

Innovation stochastique et coût de la réglementation environnementale

Stochastic Innovation and Cost of Environmental Regulation

Peter Kennedy

Volume 70, Number 2, juin 1994

La firme et l'environnement

URI: <https://id.erudit.org/iderudit/602142ar>

DOI: <https://doi.org/10.7202/602142ar>

[See table of contents](#)

Publisher(s)

HEC Montréal

ISSN

0001-771X (print)

1710-3991 (digital)

[Explore this journal](#)

Cite this article

Kennedy, P. (1994). Innovation stochastique et coût de la réglementation environnementale. *L'Actualité économique*, 70(2), 199–209.
<https://doi.org/10.7202/602142ar>

Article abstract

This paper illustrates that the cost of regulation can be negative when regulation-induced innovation has a stochastic element. There are two aspects to this finding. First, if the firm is risk neutral then regulation necessarily raises expected costs but costs can be lower *ex post* for some realizations of the innovation process. Whether this cost reduction is most likely for unfavourable or favourable realizations of the stochastic element depends on whether good fortune and research effort are substitutes or complements in the innovation process. The second aspect involves the implications of risk aversion and risk preference. In both cases it is possible for regulation to reduce costs *on average* because the regulation can induce the firm to undertake a level of research closer to that which minimizes expected cost.

INNOVATION STOCHASTIQUE ET COÛT DE LA RÉGLEMENTATION ENVIRONNEMENTALE*

Peter KENNEDY

Département d'économie

Université de Victoria

RÉSUMÉ — Cette étude démontre que le coût de la réglementation peut être négatif quand l'innovation induite par la réglementation a un élément stochastique. Ce résultat comporte deux aspects. Premièrement, si l'entreprise est neutre envers le risque, la réglementation fait nécessairement augmenter les coûts attendus, mais les coûts peuvent être inférieurs *ex post* pour certaines réalisations du processus d'innovation. Le fait que cette réduction de coûts sera plus probable pour des réalisations favorables ou défavorables de l'élément stochastique dépend de ce que la chance et l'effort de recherche sont des substituts ou des compléments du processus d'innovation. Le second aspect met en cause les implications de l'aversion au risque ou du goût pour le risque. Dans les deux cas, il est possible que la réglementation fasse diminuer les coûts *en moyenne* puisqu'elle peut inciter la firme à entreprendre un niveau de recherche plus proche de celui qui minimise le coût espéré.

ABSTRACT — *Stochastic Innovation and Cost of Environmental Regulation.* This paper illustrates that the cost of regulation can be negative when regulation-induced innovation has a stochastic element. There are two aspects to this finding. First, if the firm is risk neutral then regulation necessarily raises expected costs but costs can be lower *ex post* for some realizations of the innovation process. Whether this cost reduction is most likely for unfavourable or favourable realizations of the stochastic element depends on whether good fortune and research effort are substitutes or complements in the innovation process. The second aspect involves the implications of risk aversion and risk preference. In both cases it is possible for regulation to reduce costs *on average* because the regulation can induce the firm to undertake a level of research closer to that which minimizes expected cost.

* Je remercie Benoît Laplante et deux arbitres anonymes pour leurs précieux commentaires. Je tiens également à remercier Paul Lanoie d'avoir stimulé mon intérêt pour ce sujet.

INTRODUCTION

Que coûte la réglementation environnementale ? Il devient de plus en plus important de pouvoir répondre à cette question puisque les pressions politiques en faveur de normes environnementales sévères vont en s'intensifiant partout à travers le monde. Le sujet a d'ailleurs déjà fait l'objet de beaucoup d'attention. Ces études, théoriques et empiriques, ont examiné trois façons par lesquelles la réglementation environnementale peut influencer les coûts de production. Premièrement, la réglementation oblige à consacrer des intrants à l'atténuation de la pollution. C'est ce que Barbera et McConnell (1990) qualifient « d'effet direct » de la réglementation¹. Deuxièmement, les activités d'atténuation de la pollution peuvent compromettre la productivité d'autres intrants, même si ceux-ci n'ont pas été détournés vers l'atténuation de la pollution². De ce fait, le coût de la réglementation sera généralement supérieur au simple coût des intrants directement voués à l'atténuation de la pollution. Troisièmement, la réglementation peut inciter la firme à ajuster sa combinaison actuelle d'intrants ou à adopter de nouveaux procédés de production afin de minimiser le coût de la réglementation. Cette réaction de minimisation des coûts tendra à faire diminuer le coût de la réglementation par rapport à ce que serait celui-ci si les producteurs se contentaient d'obéir passivement à la réglementation. Barbera et McConnell (1990) désignent ces deux derniers effets comme « l'effet indirect » de la réglementation.

