



Munich Personal RePEc Archive

**Polluting nonrenewable resources:
decentralization of the optimum in the
presence of market power**

Belgodere, Antoine
UMR CNRS LISA 6240

2007

Online at <http://mpra.ub.uni-muenchen.de/28278/>
MPRA Paper No. 28278, posted 20. January 2011 / 14:41

Ressource non renouvelable polluante : décentralisation de l'optimum en présence d'un pouvoir de marché

Antoine Belgodere

CAPPEDEM, Université de Corse

1 Introduction

Les articles s'intéressant à la décentralisation de l'optimum social dans le cadre de la gestion d'une ressource non renouvelable et polluante font l'hypothèse que le marché de la ressource est concurrentiel ((Sinclair 1992), (Ulph & Ulph 1994), (Sinclair 1994), (Schou 2000), (Schou 2002), (Grimaud & Rougé 2005)).

Dans cet article, nous considérerons, au contraire, que ce marché est détenu par un monopole¹, que l'on pourra identifier au cartel de l'Organisation des Pays Exportateurs de Pétrole. Cette hypothèse nous permettra de tenir compte des interactions stratégiques à l'oeuvre dans l'élaboration des politiques environnementales et des politiques de quotas de production de l'OPEP. Au delà de son pouvoir de marché, le monopole devra intégrer à sa stratégie la réaction du régulateur à ses choix en terme de taux d'extraction. Le régulateur, qui est le second joueur, représente les intérêt des pays importateurs d'hydrocarbures, qui en subissent la pollution. Ce régulateur pourrait être assimilé à un représentant de l'Organisation de Coopération et de Développement Économique, si ses membres agissaient de façon coopérative. En d'autres termes, nous ferons ici l'impasse sur la question de la coopération en matière de politique énergétique, nous concentrant sur les interactions entre le régulateur et le vendeur de la ressource polluante.

2 Le modèle

Le monde est composé des deux régions 1 et 2. La région 1 est consommatrice d'hydrocarbures, et subit les dommages liés à la pollution provenant de ces

¹ comme chez (Stiglitz 1976).

hydrocarbures. La région 2 est le monopole sur le marché des hydrocarbures. La seule source de revenu de la région 2 est constituée des revenus des ventes d'hydrocarbure. Par soucis de simplicité, nous ne prenons pas en compte le dommage lié à la pollution dans la région 2.

Les préférences de la région 1 vis-à-vis des hydrocarbures sont représentées par la fonction de demande inverse suivante :

$$P_t + \tau_t = \bar{P} - \alpha E_t$$

où P_t est le prix hors taxe, tel que perçu par la région 2. τ_t est la taxe fixée par la région 1, E_t est le taux d'extraction de la ressource, fixé par la région 2, $\bar{P} > 0$, $\alpha > 0$ sont des paramètres et t est l'indice temporel.

Le surplus du consommateur dans la région 1 est donné par :

$$\int_0^{E_t} (\bar{P} - \alpha \tilde{E}) d\tilde{E} - (\bar{P} - \alpha E_t) E_t = \frac{\alpha}{2} E_t^2$$

La taxe rapporte $\tau_t E_t$ à l'État de la région 1.

La région 2 encoure un coût d'extraction donné par $C(E_t) = \eta X_t E_t$, où $X_t = \int_0^t E_\theta d\theta$ représente les extractions passées cumulées et $\eta > 0$ est un paramètre.

Le profit de la région 2 est donné par :

$$(\bar{P} - \alpha E_t) E_t - \tau E_t - \eta X_t E_t$$

Les extractions passées ont été relâchées dans l'environnement². Le dommage lié à cette pollution est donné par : $D(X_t) = \frac{\beta}{2} X_t^2$

Où $\beta > 0$ est un paramètre, qui représente la pente du dommage marginal.

La région 1 maximise :

$$\int_0^{\infty} e^{-\rho t} \left(\frac{\alpha}{2} E_t^2 + \tau_t E_t - \frac{\beta}{2} X_t^2 \right) dt \quad (1)$$

² Contrairement à une hypothèse fréquemment formulée dans ce type de modèles, nous supposons que la pollution n'est pas assimilée par le milieu. Ce choix permet de réduire le nombre de variables d'état du modèle. Notons qu'une telle hypothèse n'est pas nécessairement plus irréaliste, à long terme, que celle d'un taux d'assimilation contant, qui peut surestimer les capacités d'absorption des puits naturels de carbone.

La région 2 maximise :

$$\int_0^{\infty} e^{-\rho t} \left[(\bar{P} - \alpha E_t) E_t - \tau E_t - \eta X_t E_t \right] dt \quad (2)$$

sous contrainte :

$$\dot{X}_t = E_t \quad (3)$$

X_0 donné, où ρ est le taux d'actualisation constant.

3 Identification des stratégies d'équilibre

3.1 Hypothèses sur les stratégies adoptées

Afin de trouver les stratégies d'équilibre, nous faisons les deux hypothèses suivantes :

- Hypothèse 1 : la région 2 prend la stratégie de la région 1 comme une donnée. Autrement dit, le dirigeant de la région 1 est le leader du jeu. Nous considérerons qu'il annonce sa stratégie, qui consiste à faire du niveau de la taxe une fonction des extractions cumulées (X), et qu'il ne dévie pas de cette stratégie. Connaissant cette stratégie, le dirigeant de la région 2, le suiveur, maximise son propre bien-être.
- Hypothèse 2 : Comme il est fréquent dans ce genre de modèles linéaires quadratiques, nous recherchons une stratégie linéaire constante pour la région 1.

La stratégie de la région 1 est donnée par :

$$\tau_t = \phi + \psi X_t \quad (4)$$

ϕ et ψ doivent être déterminés de manière à maximiser le bien être dans la région 1.

