



Munich Personal RePEc Archive

## **Regulation of a duopoly and environmental RD**

Ben Youssef, Slim and Dinar, Zeineb

Ecole Supérieure de Commerce de Tunis, Faculté des Sciences  
Economiques et de Gestion de Tunis

May 2009

Online at <https://mpra.ub.uni-muenchen.de/22340/>  
MPRA Paper No. 22340, posted 27 Apr 2010 06:20 UTC

# Régulation d'un Duopole et R&D Environnementale

**Slim Ben Youssef**

Ecole Supérieure de Commerce de Tunis  
Campus Universitaire, Manouba 2010, Tunisie  
slim.benyoussef@gnet.tn  
Téléphone : (00216) 97 363596

**Zeineb Dinar**

Faculté des Sciences Economiques et de Gestion de Tunis  
Campus Universitaire, El Manar II, Tunis 2092, Tunisie  
dinarzeineb@yahoo.fr

*Première version: Mai 2009*

*Cette version: Février 2010*

**Résumé:** On développe un modèle de jeu à trois étapes composé d'un régulateur et de deux firmes. Ces firmes sont en concurrence sur le même marché où elles offrent le même bien homogène, et peuvent investir en R&D pour baisser leur ratio d'émission/production. Au moyen d'une taxe par unité d'émission et d'une subvention par unité de niveau de R&D, le régulateur peut induire l'optimum de premier ordre, lorsque le coût marginal de production est croissant. Ceci n'est pas le cas si le coût marginal de production est constant.

**Mots-clé:** Duopole; Taxe d'émission; Subvention de R&D; Optimum de Premier Ordre; Coût marginal croissant.

**Classifications JEL:** C72; D62; H21; O32.

## 1. Introduction

L'environnement subit une dégradation de plus en plus visible due à l'activité humaine et notamment industrielle. Vu que le marché ne peut internaliser ces dommages causés à l'environnement, l'intervention de l'Etat (régulateur) est nécessaire. Différents instruments de régulation sont utilisés dont nous citons les taxes d'émission, les standards, les permis d'émission et les subventions de R&D. La stratégie d'encouragement au développement et à la diffusion de technologies plus propres joue un rôle très important puisqu'elle permet de moins polluer sans entraver la croissance économique.

Milliman et Prince (1989) ont considéré une industrie compétitive formée de firmes identiques et ont évalué les effets incitatifs, pour promouvoir le développement technologique dans le contrôle de la pollution, de cinq instruments de politique environnementale qui sont le contrôle direct, les subventions à l'émission, les taxes d'émission, les marchés libres de permis d'émission et les marchés de permis d'émission aux enchères. Ils ont montré que les taxes d'émission et les permis aux enchères donnent le plus d'incitations aux firmes pour opérer un changement technologique. Jung, Krutilla et Boyd (1996) ont étendu cette approche comparative à une industrie hétérogène. Stranlund (1997) a étudié l'aide publique pour encourager les firmes à adopter des technologies de contrôle de la pollution. L'aide publique réduit l'effort nécessaire aux firmes pour se conformer aux réglementations environnementales. La politique d'aide est plus attractive lorsque le 'monitoring' est difficile à cause des émissions qui ne sont pas mesurées facilement à l'instar des problèmes de pollution non ponctuelle. En conséquence, cette politique réduit les coûts de conformité des firmes régulées et peut stimuler le progrès technique de contrôle de la pollution.

Farzin et Kort (2000) ont étudié la régulation d'une firme compétitive et ont examiné l'effet d'un plus grand taux de taxation sur l'investissement en réduction de la pollution, aussi bien lorsque il y a certitude parfaite ou lorsque la date ou le taux d'augmentation de la taxe est incertain. Ils ont montré la possibilité qu'un taux de taxation plus grand induit plus de pollution et qu'une menace crédible pour

accélérer l'augmentation de la taxe peut mener à plus d'investissement en réduction de pollution. Fischer et Newell (2008) ont montré comment la nature du progrès technologique à travers l'apprentissage et la R&D, ainsi que le degré de transfert de la connaissance, affectent le choix de la politique de régulation.