Cette étude est consacrée au troisième effet de la réglementation et en particulier à l'adoption de nouvelles technologies sous l'impulsion de la réglementation. Certains ont qualifié cette réaction « d'effet d'obsolescence accélérée » [Meyers et Nakamura, 1980 ; Barbera et McConnell, 1990] ; d'autres, « d'effet d'innovation induite » [Magat, 1979 ; Lurie, 1983]. Jusqu'ici, les analyses de cet effet d'innovation induite supposaient que le processus d'innovation est déterministe. Ceci implique que l'effet global de la réglementation sur les coûts devait nécessairement être positif pour l'entreprise qui cherche à maximiser son profit et ce, en dépit des effets de l'innovation induite. Cela s'explique facilement. En effet, si l'entreprise avait su que l'innovation induite par la réglementation fait diminuer les coûts malgré la contrainte réglementaire, elle aurait déjà adopté avec profit l'innovation en question. Mais cela n'est plus nécessairement vrai quand le processus d'innovation a un élément stochastique. La recherche induite par la réglementation peut en effet produire un tirage suffisamment favorable dans la distribution des innovations pour que les coûts diminuent globalement, même si la recherche n'avait pas été *ex ante* profitable avant la promulgation de

1. Gray (1987) qualifie cette conséquence « d'effet de mesure » parce que, lorsque l'on mesure la productivité totale des facteurs, le fait qu'on inclut tous les intrants se trouve à exagérer la quantité d'intrants réellement consacrée à la production. Les intrants utilisés pour atténuer la pollution sont productifs, mais leur production – une meilleure qualité de l'environnement – n'est pas mesurée.

2. C'est ce que Gray appelle « l'effet réel » de la réglementation.

la réglementation. Nous examinerons ici les implications de l'innovation stochastique sur le coût de la réglementation.

La possibilité que la réglementation puisse provoquer des innovations qui fassent diminuer les coûts a plusieurs implications pour l'étude empirique du coût de la réglementation. Premièrement, il est important qu'une estimation du coût de la réglementation admette que la réglementation stimulera vraisemblablement des efforts de recherche destinés à minimiser les coûts. Les coûts de cette recherche induite doivent être inclus parmi les coûts de la réglementation. Cela n'est pas un exercice simple puisqu'il faut séparer empiriquement les coûts de la recherche induite par la réglementation de ceux de la recherche qui aurait eu lieu de toute façon. Deuxièmement, il faut reconnaître que le processus d'innovation n'est généralement pas déterministe et qu'il est possible que la réglementation puisse faire diminuer les coûts : les études empiriques qui présupposeraient *a priori* que la réglementation fait diminuer la productivité et se contenteraient en conséquence de mesurer cette diminution pourraient donc fort bien manquer la cible. Les études de productivité de Christainsen et Haveman (1981), de Smith et Sims (1985), de Gray (1987) et de Jorgensen et Wilcoxon (1990) partent pourtant de ce point de départ. En revanche, une nouvelle étude du secteur manufacturier québécois effectuée par Dufour, Lanoie et Patry (1993) tient compte de la possibilité de conséquences positives sur la productivité et a observé que certains règlements sur la santé et la sécurité au travail avaient eu de ces conséquences positives. Meyer (1992), aux États-Unis, a aussi tenu compte de cette possibilité et a également pu noter certains impacts positifs de la réglementation environnementale sur la performance économique. Ces études suggèrent que le potentiel de réduction des coûts de la réglementation n'est pas qu'une curiosité théorique. Troisièmement, dans une industrie faite d'entreprises hétérogènes, il est possible que la réglementation ait des effets distincts sur les différentes firmes selon les réactions de chacune en matière d'innovation. En particulier, il est possible que les coûts augmentent pour certaines entreprises et qu'ils diminuent pour d'autres. Les études empiriques qui s'attardent aux effets au niveau de l'industrie - ce que font la plupart d'entre elles - ne peuvent évidemment pas relever ces impacts potentiellement différents à l'intérieur de l'industrie. Elles peuvent donc passer à côté d'impacts structurels importants de la réglementation.