3.2 Stratégie de la région 2

La région 2 maximise son bien-être donné par 2, soumis aux contraintes des équations 3 et 4. Le hamiltonien en valeur courante associé à ce problème est :

$$H = (\bar{P} - \alpha E_t) E_t - (\phi + \psi X) E_t - \eta X_t E_t + \lambda_t E_t$$

Où λ_t est la covariable associée à X .

Le principe du maximum permet d'écrire, pour une solution intérieure :

$$H_E = \bar{P} - 2\alpha E - (\phi + \psi X) - \eta X + \lambda = 0 \quad (5)$$

$$H_X = -(\eta + \psi)E = \rho\lambda - \dot{\lambda} \quad (6)$$

$$\lim_{t \rightarrow \infty} X\lambda e^{-\rho t} = 0 \quad (7)$$

La condition d'optimalité 5 donne E en fonction de X et λ :

$$E = \frac{\bar{P} - (\phi + \psi X) - \eta X + \lambda}{2\alpha} \quad (8)$$

En combinant les équations 3, 6 et 8, on obtient le système dynamique suivant en X et λ :

$$\begin{pmatrix} \dot{X} \\ \dot{\lambda} \end{pmatrix} = A \begin{pmatrix} X \\ \lambda \end{pmatrix} + B$$

où

$$A = \begin{pmatrix} \frac{-\eta - \psi}{2\alpha} & \frac{1}{2\alpha} \\ \frac{-(\eta + \psi)^2}{2\alpha} & \rho + \frac{\eta + \psi}{2\alpha} \end{pmatrix}; B = \begin{pmatrix} \frac{\bar{P} - \phi}{2\alpha} \\ \frac{(\eta + \psi)(\bar{P} - \phi)}{2\alpha} \end{pmatrix}$$

A a deux valeurs propres :

$$\mu = \frac{\rho\alpha - \sqrt{\rho^2\alpha^2 + 2\alpha\rho\eta + 2\alpha\rho\psi}}{2\alpha} \quad \mu' = \frac{\rho\alpha + \sqrt{\rho^2\alpha^2 + 2\alpha\rho\eta + 2\alpha\rho\psi}}{2\alpha}$$

Seul μ peut avoir une partie réelle négative. C'est le cas lorsque :

$$\psi > -\eta$$

Nous devons rechercher une valeur propre réelle, car une valeur propre complexe impliquerait une évolution cyclique de X , qui est physiquement impossible. La valeur propre négative est réelle lorsque :

$$\psi > -\eta - \frac{\alpha\rho}{2}$$

Or, cette condition est déjà remplie si $\psi > -\eta$, qui est donc une condition suffisante pour obtenir une valeur propre réelle.

L'état stationnaire du système est donné par :

$$\begin{pmatrix} X^* \\ \lambda^* \end{pmatrix} = -A^{-1}B = \begin{pmatrix} \frac{(2\rho\alpha + \eta + \psi)(\bar{P} - \phi)}{2(\eta + \psi)\rho\alpha} - \frac{\bar{P} - \phi}{2\rho\alpha} \\ 0 \end{pmatrix}$$

La covariable est toujours nulle à l'état régulier. Les extractions cumulées ont, à l'état régulier, le même signe que $\bar{P} - \phi$. Naturellement, ce signe doit être positif. En outre, les extractions cumulées doivent être supérieures à X_0 si la condition de non négativité sur E est respectée.

Un vecteur propre associé à μ est

$$V = \begin{pmatrix} \frac{\rho\alpha + \eta + \psi + \sqrt{\rho\alpha(\rho\alpha + 2\eta + 2\psi)}}{(\eta + \psi)^2} \\ 1 \end{pmatrix}$$

X et λ peuvent être tous deux exprimés comme des fonctions de t , ψ et ϕ de la manière suivante :

$$X_t = (X_0 - X^*)e^{\mu t} + X^*$$

$$\lambda_t = \lambda_0 e^{\mu t}$$

$$\text{Où } \lambda_0 = \frac{(X_0 - X^*)(\eta + \psi)^2}{\rho\alpha + \eta + \psi + \sqrt{\rho\alpha(\rho\alpha + 2\eta + 2\psi)}} < 0$$

Connaissant X et λ , on peut exprimer E également en fonction de t , ψ et ϕ grâce à l'équation 8.

$$E_t = \xi_1 + \xi_2 e^{\mu t}$$

où

$$\xi_1 = \frac{\bar{P} - \phi}{2\alpha} - \frac{\eta + \psi}{2\alpha} X^*$$

$$\xi_2 = \frac{1}{2\alpha}\lambda_0 - \frac{\eta + \psi}{2\alpha}(X_0 - X^*)$$

3.3 Stratégie dans la région 1

A ce stade, le dirigeant de la région 1 peut exprimer X et E en fonction de t , ψ et ϕ . Il s'ensuit qu'il peut exprimer son bien-être donné dans l'équation 1 en fonction de ψ et ϕ .

