes, notée S . Cet objectif est le plus général et le plus neutre que l'on puisse attribuer à une autorité de la concurrence. On pourrait considérer que l'autorité de la concurrence oeuvre uniquement en faveur des consommateurs. Cependant, les autorités de la concurrence interviennent aussi pour préserver les intérêts des certaines entreprises ; elles ne sont pas indifférentes au surplus généré par les firmes. En outre, cet objectif correspond de manière directe à l'objectif affiché par la DGCCRF en France qui est de "garantir les conditions d'un fonctionnement équilibré et transparent du marché, au bénéfice de l'ensemble des opérateurs économiques". Notons que cet objectif est distinct de celui d'un régulateur public bienveillant qui interviendrait à un niveau plus global de l'économie et maximiserait le surplus collectif. En effet, le surplus collectif inclut le

dommage social associé à la pollution alors que l'autorité de la concurrence n'intègre pas les préoccupations environnementales dans son objectif.

Dans le cas de la politique sur l'investissement, l'agence environnementale impose un même niveau \bar{w} aux deux types de firmes⁽¹²⁾. Les firmes choisissent ensuite leur production en maximisant leur profit :

$$\max_x \underline{\pi}^i = P(X)x - C(x) - G(\bar{w})$$

$$\max_x \bar{\pi}^i = P(X)x - \alpha C(x) - G(\bar{w})$$

Les conditions du premier ordre qui résultent de cette maximisation sont équivalentes à celles obtenues en l'absence de politique environnementale (voir les équations (1) et (2)) :

$$(8) P(X) + P'x - C'(x) = 0$$

$$(9) P(X) + P'\bar{x} - \alpha C'(\bar{x}) = 0$$

Par conséquent, les décisions de production des deux firmes ne sont pas affectées par une politique environnementale de type norme de procédé ou AV danoise. En effet, un niveau d'investissement dans la dépollution w ne modifie pas le coût marginal de production ; il intervient comme un coût fixe pour les pollueurs et n'affecte pas la décision de production des firmes.

L'agence environnementale fixe le niveau d'investissement $\bar{w} = \hat{w}$ de manière à atteindre l'objectif E , c'est-à-dire tel que :

$$(10) \underline{e}(x, \hat{w}) + \bar{e}(\bar{x}, \hat{w}) = E$$

On montre facilement, grâce au théorème des valeurs intermédiaires, que cette équation admet une solution unique \hat{w} , décroissante de E .

Comparons maintenant la politique sur l'investissement à la taxe environnementale du point de vue du niveau S atteint. Premièrement, à la fois la fiscalité et la politique sur l'investissement engendrent des coûts d'investissement dans la dépollution pour les pollueurs. Ces coûts réduisent le profit des firmes et jouent donc de manière négative dans la somme S . Les coûts totaux de dépollution pour atteindre l'objectif E s'élèvent à $2G(w^i)$ avec la taxe et à $2G(\hat{w})$ avec la politique sur l'investissement. On montre alors que :

Proposition 3 : *Pour atteindre un objectif environnemental donné, les coûts d'investissement dans la dépollution engendrés par une politique sur l'investissement sont toujours plus élevés que ceux engendrés par une taxe ($G(\hat{w}) > C(w^i)$).*

Preuve : Voir l'annexe 2.

L'intuition associée à ce résultat est simple. Contrairement à la taxe, une politique sur l'investissement n'engendre pas de réduction de la production. Or une baisse de production réduit la pollution émise. Le niveau de dépollution nécessaire pour atteindre un niveau d'émissions donné est donc plus élevé avec une politique qui porte exclusivement sur l'investissement qu'avec une taxe.

Deuxièmement, la taxe engendre une réduction de la quantité totale produite et donc une réduction du surplus des consommateurs⁽¹³⁾. Cet effet joue de manière négative dans le surplus S . La politique sur l'investissement, en revanche, n'a pas d'impact sur la production totale et sur les consommateurs. Ces derniers obtiennent donc toujours un surplus plus élevé avec une politique d'investissement qu'avec une taxe.