L'article est structuré comme suit. Nous présenterons d'abord un modèle simple de la réglementation et de l'innovation. Nous effectuerons ensuite, à la section 2, l'analyse et en rapporterons les principaux résultats avant de conclure à la dernière section.

1. LE MODÈLE

Considérons une firme dont la fonction de production est donnée par :

$$q = tF(x) \quad (1)$$

où q est le niveau de production, x un vecteur des intrants et t un indicateur de la technologie de la firme. La fonction $F(x)$ est caractérisée par des rendements constants à l'échelle. À chaque période, l'entreprise peut faire de la recherche afin d'améliorer sa technologie. Toutefois, le lien entre recherche et innovation est stochastique. En particulier :

$$t = t(r, \theta) \quad (2)$$

où r est l'effort de recherche et θ est une variable aléatoire avec distribution $f(\theta)$ définie sur le support $[\underline{\theta}, \bar{\theta}]$. Supposons que t augmente avec r et θ et que $t_{rr} \leq 0$ et $t(0, \theta) = \bar{r} > 0$. Notons que $f(\theta)$ est présumé indépendant de r . Autrement dit, la réalisation de la variable aléatoire est indépendante de l'effort de recherche. L'entreprise est assujettie à une réglementation environnementale qui l'oblige à prendre des mesures pour réduire sa pollution. Ces activités de réduction de la pollution consomment $\alpha\%$ de tous les intrants utilisés pour la production. La réglementation a donc pour effet de diminuer la production réalisée à partir d'intrants donnés :

$$q = t(r, \theta)F((1 - \alpha)x) \quad (3)$$

Nous pouvons démontrer directement que le coût de production est alors :

$$P(q, r, \alpha, \theta) = b(q)/(1 - \alpha)t(r, \theta) \quad (4)$$

où $b'(q) > 0$. Le coût total pour l'entreprise – incluant les dépenses de recherche – est donc donné par :

$$C = r + b(q)/(1 - \alpha)t(r, \theta) \quad (5)$$

Nous examinons à la section suivante comment l'entreprise choisit r et les implications de ce choix sur le coût de la réglementation.

2. LE COÛT DE LA RÉGLEMENTATION AVEC INNOVATION STOCHASTIQUE

Nous tiendrons compte du fait que les dirigeants de l'entreprise puissent avoir une attitude neutre, négative ou positive envers le risque. Leur décision sur le niveau de recherche sera donc généralement fondée sur l'utilité espérée du profit. Si $R(q)$ est le revenu associé à la production q , le problème de l'entre-

prise consiste à choisir les dépenses de recherche de façon à maximiser l'utilité espérée du profit obtenu de la production q^3 :

$$\max_r \int_{\underline{\theta}}^{\bar{\theta}} u[R(q) - r - [b(q)/(1 - \alpha)t(r, \theta)]]f(\theta)d\theta \quad (6)$$

où $u(\pi)$ est une fonction d'utilité de von Neumann-Morgenstern définie par rapport au profit π . La condition de premier ordre pour un maximum est :

$$\int_{\underline{\theta}}^{\bar{\theta}} u'(\pi) \left[-1 + [b(q)t_r / (1 - \alpha)t^2] \right] f(\theta)d\theta = 0 \quad (7)$$

où un indice dénote une dérivée partielle et où la dépendance fonctionnelle de t sur r et θ a été omise pour plus de brièveté. La condition de deuxième ordre d'un maximum est :

$$\begin{aligned} \tilde{S} \equiv \int_{\underline{\theta}}^{\bar{\theta}} \left[u'(\pi) [b(q)(t_{rr}t - 2t_r^2) / (1 - \alpha)t^3] \right. \\ \left. + u''(\pi) \left[-1 + [b(q)t_r / (1 - \alpha)t^2] \right]^2 \right] f(\theta)d\theta < 0 \end{aligned} \quad (8)$$