Pour clarifier le calcul, on peut exprimer E^2 , EX et X^2 en fonction du temps :

$$E^2 = \xi_1^2 + 2\xi_1\xi_2e^{\mu t} + \xi_2^2e^{2\mu t}$$

$$EX = \xi_1X^* + [\xi_1(X_0 - X^*) + X^*\xi_2]e^{\mu t} + \xi_2(X_0 - X^*)e^{2\mu t}$$

$$X^2 = X^{*2} + 2(X_0 - X^*)X^*e^{\mu t} + (X_0 - X^*)^2e^{2\mu t}$$

L'objectif de la région 1 est ainsi donné par :

$$\begin{aligned} W(\psi, \phi) &= \int_0^{\infty} \left(\frac{\alpha}{2}E^2 + \tau E - \frac{\beta}{2}X^2 \right) e^{-\rho t} dt \\ &= \int_0^{\infty} \chi_1 e^{-\rho t} dt + \int_0^{\infty} \chi_2 e^{\mu t} e^{-\rho t} dt + \int_0^{\infty} \chi_3 e^{2\mu t} e^{-\rho t} dt \\ &= \frac{\chi_1}{\rho} + \frac{\chi_2}{\rho - \mu} + \frac{\chi_3}{\rho - 2\mu} \end{aligned}$$

où

$$\chi_1 = \frac{\alpha}{2}\xi_1^2 + \psi\xi_1X^* - \frac{\beta}{2}X^{*2} + \phi\xi_1$$

$$\chi_2 = \frac{\alpha}{2}2\xi_1\xi_2 + \psi[\xi_1(X_0 - X^*) + X^*\xi_2] - \frac{\beta}{2}2(X_0 - X^*)X^* + \phi\xi_2$$

$$\chi_3 = \frac{\alpha}{2}\xi_2^2 + \psi\xi_2(X_0 - X^*) - \frac{\beta}{2}(X_0 - X^*)^2$$

Dériver la stratégie linéaire optimale pour la région 1 repose, à ce stade, sur une technique d'optimisation basique, bien que son application ici implique des calculs assez lourds. Il suffit de dériver $W(\psi, \phi)$ par rapport à ψ et ϕ et d'égaliser à 0.

$$\frac{\partial W(\psi, \phi)}{\partial \psi} = 0$$

$$\frac{\partial W(\psi, \phi)}{\partial \phi} = 0$$

On peut montrer³ que les solutions réelles sont donnée par :

$$\phi = \frac{\alpha \left[7 X_0 \rho^3 \alpha^2 + 20 \rho^2 \alpha (\kappa X_0 + 16 \bar{P} + 28 X_0 \eta) + 28 \beta \alpha X_0 \rho + 16 \rho \kappa \bar{P} + 16 \rho \kappa X_0 \eta + 64 \rho \bar{P} \eta + 13 X_0 \rho \kappa^2 + 64 \beta \bar{P} + 16 \kappa \beta X_0 \right]}{16 (\rho^2 \alpha^2 + 4 \alpha \rho \eta + 3 \kappa \rho \alpha + 4 \alpha \beta + 2 \kappa^2)} \quad (9)$$

$$\psi = -\frac{\rho^2 \alpha^2 + 2 \alpha \rho \eta - \kappa^2}{2 \rho \alpha} \quad (10)$$

où :

$$\kappa = 1/12 \sqrt[3]{864 \rho \alpha^2 \beta + 91 \rho^3 \alpha^3 + 864 \rho^2 \alpha^2 \eta + 12 \sqrt{-51 \rho^6 \alpha^6 + 5184 \rho^2 \alpha^4 \beta^2 + 1092 \rho^4 \alpha^5 \beta + 10368 \rho^3 \alpha^4 \beta \eta + 1092 \rho^5 \alpha^5 \eta + 5184 \rho^4 \alpha^4 \eta^2}} + \frac{25}{12} \frac{\rho^2 \alpha^2}{\sqrt[3]{864 \rho \alpha^2 \beta + 91 \rho^3 \alpha^3 + 864 \rho^2 \alpha^2 \eta + 12 \sqrt{-51 \rho^6 \alpha^6 + 5184 \rho^2 \alpha^4 \beta^2 + 1092 \rho^4 \alpha^5 \beta + 10368 \rho^3 \alpha^4 \beta \eta + 1092 \rho^5 \alpha^5 \eta + 5184 \rho^4 \alpha^4 \eta^2}}} - \frac{5}{12} \rho \alpha$$

4 Analyse des stratégies d'équilibre

Les équations 9 et 10 constituent les solution analytiques du modèle. Toutefois, la complexité de ces formes fonctionnelles rend malaisée une analyse générale des stratégies d'équilibre. On peut considérer que cette complexité est un résultat en soi : le lien entre les paramètres du modèle et les stratégies d'équilibre est complexe. Cette observation étant faite, cherchons à attribuer des valeurs raisonnables aux paramètres, afin d'affiner quelque peu l'analyse.

En plus d'être raisonnables, ces valeurs devront respecter les deux contrainte suivantes : $X^* > X_0$ et $\mu < 0$. Nous retiendrons les valeurs rapportées dans la table 1.

α	0,012
\bar{P}	0,5
β	0,0002
η	0,007
ρ	0,02
X_0	10

TAB. 1

Valeurs des paramètres du modèle

Les unités sont la gigatonne de pétrole pour ce qui concerne la ressource et le millier de gigadollars pour ce qui concerne le prix de la ressource et le dommage lié à la pollution.

³ Les services d'un logiciel de calcul symbolique ont été mobilisés pour cette opération.

Avec un prix de 430 dollars la tonne de pétrole brut, les valeurs données pour \bar{P} et α donnent, en l'absence de taxe, une consommation de 5,83 gigatonnes de pétrole. Les 10 gigatonnes de pollution ne correspondent pas à la quantité de carbone totale accumulée dans l'atmosphère, mais l'écart avec la quantité préindustrielle. Cette valeur de X_0 et celle de η impliquent un coût unitaire d'extraction du pétrole de 70 dollars par tonne, soit moins de 10 dollar le baril de brut. La valeur de 0,0002 pour β implique, à la période initiale, un dommage lié au stock de pollution de 20 milliards d'euros. Enfin, la valeur de 0,02 pour le taux d'escompte correspond au bas de la fourchette des valeurs généralement retenues pour ce paramètre.