Troisièmement, la taxe affecte l'allocation de la production entre les firmes. D'après le Lemme 1, à l'équilibre *ex ante*, la part de marché de la firme efficace est insuffisante par rapport à une allocation optimale de la production. Dans le cas où la firme efficace est la moins polluante ($\beta > 1$), la taxe permet un transfert de production de la firme inefficace vers la firme efficace (Proposition 1). Ce transfert, s'il n'est pas excessif, améliore l'efficacité productive. Néanmoins, dans le cas où la firme efficace est la plus polluante ($\beta \in]0, 1[$), la part de marché de la firme inefficace peut augmenter avec une taxe (Proposition 2). La taxe détériore alors l'efficacité de l'allocation de la production. La neutralité de la politique sur l'investissement peut donc, selon les cas, constituer un atout ou une faiblesse par rapport à la taxe.

Proposition 4 : *La taxe est responsable d'une réduction du surplus des consommateurs et peut, lorsque la firme efficace est la plus polluante ($\beta \in]0, 1[$), détériorer l'efficacité allocative dans l'économie. Une politique sur l'investissement, quant à elle, est neutre sur le surplus des consommateurs et sur l'allocation de la production.*

Globalement, la comparaison entre la politique sur l'investissement et la taxe est ambiguë. La propriété de neutralité d'une politique sur l'investissement peut constituer un avantage par rapport à la taxe lorsque l'effet de la fiscalité sur les quantités produites intervient de manière négative dans S . Cependant, cette neutralité a un coût social : les coûts de dépollution sont plus élevés avec ce type de politique qu'avec la taxe. L'autorité de la concurrence chargée de se prononcer sur sa préférence entre les deux instruments est donc confrontée à un arbitrage entre éviter les effets indirects potentiellement négatifs de la taxe mais

faire subir à la collectivité des coûts de dépollution plus élevés avec l'instrument sur l'investissement.

Afin de déterminer avec plus de précision les facteurs qui interviennent dans la comparaison entre les deux instruments, on écrit de manière formelle la variation de surplus S obtenue dans chaque cas. La variation de S par rapport à la situation *ex ante* lorsque la taxe \hat{t} est appliquée est :

$$(11) \Delta S^t = - \int_{x^i}^x P(u) du - [C(x^i) + \alpha C(\bar{x}^i)] + C(x) + \alpha C(\bar{x}) - 2G(w^i)$$

Lorsque le niveau \hat{w} est imposé aux firmes, cette variation est de :

$$(12) \Delta S^l = 2G(\hat{w})$$

Pour obtenir une condition nécessaire et suffisante sur les paramètres du modèle pour que la politique sur l'investissement soit préférée à la taxe, on donne les formes suivantes aux fonctions du modèle :

$$P(X) = 1 - X ; C(x) = cx ; G(w) = w ;$$

$$e(x, w) = x - \sqrt{w} ; \bar{e}(x, w) = \beta x - \sqrt{w}$$

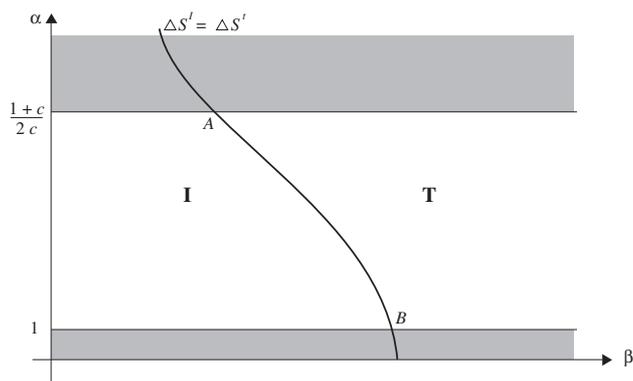
Les expressions de $\hat{w}(E)$ et de $\hat{t}(E)$, ainsi que les décisions des firmes \underline{x} , \bar{x} , \underline{x}^i , \bar{x}^i et w^i obtenues avec cette spécification sont données dans l'annexe 3. Les deux firmes sont supposées produire initialement une quantité strictement positive, d'où la condition suivante sur les paramètres :