En utilisant un modèle de jeu à deux étapes, D'Aspremont et Jacquemin (1988, 1990) ont examiné les effets du comportement d'un duopole en situation de non coopération et de coopération en R&D en présence d'externalité positive de R&D. Ben Youssef (2009) a considéré un jeu non-coopératif et symétrique à trois étapes constitué par deux hiérarchies régulateur-firme. Il a montré que les externalités positives de R&D et la compétition des firmes sur le marché commun aident les pays non coopératifs à mieux internaliser la pollution transfrontière. Plus intéressant, la compétition internationale augmente la taxe par unité d'émission et diminue la subvention par unité de niveau de R&D.

Ce modèle diffère de celui de Ben Youssef (2009) par le fait que dans le présent papier on a un seul régulateur et un duopole, le coût marginal de production des firmes est croissant, et nous supposons qu'il n'y a pas d'externalité de R&D entre les firmes et pas de pollution transfrontière.

On considère un modèle de jeu à trois étapes composé d'un régulateur et de deux firmes. Ces firmes sont en concurrence sur le même marché où elles offrent le même bien homogène. Leur activité de production est caractérisée par un coût marginal croissant, et génère de la pollution. Ces firmes peuvent investir en R&D pour baisser leur ratio d'émission/production. Étant donné que les deux firmes constituent un duopole et que leur activité est polluante, l'intervention du régulateur est nécessaire. Ce dernier utilise deux instruments de régulation qu'il annonce à la première étape du jeu : une taxe par unité d'émission et une subvention par unité de niveau de R&D. Les firmes réagissent en investissant en R&D à la deuxième étape, et en écoulant leur production à la troisième étape. Ce jeu est résolu par la méthode d'induction rétroactive (*backward induction*) de manière à obtenir un équilibre de Nash parfait.

Nous montrons que, lorsque le coût marginal de production du duopole est croissant, le régulateur peut induire les deux firmes à atteindre les niveaux de production et de R&D socialement optimaux, au moyen des deux instruments de

régulation qui sont une taxe par unité d'émission et une subvention par unité de niveau de R&D. Notons, qu'il n'est pas possible au régulateur d'atteindre l'optimum de premier ordre tout en supposant que les deux firmes sont actives si le coût marginal de production de ces dernières était constant.

Le papier a la structure suivante. Dans la section 2, nous introduisons le modèle. La section 3 étudie la réaction des firmes, la section 4 dégage la taxe d'émission et la subvention de R&D socialement optimales, et la section 5 conclue.

## 2. Le modèle

On considère une industrie composée de deux firmes produisant le même bien homogène vendu sur le marché ayant la fonction inverse de demande suivante  $p = a - (q_i + q_j)$ ,  $a > 0$ . Une raison pour la structure de marché que nous adoptons est que les marchés des industries qui s'engagent dans d'importants investissements en R&D sont souvent oligopolistiques.

Puisque les deux firmes constituent un duopole et que leur activité de production est polluante, elles sont régulées. Le régulateur maximise son bien-être social et utilise deux instruments de régulation qu'il annonce à la première étape du jeu:<sup>1</sup> une taxe par unité d'émission de pollution  $t_i$  qui induit les niveaux socialement optimaux de production et de pollution, et une subvention par unité de niveau de R&D  $r_i$  qui induit le niveau de R&D et le ratio d'émission/production socialement optimaux. Les firmes réagissent en investissant en R&D à la deuxième étape, et en écoulant leur production sur le marché à la troisième étape. Ce jeu à trois étapes est résolu par rétroduction de manière à obtenir un équilibre de Nash parfait.

L'activité de production des firmes génère de la pollution et ces dernières peuvent investir en R&D pour baisser leur ratio fixe émission/production. Le niveau  $x_i$  de R&D coûte  $kx_i^2$ ,  $k > 0$ .

---

<sup>1</sup> Ces deux instruments sont nécessaires dans ce modèle. En effet, même si le niveau socialement optimal de pollution peut être induit uniquement par un seul instrument, tel que les permis d'émissions, il n'y a aucune incitation aux firmes d'atteindre les niveaux socialement optimaux de production et de R&D.

En normalisant l'émission par unité de production à un sans innovation, le ratio émission/production de la firme  $i$  est  $e_i = 1 - x_i$ , et l'émission de sa pollution est  $E_i = (1 - x_i)q_i$ . Ainsi, nous supposons qu'il n'y a pas d'externalité positive de R&D entre les firmes.