Clairement, si ces valeurs correspondent à des ordres de grandeurs raisonnables, elles ne sont pas les plus réalistes possibles : toutefois, la nécessité d'obtenir une valeur propre négative et une valeur d'état régulier de la pollution supérieure à son état initial limite la liberté de choix des paramètres. Si ces contraintes n'étaient pas respectées, alors la solution analytique du problème serait formellement différente, puisque les trajectoires seraient asymptotiquement explosive, et/ou la contrainte de non-négativité sur E ne serait pas respectée. Le modèle serait alors bien plus complexe à analyser, sans que l'on puisse penser que l'étude de ces cas soit d'un grand intérêt théorique, notamment en matière de statique comparative.

4.1 *évolution temporelle du prix et impact du coût marginal d'extraction sur la taxe*

Étant donnée la contrainte de non-négativité sur E , X est non décroissant. La dérivée temporelle de la taxe est donc positive ou nulle si $\psi \geq 0$ et négative ou nulle si $\psi \leq 0$ ⁴. Le fait que l'on cherche une taxe linéaire en X fait que son profil temporel doit être monotone, excluant les profils en U ou en U inversé.

Avec les paramètres présentés en table 1, ψ est négatif, ce qui implique donc une taxe décroissante. Pourtant, ce résultat n'est pas général, puisque ψ peut être positif pour d'autres valeurs des paramètres, si bien qu'en toute généralité, le sens d'évolution de la taxe est indéterminé.

La figure 1 présente la sensibilité de ψ aux variations du paramètre η . Seul η bouge, les autres paramètres sont fixés à leur valeur indiquée en table 1. Comme on peut le voir, un accroissement de η entraîne une diminution de ψ . Par conséquent, plus le coût marginal d'extraction est sensible aux extractions cumulées, moins la taxe sur le polluant est croissante dans le temps, ou plus elle est décroissante.

⁴ Si l'on a $\psi > 0$ mais $E = 0$, la taxe n'augmente pas.

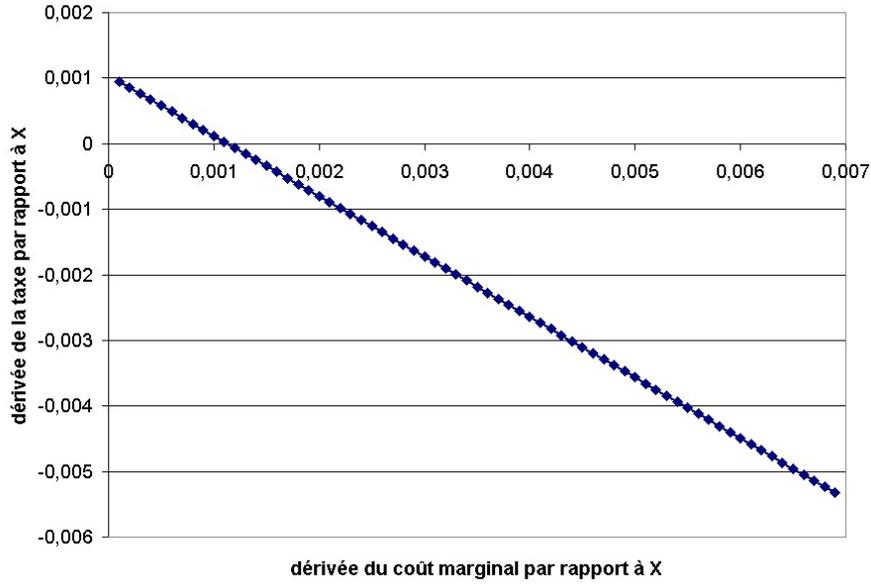


FIG. 1. la sensibilité de ψ aux variations de η

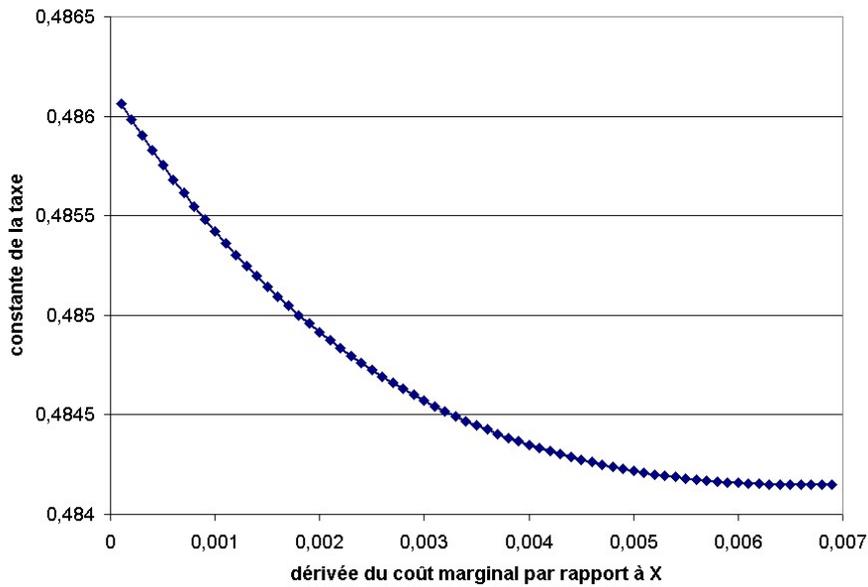


FIG. 2. la sensibilité de ϕ aux variations de η

Cela n'implique pas nécessairement que la taxe en elle-même dépende négativement de η , dans la mesure où son niveau dépend également de l'ordonnée à l'origine ϕ . Toutefois, avec les paramètres retenus ici, ϕ dépend également négativement de β , comme on le voit dans la figure 2.