$$1 - 2\alpha c + c > 0$$

Les valeurs de ΔS^l et ΔS^t avec cette spécification figurent également dans l'annexe 3. La comparaison de ces deux expressions conduit à une condition nécessaire et suffisante de la forme d'un polynôme du cinquième degré en β (voir l'annexe 3). En utilisant le logiciel *Mathematica*, on trace cette condition dans le repère (β, α) . Pour cela, on pose $E = \frac{1}{2} E_0$ (l'objectif est de réduire de moitié le niveau de pollution initial). La courbe des valeurs pour lesquelles la taxe et la politique sur l'investissement engendrent les mêmes variations de S est notée $\Delta S^l = \Delta S^t$. On trouve que pour les valeurs de $c \in]0, 1[$ (à partir de $c \geq 1$, la condition (13) ne peut jamais être vérifiée), la courbe $\Delta S^l = \Delta S^t$ a une forme similaire, représentée dans le graphique 1 suivant⁽¹⁴⁾. Les coordonnées des points A et B changent légèrement selon les valeurs données à c mais les ordres de grandeur restent les mêmes.

Dans ce graphique, les zones grises correspondent, d'une part, à la zone où α est inférieur à 1 et, d'autre part, à la zone où la condition (13) n'est pas vérifiée.

Graphique 1 : comparaison d'instruments



Elles sont donc exclues de l'analyse. La zone à gauche de la courbe $\Delta S^l = \Delta S^t$ indique les valeurs de α et β pour lesquelles la politique sur l'investissement permet d'atteindre l'objectif E avec une somme S plus élevée que la taxe. Dans la zone à droite de la courbe, c'est la taxe qui permet d'atteindre une somme des surplus plus élevée. On trouve que pour toutes les valeurs de c , avec les spécifications adoptées, la taxe atteint toujours un S plus élevé que l'autre politique lorsque β est supérieur à 1,5 (i.e. l'abscisse du point B est toujours inférieure ou égale à 1,5) et la politique sur l'investissement est toujours plus efficace que la taxe lorsque β est inférieur à 1 (i.e. l'abscisse du point A est toujours supérieure ou égale à 1). Ce graphique montre donc de manière claire que des valeurs de β élevées jouent en faveur de la taxe⁽¹⁵⁾. L'effet du paramètre α apparaît peu significatif et ambigu.

Proposition 5 : *L'autorité de la concurrence qui maximise la somme des surplus dans l'économie préfère une politique qui porte sur l'investissement à une taxe sur la pollution dans une industrie où la firme efficace est largement plus polluante que sa rivale, c'est-à-dire, dans le cadre du modèle, dès que $\beta < 1$.*

On comprend facilement l'intuition de ce résultat. Lorsque β est faible, il est plus probable que la taxe détériore l'allocation de la production entre les firmes. La neutralité sur les quantités produites présente alors un avantage plus marqué du point de vue de la maximisation de S . Une politique qui ne porte que sur l'investissement dans la dépollution est donc préférée à la taxe par l'autorité de la concurrence dans une industrie où le processus de production le moins coûteux est le plus polluant. Les industries métallurgiques et chimiques fournissent des exemples de ce type d'industrie.

Conclusion

Cet article comporte plusieurs contributions. Il permet d'étendre la littérature sur la taxe environnementale en oligopole asymétrique. Plus précisément, il remet en question une partie des résultats de Simpson (1995) sur les effets de la taxe sur l'efficacité allocative dans l'économie. Il s'appuie pour cela sur une modélisation qui s'applique à une forme de dépollution en bout de chaîne, forme de dépollution très représentative du comportement des pollueurs. Ce travail met également en évidence l'intérêt potentiel d'une politique environnementale portant exclusivement sur les décisions d'investissement des pollueurs, dans un contexte où une agence environnementale et une autorité de la concurrence ont des objectifs distincts et parfois contradictoires. Les normes de procédé ou une forme d'approche volontaire appliquée au Danemark constituent des exemples de politiques de ce type. Il est intéressant de remarquer que, pour limiter les effets sur la concurrence, la Commission européenne autorise les États membres à exonérer certaines industries de la taxe sur les produits énergétiques en échange d'investissements en faveur de l'efficacité énergétique (Directive 2003/96/CE). Ce type de mesures s'apparente étroitement à l'AV (approche volontaire) appliquée au Danemark.

Plusieurs pistes méritent d'être explorées pour étendre la portée des résultats obtenus. Plus particulièrement, il serait utile de considérer les entrées et sorties de firmes dans l'oligopole polluant. On examinerait alors les effets respectifs de la taxe et d'une politique sur l'investissement vis-à-vis de la concentration au sein de l'industrie polluante.