Le dommage causé par la firme  $i$  est  $D_i = \alpha E_i$ , où  $\alpha > 0$  est le dommage marginal de la pollution.

Le coût de production de la firme  $i$  est  $\theta q_i^2$ ,  $\theta > 0$ , ce qui suppose que le coût marginal de production est croissant.<sup>2</sup> Le profit de la firme  $i$  est  $\Pi_i = p(q_i, q_j)q_i - \theta q_i^2 - kx_i^2$ , et son profit net des taxes et des subventions est  $V_i = \Pi_i - t_i E_i + r_i x_i$ .

Le surplus des consommateurs engendré par la consommation de  $Q = q_i + q_j$  est:

$$CS = \int_0^{q_i+q_j} p(u)du - p(q_i, q_j)(q_i + q_j) = \frac{1}{2}(q_i + q_j)^2$$

Le bien-être social est égal au bien-être des consommateurs plus les profits nets des deux firmes. Après simplifications, il devient égal au surplus des consommateurs moins les dommages plus les profits des deux firmes :

$$S(q_i, q_j, x_i, x_j) = CS - D_i - D_j + \Pi_i + \Pi_j \quad (1)$$

Nous remarquons que les taxes et les subventions n'apparaissent pas dans la fonction de bien-être social car la taxe diminuée du profit de chaque firme est ajoutée au bien-être des consommateurs, et la subvention ajoutée au profit de chaque firme est diminuée du bien-être des consommateurs.

### 3. La réaction des firmes

Etant données la taxe d'émission et la subvention de R&D annoncées par le régulateur dans la première étape, chaque firme réagit en choisissant ses niveaux optimaux d'innovation et de production dans les étapes deux et trois,

---

<sup>2</sup> Si nous utilisons un coût marginal constant, les niveaux de production socialement optimaux seraient donnés par leur somme, et nous ne serions pas capable de déterminer les niveaux socialement optimaux de R&D tout en supposant que les deux firmes sont actives.

respectivement. Par la méthode d'induction rétroactive, dans la troisième étape, la firme maximise son profit net par rapport à son niveau de production, et dans la deuxième étape, elle maximise son profit net par rapport à son niveau de R&D.

Les conditions de premier ordre de la troisième étape pour les firmes sont :

$$\frac{\partial V_i}{\partial q_i} = \frac{\partial V_j}{\partial q_j} = 0 \quad (2)$$

La résolution du système (2) donne :

$$q_i^* = \frac{(2\theta + 1)a - 2(1 + \theta)t_i(1 - x_i) + t_j(1 - x_j)}{(2\theta + 1)(2\theta + 3)} \quad (3)$$

Nous en déduisons que :

$$\frac{\partial q_i^*}{\partial x_i} = \frac{2(1 + \theta)t_i}{(2\theta + 1)(2\theta + 3)}, \quad \frac{\partial q_i^*}{\partial x_j} = -\frac{t_j}{(2\theta + 1)(2\theta + 3)}$$

Lorsque les taxes d'émission sont positives; si la firme  $i$  augmente son niveau de R&D, alors son ratio d'émission diminue ce qui lui permet d'augmenter son niveau de production, et incite ainsi la firme concurrente à diminuer sa production.

L'expression symétrique de (3) est :

$$q_i^* = \frac{a - t_i(1 - x_i^*)}{(2\theta + 3)} \quad (4)$$

La condition de premier ordre de la deuxième étape de la firme  $i$  est:<sup>3</sup>

$$\frac{dV_i}{dx_i} = \frac{\partial q_i^*}{\partial x_i} \frac{\partial V_i}{\partial q_i} + \frac{\partial q_j^*}{\partial x_i} \frac{\partial V_i}{\partial q_j} + \frac{\partial V_i}{\partial x_i} = 0 \quad (5)$$

A l'équilibre, en utilisant (2), l'équation (5) est simplifiée, et en utilisant (3) pour les dérivées partielles puis (4), sa solution symétrique<sup>4</sup> est:

$$x_i^* = \frac{4(1 + \theta)^2 t_i (a - t_i) + (2\theta + 1)(2\theta + 3)^2 r_i}{2(2\theta + 1)(2\theta + 3)^2 k - 4(1 + \theta)^2 t_i^2} \quad (6)$$

<sup>3</sup> La condition de second ordre est vérifiée pour  $k$  suffisamment grand par rapport à  $a$ ,  $\theta$  et  $\alpha$ .