Ainsi, dans ce cas, une plus grande dépendance du coût marginal d'extraction aux extractions cumulées diminue sans ambiguïté la taxe optimale, pour une valeur donnée des extractions cumulées. Ainsi, l'effet dominant est un effet

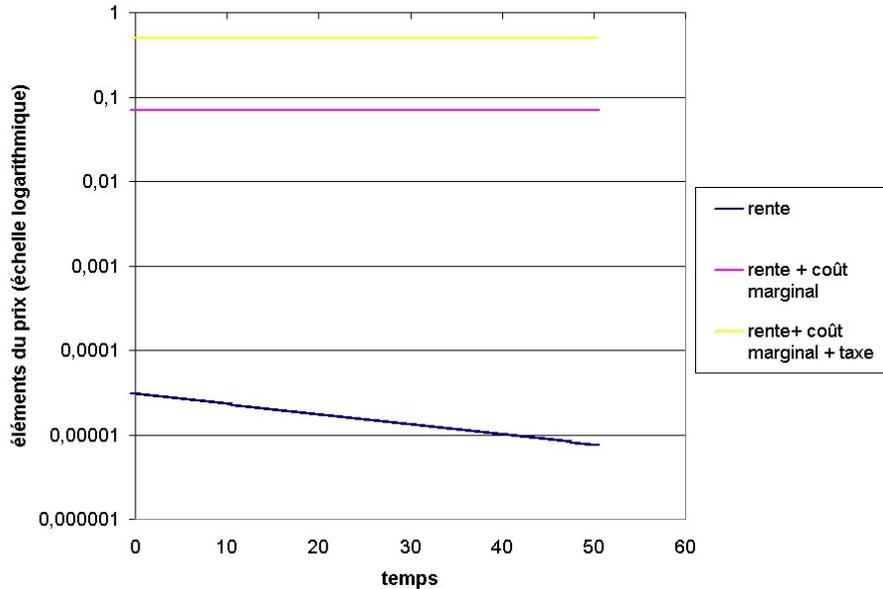


FIG. 3. Évolution temporelle des différents éléments du prix

de substitution du coût d'extraction à la taxe : un coût d'extraction plus élevé décourage l'utilisation de la ressource. Cet effet l'emporte, pour ce jeu de paramètres, sur un effet en sens contraire lié à la pollution. Le stock de pollution ne pouvant pas décroître, le dommage qu'il implique doit rendre de plus en plus nécessaire une diminution de l'utilisation de la ressource.

La figure 3 présente l'évolution temporelle des trois composantes du prix avec le jeu de paramètres de la table 1. La lecture de cette figure doit tenir compte du fait que l'échelle retenue en ordonnée est logarithmique. Ainsi, on observe que la rente perçue par le pays exportateur de pétrole ne représente qu'une part infime du prix, mais non nulle. Cette rente est décroissante, et tend vers une constante strictement positive. Le coût marginal d'extraction, pour sa part, augmente évidemment. Le prix hors taxe, égal à la somme de la rente et du coût marginal, augmente très légèrement, bien que ça ne soit pas perceptible sur le graphique. Comme indiqué plus haut, avec ces paramètres, la taxe est décroissante. Le prix total connaît une légère croissance, qui n'est pas non plus perceptible sur le graphique. La taxe représente 85,99% du prix total à la période initiale. Cette part décroît légèrement dans le temps.

La question du partage de la rente entre l'exploitant de la ressource et le régulateur est importante dans les problèmes de ressources non renouvelables et polluantes⁵. Elle invite à s'intéresser à la part de la taxe dans la rente totale (taxe + rente de l'exportateur). Celle-ci s'élève à 99,993% à la période initiale, et croît régulièrement, sans pour autant atteindre les 100%. La quasi-totalité de la rente totale est donc accaparée par le régulateur.

⁵ Voir en particulier, sur la question, Amundsen & Schob (1999)

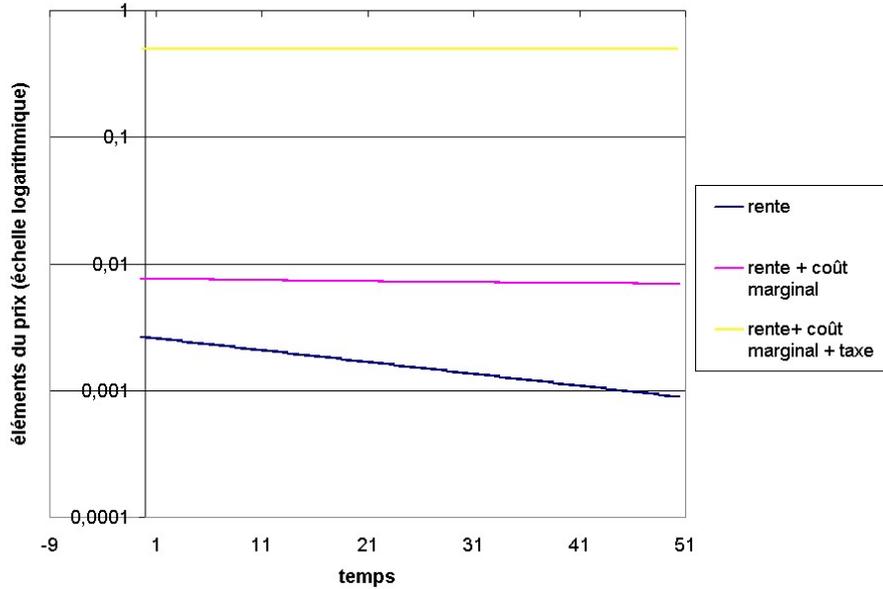


FIG. 4. Évolution temporelle des différents éléments du prix lorsque la taxe est croissante

Dans ce contexte, la motivation du régulateur est triple : corriger l'externalité de pollution, corriger l'imperfection de marché liée au monopole, et récupérer une partie substantielle de la rente de rareté.