Notes

- (1) Voir <http://europa.eu.int/comm/competition/environment>.
- (2) Direction Générale de la Concurrence, de la Consommation et de la Répression des Fraudes.
- (3) Voir Aubert et Pouyet (2004) pour une étude de la complémentarité/substituabilité entre régulation et politique de la concurrence. Voir Perrot (2002) pour une analyse des frontières entre régulation sectorielle et politique de la concurrence. Voir également Baron (1985) pour une modélisation des conflits de régulation entre une agence environnementale et une institution en charge de réguler le prix de l'électricité produite par un monopole.
- (4) Il existe plusieurs exemples d'industries dans lesquelles il existe différents processus de production pour produire un même bien : les centrales électriques, l'industrie du papier, l'industrie chimique.
- (5) Ainsi, en France, les aspects "traitement-épuración-élimination" représentent 82% des investissements des entreprises en faveur de l'environnement (IFEN, 2002).
- (6) Voir Barnett (1980) et Katsoulacos et Xepapadeas (1995). L'unité de valeur de la variable w est monétaire.
- (7) La linéarité de cette fonction est une hypothèse nécessaire pour démontrer certains résultats et l'on signalera au fil de l'article les résultats qui sont valables pour une fonction plus générale $P(X)$ décroissante et telle que les conditions du second ordre des programmes de maximisation soient vérifiées.
- (8) Étant données les hypothèses posées, les conditions du second ordre sont vérifiées tout au long du modèle.
- (9) La production d'électricité fournit un exemple de ce type de cas : l'électricité produite à l'aide d'une turbine à gaz génère considérablement moins d'émissions de certains gaz polluants (SO_2 , CO_2) qu'une production dans une centrale thermique au charbon, alors que les coûts de production induits par ces deux processus de production peuvent être assez proches.
- (10) Les AV sont des engagements volontaires des entreprises polluantes sur leurs performances environnementales, souvent combinés à la menace d'un autre instrument.
- (11) Plus précisément, les pouvoirs publics proposent aux entreprises un contrat qui fixe un certain niveau d'investissement. Celles-ci sont libres d'accepter ou de refuser le contrat, sachant que celles qui le refusent payent une taxe (voir Johannsen et Togeby, 1998, pour une description détaillée de l'AV danoise).
- (12) Étant donné que les deux firmes ont le même coût d'investissement dans la technologie de traitement (même G) et que cette technologie réduit la pollution de la même manière pour les deux firmes (même e_w), le w optimal pour atteindre l'objectif E est le même pour les deux firmes.
- (13) On suppose, comme souvent, que le surplus des consommateurs dépend uniquement du prix du bien de consommation, qui dépend directement de la quantité totale produite à travers la fonction de demande inverse.
- (14) On observe la forme de $\Delta S^I = \Delta S^I$ pour de nombreuses valeurs de c dont : $c = 0,05$, $c = 0,1$, $c = 0,15$, $c = 0,2$, $c = 0,25$, ..., $c = 0,9$, $c = 0,95$, ainsi que pour $c = 0,01$ et $c = 0,99$.

(15) La même démarche et le même type de graphique ont été menés avec une spécification différente.

$$P(X)=a-X, C(x)=x, G(x)=\frac{1}{2}w^2,$$

$$e(x,w)=x-w, \bar{e}(x,w)=\beta x-w.$$

On obtient la même conclusion sur le rôle de β . On a aussi vérifié, avec les deux spécifications, que la conclusion sur le rôle de β restait valable pour différentes valeurs de E (on a posé $E=\gamma E_0$ et balayé toutes les valeurs de $\gamma < 1$).

Bibliographie

Aubert C. et Pouyet J. (2004). "Competition Policy, Regulation and Institutional Design of Industry Supervision", *Recherches Économiques de Louvain - Louvain Economic Review*, vol. 70(2).

Barnett A. H. (1980). "The Pigouvian Tax Rule Under Monopoly", *American Economic Review*, vol. 70, pp. 1037-1041.

Baron D.P. (1985). "Noncooperative Regulation of a Nonlocalized Externality", *The RAND Journal of Economics*, vol. 16(4), pp. 553-568.

Carraro C. et Soubeyran A. (1996). "Environmental Taxation, Market Share and Profits in Oligopoly", in *Environmental Policy and Market Structure*, Kluwer Academic Publishers, pp. 18-36.