Cette condition peut potentiellement être satisfaite à la fois pour $u'' < 0$ et $u'' > 0$. Les deux cas seront étudiés ici. Analysons d'abord l'impact de la réglementation sur le choix de l'effort de recherche. De la différentiation de (7) par rapport à r et α on obtient :

$$\begin{aligned} -(dr / d\alpha) \tilde{S} = \int_{\underline{\theta}}^{\bar{\theta}} \left[[u'(\pi)b(q)t_r / (1 - \alpha)^2 t^2] \right. \\ \left. - [b(q) / (1 - \alpha)^2 t] u''(\pi) \left[-1 + [b(q)t_r / (1 - \alpha)t^2] \right] \right] f(\theta)d\theta \end{aligned} \quad (9)$$

Puisque $\tilde{S} < 0$ pour un maximum, le signe de $dr/d\alpha$ prend celui du côté droit de l'équation. Celui-ci peut être positif ou négatif à la fois dans les cas $u'' < 0$ et $u'' > 0$. Autrement dit, la réglementation a un effet ambigu sur le niveau de recherche quand $u'' \neq 0$. Il est facile de voir pourquoi. Une augmentation de α a un effet de premier ordre positif sur l'incitation à effectuer de la recherche – le premier terme dans (9) – mais il est possible que cela ait un effet négatif de deuxième ordre par le biais de l'utilité marginale du profit – le second terme de (9). L'effet de second ordre disparaît seulement dans le cas de neutralité au risque ($u'' = 0$). Dans ce cas particulier, la recherche augmente en α . La réglemen-

3. Un problème de deuxième étape déterminera alors le choix optimal de q . Cette deuxième étape n'a pas été modélisée ici. Nous avons choisi de formuler le problème en deux étapes pour mieux refléter ce qui nous paraît être l'ordre naturel des décisions sur la recherche et la production. Cette formulation implique que, dans un environnement stratégique, l'entreprise peut adopter une stratégie de recherche avant de s'engager dans le jeu de la production. Cela nous semble raisonnable dans la mesure où les investissements de recherche sont généralement irrécupérables.

tation fait augmenter le coût de la production et cela renforce l'incitation à entreprendre de la recherche car la valeur marginale de la recherche est une fonction décroissante du coût de production.

La réglementation fait diminuer l'utilité espérée du profit que l'effort de recherche augmente ou diminue. Cela découle naturellement du théorème de l'enveloppe. Notons par $E[u(\pi)^*]$ la fonction de valeur maximum obtenue de (6). Alors :

$$dE[u(\pi)^*] / d\alpha = \int_0^{\bar{\theta}} -u'(\pi)[b(q)/(1-\alpha)^2 t]f(\theta)d\theta < 0 \quad (10)$$

Toutefois, si la réglementation suscite un plus grand effort de recherche, le coût *ex post* de la réglementation peut être négatif. Pour le démontrer, désignons par r^0 la recherche qui aurait été effectuée en l'absence de réglementation et par $r' > r^0$ la recherche réellement effectuée. Pour une réalisation particulière de θ , définissons :

$$D(\theta) = [r' + b(q)/(1-\alpha)t(r', \theta)] - [r^0 + b(q)/t(r^0, \theta)] \quad (11)$$

Ceci représente la différence de coût entre l'équilibre quand il y a réglementation et celui quand il n'y a pas réglementation pour un θ donné. Tel est le véritable coût de la réglementation⁴. Ce coût peut certainement être négatif pour certaines réalisations de θ . De plus, il peut être négatif dans le cas de très bons ou de très mauvais tirages de θ , selon le signe et l'ampleur de $t_{\theta r}$. Observons en effet dans (11) que $D(\theta) < 0$ quand :

$$(r' - r^0) / b(q) < [1/t^0 - 1/(1-\alpha)t'] \quad (12)$$

où $t^0 \equiv t(r^0, \theta)$ et $t' \equiv t(r', \theta)$. Le côté gauche de (12) est indépendant de θ (puisque r est choisi *ex ante*). Ainsi, le fait que l'inégalité soit plus susceptible d'être satisfaite pour un grand θ ou un petit θ dépend de la manière avec laquelle le côté droit de (12) varie avec θ . Pour le déterminer, il faut différencier le côté droit de (12) par rapport à θ pour obtenir :

$$\partial R / \partial \theta \equiv \partial[1/t^0 - 1/(1-\alpha)t'] / \partial \theta = [t'_\theta / (1-\alpha)(t')^2] - [t^0_\theta / (t^0)^2] \quad (13)$$