On peut comparer ces évolutions des composantes du prix de la ressource à ce qu'elles seraient en présence d'une taxe croissante. En donnant à η la valeur 0,0001, et en maintenant les autres paramètres à leur valeur donnée en table 1, on obtient une évolution du prix donnée par la figure 4. On observe que, là encore, la rente diminue dans le temps. Le prix hors taxe, cette fois-ci, est légèrement décroissant, la hausse du coût marginal d'extraction ne compensant pas totalement la baisse de la rente.

4.2 Impact de la pente du dommage marginal sur la taxe

Il est intéressant d'observer l'influence de la pente du dommage de la pollution sur les deux composantes de la taxe : la partie constante, ϕ et la partie variable ψX . Comme on peut s'y attendre, une pente plus forte du dommage marginal rend la taxe plus sensible au stock de pollution X . La figure 5 illustre ce phénomène.

En revanche, une hausse de la pente du dommage marginal a, paradoxalement, un impact négatif sur la constante de la taxe ϕ , comme on le voit sur la figure 6. L'impact de β sur la taxe n'est donc pas simple : il concerne le profil temporel de la taxe. Ainsi, si une augmentation de β rend la taxe plus sensible à la

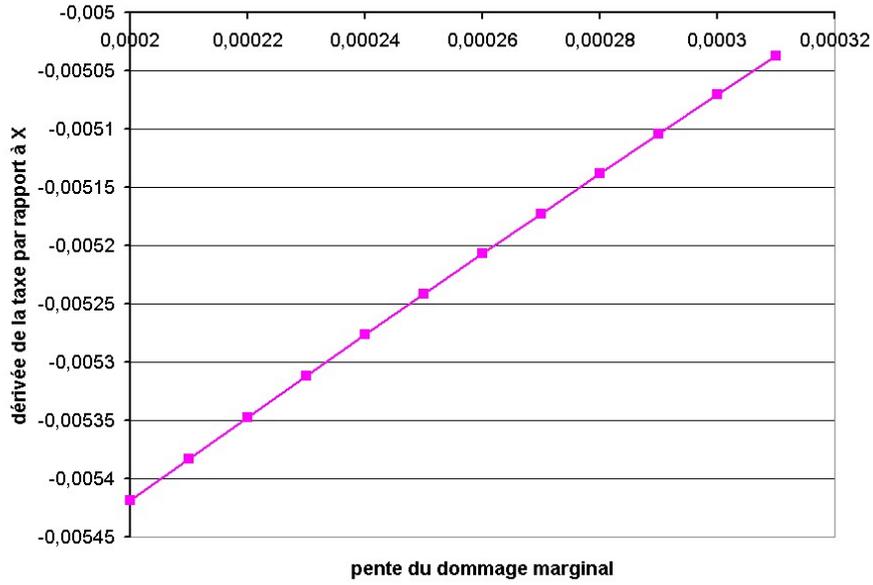


FIG. 5. la sensibilité de ψ aux variations de β

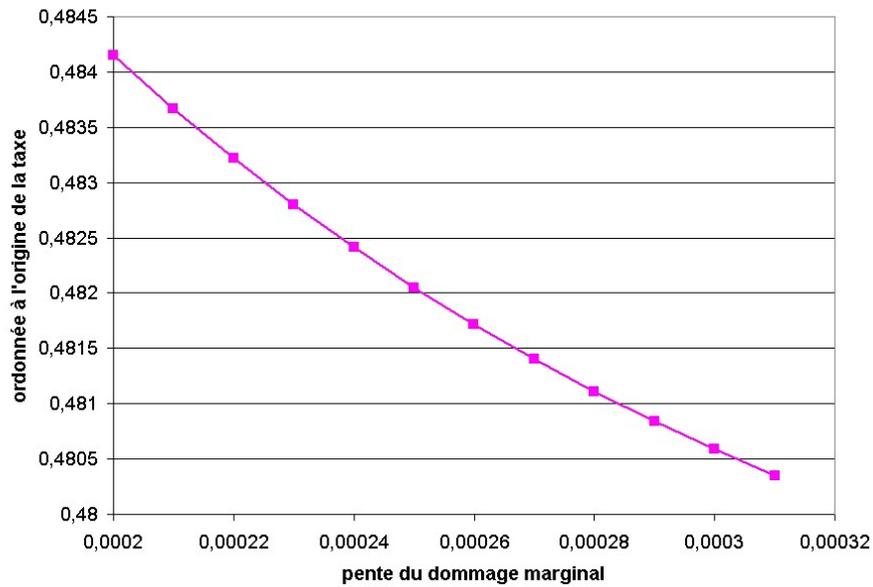


FIG. 6. la sensibilité de ϕ aux variations de β

pollution, il est en revanche possible que, dans les périodes initiales la taxe soit plus faible. En fait, avec le jeu de paramètres retenus pour cette simulation, une variation régulière de β de 0,0002 à 0,0003 entraîne un profil en U inversé pour la taxe à la période initiale.

Ce profil est représenté par la figure 7.