Compte O., Jenny F. et Rey P. (2002). "Capacity Constraints, Mergers and Collusion", *European Economic Review*, vol. 46(1), pp. 1-29.

Commission Européenne (2001). "Encadrement communautaire des aides d'État pour la protection de l'environnement", Communication de la Commission, *Journal Officiel C 37* du 03.02.2001.

Conseil de la Concurrence (2004). "Rapport d'activité".

Conrad K. et Wang J. (1993). "The Effect of Emission Taxes and Abatement Subsidies on Market Structure", *International Journal of Industrial Organization*, vol. 15(5), pp. 617-628.

Direction Générale de la Concurrence, de la Consommation et de la Répression des Fraudes (2004). "Rapport d'activité".

Encaoua D. (1997). "Les politiques communautaires de la concurrence", in *L'économie Normative*, Economica, pp. 72-89.

Farzin Y.H. et Kort P.M. (2000). "Pollution Abatement Investment when Environmental Regulation is Uncertain", *Journal of Public Economic Theory*, vol. 2, pp. 183-212.

Institut Français de l'Environnement (2002). *L'environnement en France*, Édition la Découverte.

Ivaldi M., Julien B., Rey P., Seabright P. et Tirole J. (2003). "The Economics of Collusion", *Final Report for DG Competition*, European Commission.

Izart C., Juvigny B., Lehmann F., Louvot M. et Prévot H. (2004). "Rapport d'enquête sur les prix de l'électricité", Inspection générale des Finances - Conseil général des Mines, octobre 2004, Ministère de l'Économie, des Finances et de l'Industrie.

Jacquemin A. et Slade M.E. (1989). "Cartels, Collusion and Horizontal Mergers", in *Handbook of Industrial Organization, Volume I*, Elsevier Science Publishers, pp. 156-181.

Johannsen K. et Togeby M. (1998). "Evaluation of the Danish CO₂ Agreement Scheme", paper presented at the CAVA (Concerted Action on Voluntary Approach) workshop "The World-Wide Use of Voluntary Approaches-State of the Art and National Patterns", Gent, Belgium.

Katsoulacos Y. et Xepapadeas A. (1995). "Environmental Policy Under Oligopoly with Endogenous Market Structure", *Scandinavian Journal of Economics*, vol. 97(3), pp. 411-420.

Katsoulacos Y. et Xepapadeas A. (1996). "Emission Taxes and Market Structure", in *Environmental Policy and Market Structure*, Kluwer Academic Publishers.

OCDE (1999). *Les approches volontaires dans les politiques de l'environnement : analyse et évaluation*, Édition de l'OCDE.

Perrot A. (2002). "Les frontières entre régulation sectorielle et politique de la concurrence", *Revue Française d'Économie*, vol. 16(4), pp. 81-112.

Perrot A. (1997). *Réglementation et concurrence*, Economica.

Requate T. (1997). "Green Tax in Oligopoly if the Number of Firms Is Endogenous", *Finanzarchiv*, vol. 54, pp. 261-80.

Simpson R. D. (1995). "Optimal Pollution Taxes in a Cournot Duopoly", *Environmental and Resource Economics*, vol. 6, pp. 359-69.

Souam S. (1997). "Instruments et mécanismes des politiques de la concurrence : les incitations comme fondement du contrôle des comportements et des structures de marché", *Thèse de doctorat de sciences économiques*, Université de Paris I.

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

Preuve de la Proposition 1:

Les équations (4) et (5) montrent de manière immédiate que le prix P du bien de consommation augmente avec l'introduction de toute taxe t positive. Étant donné que $P(X)$ est une fonction décroissante, la quantité produite totale diminue avec l'introduction d'une taxe. On a donc :

$$(14) \quad \frac{dX^t}{dt} = \frac{dx^t}{dt} + \frac{d\bar{x}^t}{dt} < 0$$

En différenciant totalement l'équation (4) on obtient :

$$(15) \quad \frac{dx^t}{dt} = \frac{P' \frac{dX^t}{dt} - e_x}{-P' + C''}$$

En différenciant totalement l'équation (5) on obtient :

$$(16) \quad \frac{d\bar{x}^t}{dt} = \frac{P' \frac{dX^t}{dt} - \beta e_x}{-P' + \alpha C''}$$