<sup>4</sup> Nous cherchons les équilibres symétriques car le modèle est symétrique et les calculs sont plus faciles. Comme on l'expliquera à la section suivante, la résolution rétroactive du jeu est arrêtée à la deuxième étape. Pour cette raison, on a le droit de chercher les équilibres symétriques à cette deuxième étape.

#### 4. La taxe d'émission et la subvention de R&D socialement optimales

Dans la première étape, en utilisant les expressions des niveaux de production et de R&D optimales pour les firmes déterminées à la troisième et deuxième étape, le régulateur maximise son bien-être social donné par (1) par rapport à  $t_i, t_j, r_i$  et  $r_j$ . Cependant, cette méthode directe n'est pas du tout facile à réaliser. Ainsi, nous allons utiliser une méthode beaucoup plus simple. En effet, le régulateur va choisir les quantités de production et de R&D socialement optimales à la troisième et deuxième étape, respectivement. Après, en égalisant les quantités socialement optimales obtenues à celles optimales pour les firmes, il déterminera la taxe d'émission et la subvention de R&D socialement optimales. En fait, le modèle est résolu comme si c'était un jeu à deux étapes.

Les conditions de premier ordre de la troisième étape du régulateur sont :

$$\frac{\partial S}{\partial q_i} = \frac{\partial S}{\partial q_j} = 0 \quad (7)$$

La résolution du système (7) donne pour  $i=1, 2$  :

$$\hat{q}_i = \frac{2\theta a - \alpha(2\theta + 1)(1 - x_i) + \alpha(1 - x_j)}{4\theta(1 + \theta)} \quad (8)$$

L'expression symétrique de (8) est :

$$\hat{q}_i = \frac{a - \alpha(1 - \hat{x}_i)}{2(1 + \theta)} \quad (9)$$

Les conditions de premier ordre de la deuxième étape du régulateur sont:<sup>5</sup>

$$\frac{dS}{dx_i} = \frac{\partial \hat{q}_i}{\partial x_i} \frac{\partial S}{\partial q_i} + \frac{\partial \hat{q}_j}{\partial x_i} \frac{\partial S}{\partial q_j} + \frac{\partial S}{\partial x_i} = 0 \quad (10)$$

$$\frac{dS}{dx_j} = \frac{\partial \hat{q}_i}{\partial x_j} \frac{\partial S}{\partial q_i} + \frac{\partial \hat{q}_j}{\partial x_j} \frac{\partial S}{\partial q_j} + \frac{\partial S}{\partial x_j} = 0 \quad (11)$$

En utilisant (7), le système (10)-(11) est simplifié. En utilisant (8) pour les dérivées partielles puis (9), la solution symétrique de (10)-(11) est:

$$\hat{x}_i = \frac{\alpha(a - \alpha)}{4(1 + \theta)k - \alpha^2} \quad (12)$$

---

<sup>5</sup> Les conditions de second ordre sont vérifiées pour  $k$  suffisamment grand (par rapport à  $a, \theta$  et  $\alpha$ ).



Le niveau de R&D socialement optimal est positif lorsque  $k$  est suffisamment grand et la condition suivante est vérifiée :

$$a > \alpha \quad (13)$$

Ainsi, le coût du dommage marginal doit être inférieur au prix maximum que les consommateurs sont disposés à payer pour le bien produit par les firmes.

En égalisant le niveau de R&D choisi par les firmes donné par (6) et le niveau de R&D socialement optimal donné par (12), on obtient la subvention socialement optimale :

$$r_i = \frac{2[(2\theta+1)(2\theta+3)^2 k - 2(1+\theta)^2 t_i^2] \hat{x}_i - 4(1+\theta)^2 t_i (a - t_i)}{(2\theta+1)(2\theta+3)^2} \quad (14)$$

Aussi, en égalisant le niveau de production choisi par les firmes donné par (4) et le niveau de production socialement optimal donné par (9), on détermine la taxe d'émission socialement optimale:

$$t_i = \frac{a - (2\theta+3)\hat{q}_i}{1 - \hat{x}_i} \quad (15)$$

Nous pouvons alors énoncer le principal résultat de ce papier:

**Proposition.** *Lorsque le coût marginal de production des firmes est croissant, le régulateur peut induire ces dernières à atteindre les niveaux socialement optimaux de production et de R&D au moyen d'une taxe par unité d'émission et d'une subvention par unité de niveau de R&D.*

En utilisant (9), (12) et (15), on obtient:

$$\lim_{k \rightarrow +\infty} t_i = \frac{(2\theta+3)\alpha - a}{2(1+\theta)} \quad (16)$$

Nous en déduisons que :

$$\lim_{k \rightarrow +\infty} t_i > 0 \Leftrightarrow a < (2\theta+3)\alpha \quad (17)$$

Considérons le cas où  $k$  est suffisamment grand. Ainsi, lorsque  $\alpha$  est assez grand, la taxe d'émission est positive alors que si  $\alpha$  est assez faible, la taxe d'émission est négative ce qui signifie que le régulateur subventionne la pollution (ou la production puisqu'ils sont proportionnels). En effet, lorsque la désutilité marginale de la

pollution n'est pas très importante, le régulateur subventionne la pollution pour corriger la distorsion duopolistique.

Notons que la condition (13) et  $k$  suffisamment grand par rapport à  $a$ ,  $\theta$  et  $\alpha$  assurent que les quantités optimales de production, de R&D et de pollution sont strictement positives.

## 5. Conclusion

Nous avons développé un modèle de jeu à trois étapes composé d'un régulateur et de deux firmes. Ces firmes sont en concurrence sur le même marché où elles offrent le même bien homogène. Ces firmes peuvent investir en R&D pour baisser leur ratio d'émission/production. Etant donné que les deux firmes constituent un duopole et que leur activité est polluante, le régulateur impose à la première étape deux instruments de régulation qui sont : une taxe par unité d'émission et une subvention par unité de niveau de R&D. les firmes réagissent en choisissant les niveaux optimaux de R&D et de production respectivement à la deuxième et troisième étape. Le jeu est résolu par rétroduction pour aboutir à un équilibre de Nash parfait.

Nous avons montré qu'au moyen d'une taxe par unité d'émission et d'une subvention par unité de niveau de R&D, le régulateur peut réaliser l'optimum de premier ordre puisqu'il induit les firmes à atteindre les niveaux de production et de R&D socialement optimaux.

Notons que même si notre modèle est assez simple, nous avons été obligés de supposer que le coût marginal de production des firmes est croissant car sinon nous n'aurions pas été capables de déterminer les niveaux socialement optimaux de R&D tout en supposant que les deux firmes sont actives.

Enfin, il serait intéressant d'étendre ce modèle aux cas où les firmes détiennent une information privée concernant leur coût de production et/ou de R&D.

## Références

- Ben Youssef, S., 2009, "Transboundary Pollution, R&D Spillovers and International Trade", *The Annals of Regional Science*, 43, 235-250.
- D'Aspremont, C. et A. Jacquemin, 1988, "Cooperative and Noncooperative R&D in Duopoly with Spillovers", *The American Economic Review*, 78, 1133-1137.
- D'Aspremont, C. et A. Jacquemin, 1990, "Cooperative and Noncooperative R&D in Duopoly with Spillovers: Erratum", *The American Economic Review*, 80, 641-642.
- Farzin, Y.H. et P.M. Kort, 2000, "Pollution Abatement Investment when Environmental Regulation is Uncertain", *Journal of Public Economic Theory*, 2, 183-212.
- Fischer, C. et R.G. Newell, 2008, "Environmental and Technology Policies for Climate Mitigation", *Journal of Environmental Economics and Management*, 55, 142-162.
- Jung, C., K. Krutilla et R. Boyd, 1996, "Incentives for Advanced Pollution Abatement Technology at the Industry Level: an Evaluation of Policy Alternatives", *Journal of Environmental Economics and Management*, 30, 95-111.
- Milliman, S.R. et R. Prince, 1989, "Firm Incentives to Promote Technological Change in Pollution Control", *Journal of Environmental Economics and Management*, 17, 247-265.
- Stranlund, J.K., 1997, "Public Technological Aid to Support Compliance to Environmental Standards", *Journal of Environmental Economics and Management*, 34, 228-239.