Remarquons que $t^0 < (1-\alpha)t'$, pour tous les θ pour lesquels (12) est satisfaite, puisque $r' > r^0$. Ainsi $(t^0)^2 < (1-\alpha)(t')^2$ puisque $t' > t^0$. Il s'ensuit également que, si $t_{\theta r}$ est non positif ou positif mais faible, $\partial R / \partial \theta < 0$ et (12) sera satisfaite seulement pour les faibles valeurs de θ (mauvais tirages). À l'inverse, si $t_{\theta r}$ est positif et grand, (12) sera satisfaite seulement pour de grandes valeurs de θ

4. Souvenons-nous que $f(\theta)$ est présumé indépendant de r . Si la distribution de θ dépendait de r , la réglementation produirait un deuxième effet à cause du processus stochastique lui-même. Celui-ci serait sans doute très difficile à mesurer empiriquement, puisqu'il faudrait pour cela comparer le résultat observé avec un résultat potentiel alternatif généré par une autre distribution conditionnelle.

(bons tirages). L'intuition qui inspire ces relations est la suivante. Si $t_{\theta_r} < 0$, la recherche supplémentaire suscitée par la réglementation produit un bénéfice supérieur pour les mauvais tirages plus que pour les bons. Cela signifie que r et θ sont des substituts en ce sens que la chance rend l'effort intense de recherche quelque peu redondant. Dans ce cas, les réductions de coût, *relativement au résultat en l'absence de réglementation*, sont plus probables pour les faibles réalisations de θ . Autrement dit, la recherche supplémentaire suscitée par la réglementation aura les conséquences les plus significatives sur les coûts quand θ est faible. Quand θ est élevé, la recherche supplémentaire aura moins de conséquences sur les coûts parce que le bon tirage diminue en fait le bénéfice marginal de la recherche. L'inverse a tendance à être vrai pour $t_{\theta_r} > 0$. Toutefois, dans le cas actuel, l'effet positif sur t est partiellement compensé par le fait que la courbe de production est concave en t et que t est plus élevé pour les θ plus élevés. Par conséquent, $t_{\theta_r} > 0$ doit être positif *et grand* pour que les réductions de coût soient plus probables pour les θ plus élevés. Il faut remarquer que pour les deux cas $t_{\theta_r} < 0$ et $t_{\theta_r} > 0$, des valeurs extrêmes de θ sont nécessaires mais non suffisantes pour que $D(\theta) < 0$. Autrement dit, le coût ne diminue pas nécessairement, même pour des valeurs extrêmes de θ .

Un résultat plus surprenant est que le coût espéré *ex ante* de la réglementation peut être négatif quand $u'' \neq 0$. Autrement dit, la réglementation peut avoir des coûts négatifs *en moyenne*. Pour le comprendre, considérons :

$$\begin{aligned} \partial E[C(q, \alpha)] / \partial \alpha = & [b(q) / (1 - \alpha)^2] \int_{\theta}^{\bar{\theta}} [1 / t] f(\theta) d\theta \\ & + (dr / d\alpha) \left[1 - [b(q) / (1 - \alpha)] \int_{\theta}^{\bar{\theta}} [t_r / t^2] f(\theta) d\theta \right] \end{aligned} \quad (14)$$