Le dénominateur des équations (15) et (16) est positif car $P' < 0$ et $C'' \geq 0$. Le signe du numérateur dans ces équations est ambigu car $P' < 0$, $\frac{dX^t}{dt} < 0$ et $e_x > 0$. On ne peut donc pas

conclure *a priori* sur le signe de $\frac{dx^t}{dt}$ et $\frac{d\bar{x}^t}{dt}$. Le dénominateur de la fraction (16) est supérieur à celui de la fraction (15) car α est supérieur à 1. De plus, lorsque $\beta > 1$, le numérateur dans (16) est plus faible que le numérateur dans (15). Par conséquent :

$$\frac{dx^t}{dt} > \frac{d\bar{x}^t}{dt}, \quad \forall t$$

Lorsque $\beta > 1$, la part de marché de la firme efficace augmente avec l'introduction d'une taxe sur les émissions.

Preuve de la Proposition 2 :

Lorsque $\beta \in]0, 1[$, le dénominateur de la fraction (16) est toujours supérieur au dénominateur de la fraction (15) mais le numérateur de la fraction (16) est maintenant plus élevé que le numérateur dans (15). Par conséquent, il existe des cas où (16) est plus élevé que (15), c'est-à-dire où :

$$\frac{d\bar{x}^t}{dt} > \frac{dx^t}{dt}, \quad \forall t$$

En écrivant $\frac{d\bar{x}^t}{dt} > \frac{dx^t}{dt}$ grâce aux équations (15) et (16) et après quelques simplifications, on obtient la condition nécessaire et suffisante suivante pour que la part de marché de la firme inefficace augmente avec la taxe :

$$(17) \quad \beta e_x (C'' - P') \leq \alpha C'' \left(e_x - P' \frac{dX^t}{dt} \right) + C'' P' \frac{dX^t}{dt} - P' e_x$$

Étant donné (14), soit les quantités produites par les deux firmes diminuent, c'est-à-dire qu'à la fois $\frac{dx^i}{dt}$ et $\frac{d\bar{x}^i}{dt}$ sont négatifs, soit l'un de ces deux termes est positif et alors l'autre est nécessairement négatif pour pouvoir vérifier $\frac{dX^i}{dt} < 0$. Quand $\beta > 1$, on a montré que $\frac{dx^i}{dt} > \frac{d\bar{x}^i}{dt}$. Donc $\frac{d\bar{x}^i}{dt}$ est nécessairement négatif (la production de la firme inefficace diminue) et $\frac{dx^i}{dt}$ peut éventuellement être positif (la production de la firme efficace peut augmenter). D'après le même raisonnement, lorsque $\beta \in]0,1[$ et que $\frac{d\bar{x}^i}{dt} > \frac{dx^i}{dt}$, la production de la firme efficace diminue nécessairement avec une taxe alors que la production de la firme inefficace peut augmenter.

D'après les équations (7) et (10) on a :

$$(18) \quad \underline{e}(x^i, w^i) + \bar{e}(\bar{x}^i, w^i) = \underline{e}(x, \hat{w}) + \bar{e}(\bar{x}, \hat{w})$$

La fonction e est additivement séparable et linéaire en x donc l'égalité (18) peut s'écrire :

$$(19) \quad \underline{e}(0, w^i) + \bar{e}(0, w^i) - \underline{e}(0, \hat{w}) - \bar{e}(0, \hat{w}) = e_x [\underline{x} + \beta \bar{x} - (x^i + \beta \bar{x}^i)]$$

Montrons à présent que l'équation (19) est positive. Pour cela, on montre que $\frac{dx^i}{dt} + \beta \frac{d\bar{x}^i}{dt} < 0, \forall t$. On rappelle que :

$$(20) \quad \frac{dX^i}{dt} = \frac{dx^i}{dt} + \frac{d\bar{x}^i}{dt} < 0$$

Par conséquent :

– lorsque $\beta > 1$, d'après le Corollaire 1 on a toujours $\frac{d\bar{x}^i}{dt} < 0$.