De façon contre-intuitive, une légère augmentation de la sensibilité à l'envi-

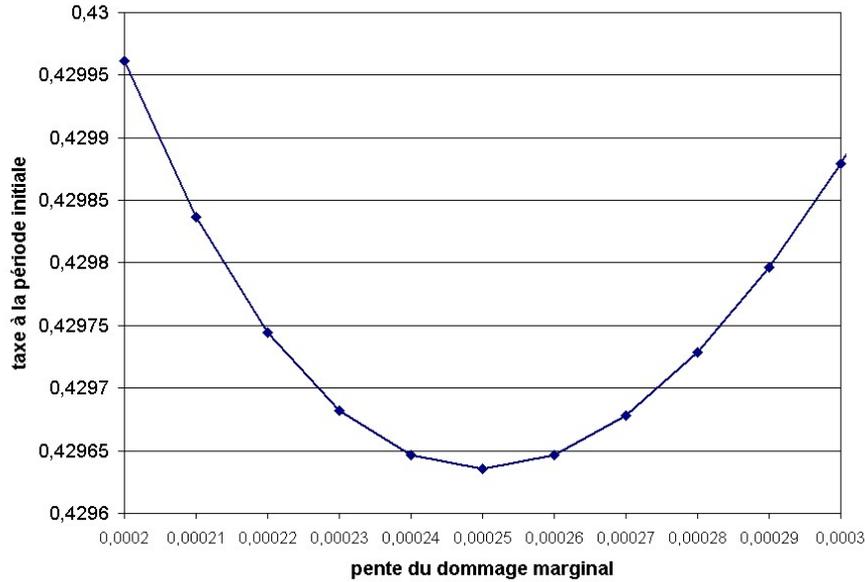


FIG. 7. la sensibilité de la taxe initiale aux variations de β

ronnement entraînerait donc une valeur initiale de la taxe environnementale plus faible. En revanche, la taxe diminuerait plus lentement dans le temps.

4.3 Impact du taux d'actualisation sur la taxe

L'impact de ρ sur la taxe, pour les valeurs choisies des paramètres, est à l'opposé de celui de β : une augmentation de ρ entraîne une augmentation de ϕ et une diminution de ψ , comme le montrent, respectivement, les figures 8 et 9. La figure 10 indique que le niveau initial de la taxe dépend positivement de ρ . Une société plus impatiente, donc avec un ρ plus élevé, pratiquerait donc une taxe environnementale plus forte à la période initiale, mais décroissant plus rapidement dans le temps.

Si une campagne de sensibilisation au développement durable se traduisait, au contraire, par une diminution du taux d'actualisation, alors la conséquence immédiate serait, une diminution de la taxe environnementale. Ce résultat semble contraire à l'intuition selon laquelle un taux d'escompte faible incite à une politique environnementale active. En revanche, cette taxe diminuerait moins rapidement dans le temps, suite à cette baisse de ρ .

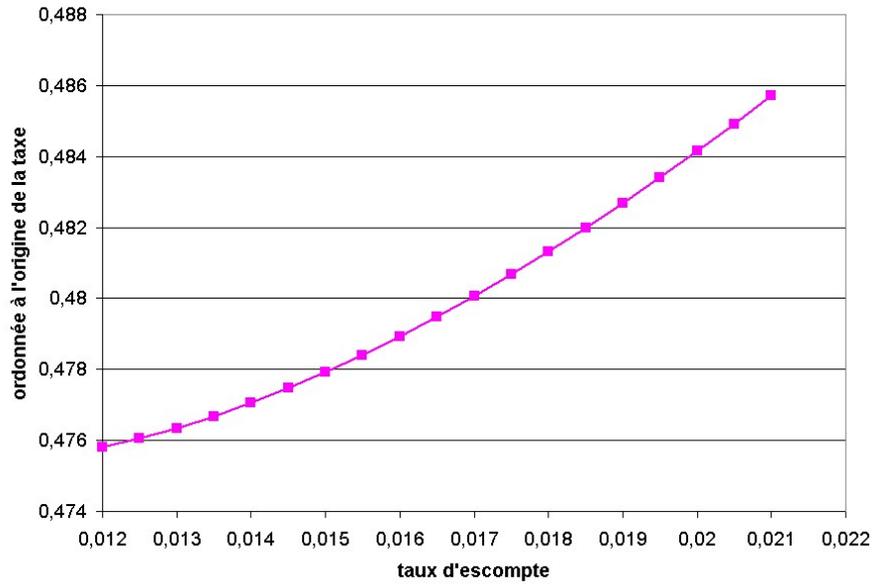


FIG. 8. la sensibilité de ϕ aux variations de ρ

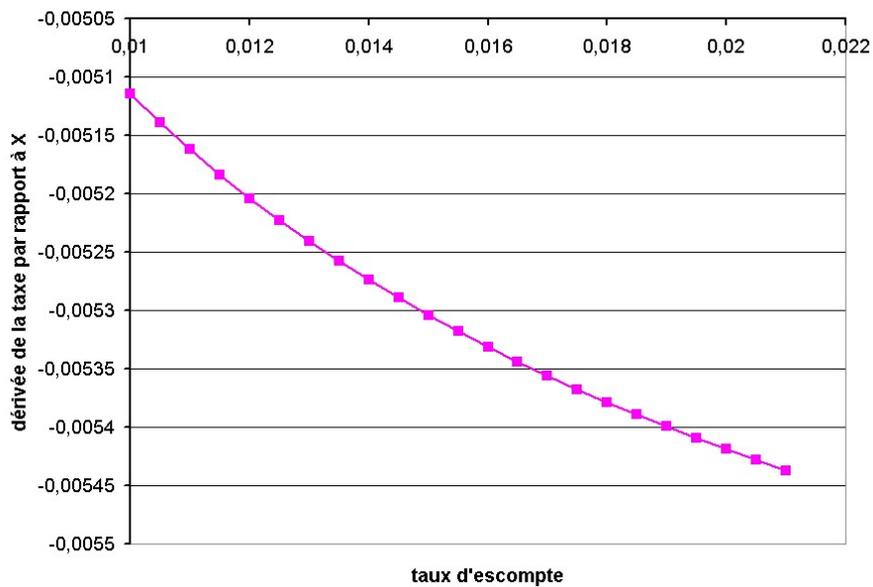


FIG. 9. la sensibilité de ψ aux variations de ρ

4.4 Remarque

L'analyse des stratégies d'équilibre qui précède, si elle peut éclairer sur l'effet des différents paramètres étudiés, présente néanmoins une carence importante : elle ne permet pas directement de mesurer la conséquence de la structure monopolistique du marché des hydrocarbures. En principe, une telle mesure pourrait être réalisée en comparant le modèle présenté ici à un modèle en tous