Dans le cas de neutralité au risque, le second terme est zéro à l'optimum (puisque la firme minimise simplement le coût espéré) et donc $\partial E[C(q, \alpha)] / \partial \alpha > 0$ dans ce cas⁵. La raison pour laquelle il en est ainsi est claire. La réglementation impose à l'entreprise une contrainte qu'elle aurait pu s'imposer elle-même si elle l'avait voulu. L'entreprise qui cherche à minimiser ses coûts l'aurait fait si les coûts espérés pouvaient ainsi être réduits. Cependant, dans le cas où $u'' \neq 0$, l'entreprise ne minimise pas le coût espéré (elle maximise l'utilité espérée du profit) et alors le second terme de (14) demeure présent. Si ce terme est négatif, le coût espéré peut être réduit par la réglementation. Les conditions suffisantes pour que ce résultat se produise ne pouvant être clairement interprétées, nous nous attarderons aux conditions nécessaires. En particulier, nous dériverons les conditions pour lesquelles le second terme de (14) est négatif quand $dr/d\alpha > 0$. Notons par Ω ce terme. Avant de procéder, reformulons la condition de premier ordre (7) afin d'obtenir :

5. Il est évidemment possible que le *coût de production espéré* diminue du fait de la réglementation là où les coûts de production excluent le coût de la recherche.

$$[b(q)/(1-\alpha)] \int_{\bar{\theta}}^{\bar{\theta}} u'(\pi)(t_r/t^2)f(\theta)d\theta / \int_{\bar{\theta}}^{\bar{\theta}} u'(\pi)f(\theta)d\theta = 1 \quad (15)$$

Si l'on note que pour deux variables aléatoires X et Y , $E[XY] = E[X]E[Y] + \text{cov}[X,Y]$, où $\text{cov}[X,Y]$ est la covariance de X et de Y , (15) peut se réécrire comme suit :

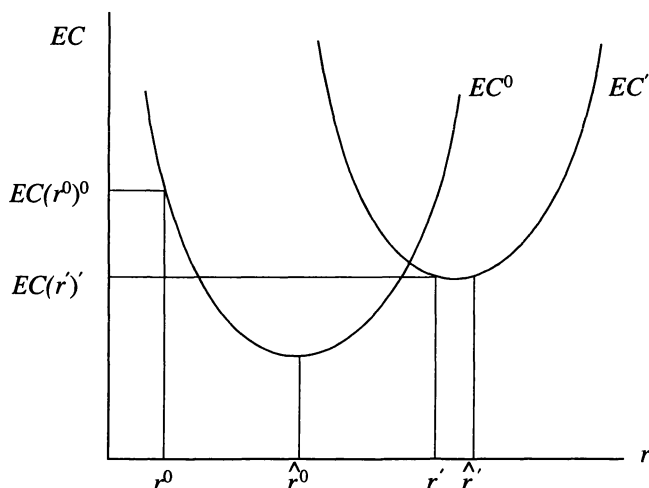
$$\Omega = b(q) \text{cov}[(t_r/t^2), u'(\pi)] / (1-\alpha) \int_{\bar{\theta}}^{\bar{\theta}} u'(\pi)f(\theta)d\theta \quad (16)$$

Il s'ensuit que $\Omega < 0$ si et seulement si le terme de covariance est négatif. Pour examiner le signe de ce terme de covariance, notons d'abord que $u'(\pi)$ diminue en θ si $u'' < 0$ et augmente si $u'' > 0$ puisqu'une augmentation de θ conduit à un profit supérieur. Notons ensuite que :

$$\partial(t_r/t^2)/\partial\theta = [t_{\theta r}t - 2t_{\theta}t_r]/t^3 \quad (17)$$

Cette dérivée est négative sauf si $t_{\theta r}$ est positif et grand. Donc, $u'' > 0$ et $t_{\theta r} < 0$ sont des conditions jointes suffisantes pour que $\text{cov}[(t_r/t^2), u'(\pi)] < 0$ et donc pour que $\Omega < 0$. Si $u'' < 0$, $t_{\theta r} > 0$ est une condition nécessaire pour que $\Omega < 0$. Les implications de ces résultats pour les coûts espérés sont les suivantes. Supposons que $(dr/d\alpha) > 0$. Si $u'' < 0$ et $t_{\theta r} < 0$, alors $\Omega > 0$ et $\partial E[C(q,\alpha)]/\partial\alpha > 0$. Autrement dit, la réglementation causera une augmentation des coûts espérés. Si $u'' > 0$ et/ou $t_{\theta r} > 0$, le coût espéré pourrait diminuer (mais pas nécessairement). Pour le voir, considérons le cas où $u'' < 0$ et $t_{\theta r} > 0$. L'aversion au risque signifie que l'entreprise accorde plus d'importance aux mauvais résultats possibles de la recherche qu'aux bons résultats. Elle choisit en conséquence un niveau de recherche inférieur à celui qui minimise le coût espéré. Cela ouvre la possibilité