Donc d'après (20) $\frac{dx^i}{dt} + \beta \frac{d\bar{x}^i}{dt} < 0$;

– lorsque $\beta \in]0,1[$, plusieurs cas peuvent se présenter :

→ si $\frac{dx^i}{dt} < 0$ et $\frac{d\bar{x}^i}{dt} < 0$, il est immédiat que $\frac{dx^i}{dt} + \beta \frac{d\bar{x}^i}{dt} < 0$;

→ si $\frac{dx^i}{dt} < 0$ et $\frac{d\bar{x}^i}{dt} > 0$ alors $\frac{d\bar{x}^i}{dt} > \beta \frac{dx^i}{dt}$, car $\beta < 1$. De plus, d'après (20) on a $-\frac{dx^i}{dt} > \frac{d\bar{x}^i}{dt}$. Donc $-\frac{dx^i}{dt} + \beta \frac{d\bar{x}^i}{dt} < 0$;

→ enfin, d'après les équations (15) et (16) de l'annexe 1, on observe que quand $\beta < 1$, il est impossible qu'à la fois $\frac{dx^i}{dt} > 0$ et $\frac{d\bar{x}^i}{dt} < 0$.

Ainsi, dans tous les cas de figure possibles on montre que $(\frac{dx^i}{dt} + \beta \frac{d\bar{x}^i}{dt})$ est négatif. On peut donc écrire que $\frac{d(\underline{x}^i + \beta \bar{x}^i)}{dt} < 0, \forall t$ ou encore :

$$\underline{x} + \beta \bar{x} > \underline{x}^i + \beta \bar{x}^i$$

Donc le terme de droite de l'égalité (19) est positif. Ainsi :

$$\underline{e}(0, w^i) + \bar{e}(0, w^i) > \underline{e}(0, \hat{w}) + \bar{e}(0, \hat{w})$$

\underline{e} et \bar{e} sont toutes les deux des fonctions décroissantes de leur second terme w donc :

$$\hat{w} > w^i$$

G est une fonction croissante donc l'inégalité ci-dessus équivaut à : $G(\hat{w}) > G(w^i)$.

Annexe 3

Avec la politique sur l'investissement (la production des firmes est la même qu'à l'équilibre *ex ante*) :

$$\underline{x} = \frac{1-2c+\alpha c}{3}$$

$$\bar{x} = \frac{1-2\alpha c+c}{3}$$

On suppose que les deux firmes produisent initialement une quantité strictement positive. Donc : $1-2\alpha c+c > 0$.

Avec une taxe t :

$$\underline{x}^t = \frac{1-2c-2t+\alpha c+t\beta}{3}$$

$$\bar{x}^t = \frac{1-2\alpha c-2t\beta+c+t}{3}$$

$$w^t = \left(\frac{t}{2}\right)^2$$

Le taux de taxe \hat{t} qui permet d'atteindre l'objectif E est donné par :

$$\underline{e}(\underline{x}^t, w^t) + \bar{e}(\bar{x}^t, w^t) = E$$

Après simplifications, on obtient :

$$(21) \quad \hat{t} = \frac{1-2c+\alpha c+\beta(1-2\alpha c+c)-3E}{2\beta^2-2\beta+5}$$

Le niveau \hat{w} qui permet d'atteindre l'objectif E est tel que :

$$\frac{1-2c+\alpha c}{3} + \beta \frac{1-2\alpha c+c}{3} - 2\sqrt{\hat{w}} = E$$

d'où :

$$\hat{w} = \frac{1}{36} [1-2c+\alpha c+\beta(1-2\alpha c+c)-3E]^2$$

Étant données les valeurs ci-dessus et après simplifications, on obtient les expressions suivantes pour ΔS^t et ΔS^l

$$\Delta S^t = -\frac{1}{18} \hat{t}^2 (1+\beta)^2 + 2\hat{t} [\beta(4c-5\alpha c+1)-5c+4\alpha c+1] - 2w^t$$

$$\Delta S^l = -2\hat{w}$$

En remplaçant \hat{t} et \hat{w} dans les expressions de ΔS^l et ΔS^t par leurs valeurs données ci-dessus et après simplifications on obtient que l'inégalité $\Delta S^l > \Delta S^t$ est équivalente à :

$$(22) \quad [1-2c+\alpha c+\beta(1-2\alpha c+c)-3E][9-2\beta^2-2\beta+5]^2 \\ + (1+\beta)^2 + 2(2\beta^2-2\beta+5)[\beta(4c-5\alpha c+1) \\ -5c+4\alpha c+1] > 0$$