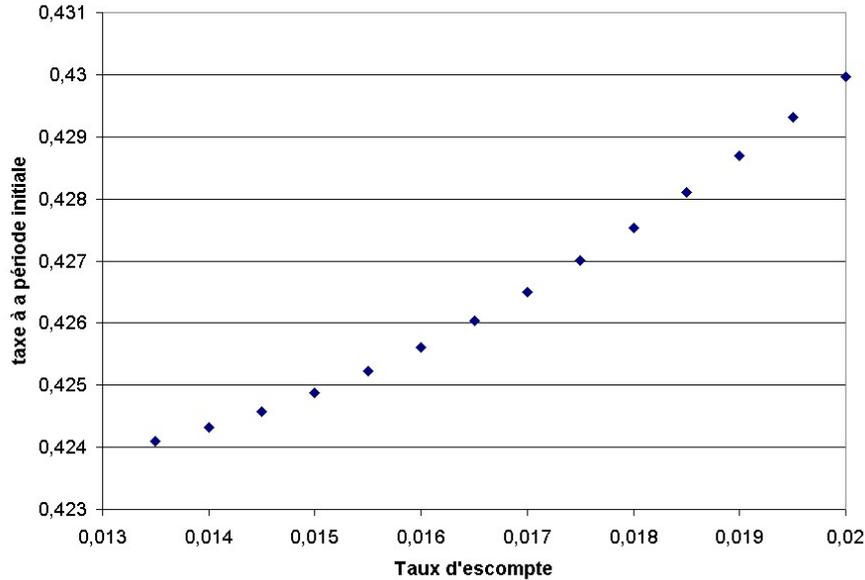


FIG. 10. la sensibilité de la taxe initiale aux variations de ρ

points identiques, à l'exception de la structure de marché qui serait concurrentielle. La difficulté provient de ce que les résultats d'un tel modèle sont encore plus complexes que ceux qui émergent de l'hypothèse de structure monopolistique. Il ne nous est pas apparu pertinent de présenter ces résultats, faute de trouver un moyen de les rendre lisibles. La solution passe sans doute par le renoncement à une résolution analytique au profit de simulations.

5 Conclusion

Dans cet article, nous avons introduit des interactions stratégiques entre régulateur et vendeur de la ressource dans un modèle de gestion d'une ressource non renouvelable et polluante. Ce modèle ne permet pas de donner sans ambiguïté le signe de l'évolution temporelle de la taxe qu'il faut appliquer à la ressource. Celle-ci peut être croissante ou décroissante.

Une analyse des résultats de ce modèle nécessite de recourir à un chiffrage des paramètres, ce qui en limite la portée. On peut identifier des facteurs qui peuvent contribuer à rendre la taxe décroissante : la dépendance du coût marginal d'extraction aux extractions cumulées en est un. Si, en effet, la ressource est très rare, autrement dit, s'il devient rapidement très coûteux d'en extraire, la probabilité qu'une taxe optimale soit décroissante est plus importante.

Le lien entre la pente du dommage marginal et la taxe initiale est en forme de U, contrairement à ce que suggère l'intuition selon laquelle la taxe doit être fonction croissante de cette pente du dommage marginal.

L'impact du taux d'actualisation est contre-intuitif : en effet, un taux d'escompte élevé implique une taxe à la période initiale élevée. Autrement dit, une société plus impatiente devrait taxer plus rapidement l'usage d'une ressource polluante. En contrepartie, un taux d'escompte plus élevé implique une dérivée temporelle de la taxe plus faible.

Dans tous les cas, que la taxe soit croissante ou décroissante, la rente, entendue au sens large de "écart entre le prix et le coût marginal", est, dans une grande partie, captée par le pays régulateur. Ce résultat est peut être imputable au fait que le pays régulateur est le *leader* du jeu différentiel.

Références

- Amundsen, E. & Schob, R. (1999), 'Environmental taxes on exhaustible resources', *European Journal of Political Economy* **15**(2), 311–329.
- Grimaud, A. & Rougé, L. (2005), 'Polluting non-renewable resources, innovation and growth : Welfare and environmental policy', *Resource and Energy Economics* **27**(2), 109–129.
- Schou, P. (2000), 'Polluting non-renewable resources and growth', *Environmental and Resource Economics* **16**(2), 211–227.
- Schou, P. (2002), 'When environmental policy is superfluous : Growth and polluting resources', *Scandinavian Journal of Economics* **104**(4), 605–620.
- Sinclair, P. (1992), 'High does nothing and rising is worse : Carbon taxes should be kept declining to cut harmful emissions', *Manchester School* **60**, 41–52.
- Sinclair, P. (1994), 'On the optimum trend of fossil fuel taxation', *Oxford Economic Papers* **46**, 869–877.
- Stiglitz, J. (1976), 'Monopoly and the rate of extraction of exhaustible resources', *American Economic Review* **66**(4), 655–661.
- Ulph, A. & Ulph, D. (1994), 'The optimal path of a carbon tax', *Oxford Economic Papers* **46**, 857–868.