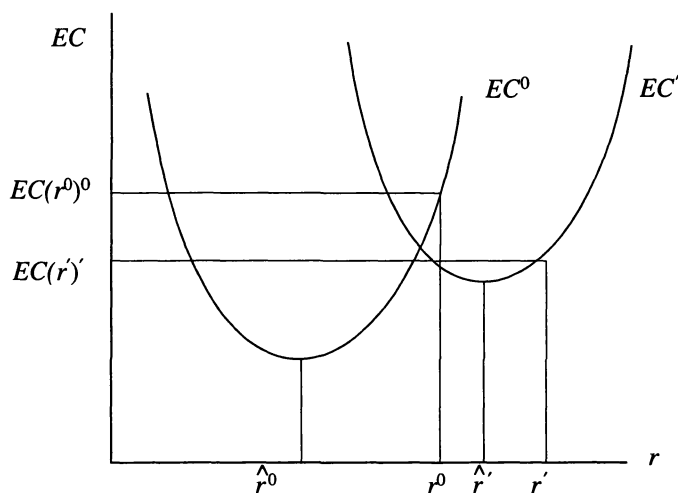
FIGURE 1



que le coût espéré minimum sous la réglementation puisse être inférieur au coût espéré réel sans la réglementation. Cette possibilité est illustrée à la figure 1 où $\hat{r}^0$ et $\hat{r}'$ sont respectivement les niveaux de recherche susceptibles de faire diminuer les coûts avant et après la réglementation. Naturellement, la firme ne minimise pas non plus le coût espéré après la réglementation. Cependant, si elle choisit un niveau de recherche plus proche de celui qui minimise le coût espéré après la réglementation qu'elle ne le faisait avant la réglementation (comme r' comparativement à r^0 à la figure 1), alors le coût espéré réel peut être inférieur après la réglementation, comme nous pouvons le voir à la figure 1. Le facteur crucial est ici $t_{\theta r}$. Si $t_{\theta r} > 0$, la recherche supplémentaire suscitée par la réglementation donne un bénéfice supérieur pour les bons tirages de θ que les mauvais tirages. Cela fait augmenter la valeur des bons résultats – relativement aux mauvais – qui, *ceteris paribus*, rapproche le niveau des dépenses de recherche de celui qui minimise le coût espéré. La qualification *ceteris paribus* renvoie au degré d'aversion au risque. La décision post-réglementation est faite à un point inférieur sur la fonction d'utilité que celui atteint lors de la décision pré-réglementation et si u'' est plus négatif à ce point, alors le degré d'aversion au risque peut plus que compenser l'effet positif relatif sur la valeur monétaire des bons résultats associés avec $t_{\theta r} > 0$.

Supposons maintenant que $u'' > 0$. La firme choisit alors un niveau de recherche plus élevé que celui qui minimise le coût espéré. Une fois de plus, cela signifie que le coût espéré réel avant la réglementation peut être plus élevé que le coût espéré minimum après la réglementation (cette possibilité est illustrée à la figure 2). Toutefois, la différence entre le choix réel du niveau de recherche et le choix qui minimise les coûts sera vraisemblablement plus faible si $t_{\theta r} < 0$. La raison en est claire : l'évaluation relative des mauvais résultats par rapport aux bons augmente quand $t_{\theta r} < 0$.

FIGURE 2



CONCLUSION

Nous avons montré que la réglementation peut avoir un coût négatif quand l'innovation provoquée par la réglementation a un élément stochastique. Deux aspects de ce résultat méritent d'être mis en valeur. Premièrement, si l'entreprise est neutre par rapport au risque, la réglementation fait nécessairement augmenter le coût espéré, mais le coût peut être inférieur *ex post* pour certaines réalisations du processus d'innovation. Le fait que cette réduction du coût soit plus probable pour des réalisations défavorables ou favorables de l'élément stochastique dépend de ce que la chance et l'effort de recherche sont des substituts ou des compléments dans le processus d'innovation. Le second aspect concerne les incidences de l'aversion au risque et du goût pour le risque. Dans les deux cas, il est possible que la réglementation fasse *en moyenne* diminuer les coûts parce qu'elle peut inciter la firme à entreprendre un niveau de recherche plus près de celui qui minimise le coût espéré.

Ces résultats posent un défi aux chercheurs en les obligeant à mieux réfléchir aux fondements théoriques sur lesquels s'appuient les études empiriques. En particulier, un cadre théorique qui présuppose que la réglementation fera augmenter les coûts de toutes les entreprises d'une industrie peut ne pas être approprié. Cela est confirmé par les résultats empiriques de Dufour *et al.* (1993) et de Meyer (1992). Évidemment, les effets positifs sur la productivité qu'ont relevés ces travaux ne sont pas nécessairement associés avec le phénomène que nous avons étudié ici : d'autres facteurs peuvent expliquer les résultats observés. Une façon naturelle de clarifier la question consisterait à compléter l'analyse habituelle de la productivité totale des facteurs par une analyse distincte des conséquences de la réglementation sur les dépenses de recherche. Une relation positive est une condition nécessaire de l'effet d'innovation induite examiné ici. Mais elle n'est pas une condition suffisante. Le défi consiste à distinguer entre les innovations qui réduisent les coûts et peuvent être attribuées à la recherche induite par la réglementation et les innovations qui auraient été mises en œuvre de toute façon. La nature stochastique du processus d'innovation rend cette tâche difficile.

BIBLIOGRAPHIE

- BARBARA, ANTHONY J., et VIRGINIA MCCONNELL (1990), « The Impact of Environmental Regulations on Industry Productivity : Direct and Indirect Effects », *Journal of Environmental Economics and Management*, 18(1): 50-65.
- CHRISTAINSEN, GREGORY B., et ROBERT H. HAVEMAN (1981), « Public Regulations and the Slowdown in Productivity Growth », *American Economic Review*, 71(2): 320-21.

- DUFOUR, CHARLES, LANOIE, P. et M. PATRY (1993), « Regulation and Productivity in the Québec Manufacturing Sector », mimeo, École des Hautes Études Commerciales.
- FULLER, DAN A. (1987), « Compliance, Avoidance, and Evasion: Emissions Control under Imperfect Enforcement in Steam-Electric Generation », *Rand Journal of Economics*, 18(1): 124-37.
- GRAY, WAYNE B. (1987), « The Cost of Regulation: OSHA, EPA and Productivity Slowdown », *American Economic Review*, 77(5): 998-1006.
- JORGENSON, DALE W., et PETER J. WILCOXEN (1990), « Environmental Regulation and US Economic Growth », *Rand Journal of Economics*, 21(2): 314-40.
- LURIE, ROBERT S. (1983), « R&D, Innovation and Environmental Regulation: the Case of Copper », *American Economic Review*, 27(2): 13-20.
- MAGAT, WESLEY A. (1979), « The Effects of Environmental Regulation on Innovation », *Law and Contemporary Problems*, 43(1): 4-25.
- MALONEY, MICHAEL T., et B. YANDLE (1984), « Estimation of the Cost of Air Pollution Control Regulation », *Journal of Environmental Economics and Management*, 11(3): 244-63.
- MEYER, STEPHEN M. (1992), « Environmentalism and Economic Prosperity: Testing the Environmental Impact Hypothesis », mimeo, Massachusetts Institute of Technology.
- MEYERS, JOHN G., et L. NAKAMURA (1980), « Energy and Pollution Effects on Productivity: a Putty-Clay Approach » dans JOHN W. KENDRICK (ed.), *New Developments in Productivity Measurement and Analysis*, Chicago, The University of Chicago Press.
- SMITH, J.B., et W.A. SIMS (1985), « The Impact of Pollution Charges on Productivity Growth in Canadian Brewing », *Rand Journal of Economics*, 16(3): 410-23.