

Régulation multidimensionnelle d'un monopole polluant et majorité politique aléatoire

Hélène Boisson*

*CRESE, Université de Franche-Comté***

1 Introduction

La régulation d'un monopole, naturel ou institutionnel, a longtemps été appréhendée du point de vue de la demande sur le marché de son produit, et par conséquent en termes de tarification appliquée aux consommateurs (par exemple, la tarification à la Ramsey - Boiteux est telle que l'indice de Lerner est inversement proportionnel à l'élasticité de la demande et assure l'équilibre budgétaire du monopole). La *Nouvelle Économie de la Régulation* propose, suite aux travaux de Loeb et Magat (1979), Baron et Myerson (1982) et Laffont et Tirole (1986), une régulation du monopole au niveau de son offre de produit en s'appuyant sur le postulat d'asymétrie informationnelle entre ce dernier et l'autorité qui le régule. Dans ce contexte de principal-agent, le régulateur (le principal) doit définir et mettre en oeuvre un mécanisme de régulation qui détermine la politique optimale étant donné les caractéristiques propres du monopole (l'agent), généralement décrites par sa fonction de coût. Afin d'inciter le monopole à révéler ces caractéristiques et de ne pas abuser au détriment du bien-être social de son avantage informationnel, le régulateur doit prendre en compte la structure informationnelle que lui impose le monopole et lui proposer des instruments incitatifs, tels les menus de contrats contingents à la réalisation de ses différents types.

La plupart du temps, la structure informationnelle repose sur l'inobservabilité par le principal de deux variables de la fonction de coût : l'une

* I am grateful to the editors and to two anonymous referees for helpful suggestions. I also thank Pierre-Henri Morand and Lionel Thomas for their constructive remarks. The usual disclaimer applies.

** CRESE, Université de Franche-Comté, 45 av. de l'Observatoire, 25030 Besançon Cedex, France. helene.boisson@yahoo.fr

exogène et d'anti-sélection, l'autre endogène et d'aléa moral (par exemple, dans Laffont et Tirole (1993), la première représente la productivité du monopole et la seconde son effort de réduction des coûts de production). En supposant que le coût de production du monopole réalisé ex post est vérifiable par le régulateur, et en exprimant la variable d'aléa moral en fonction de la caractéristique intrinsèque d'anti-sélection du monopole pour ce niveau de coût réalisé, le design du mécanisme incitatif repose sur une seule inconnue : la variable d'anti-sélection. Conformément à la terminologie utilisée dans la littérature concernant les *mécanismes autosélectifs ou de screening*, la situation que nous venons de décrire correspond au cas d'école caractérisé par *un instrument* à la disposition du régulateur : l'offre du monopole (la quantité qu'il produit) et par *une dimension* : la variable d'anti-sélection de sa fonction de coût.

La complexité des relations qui existent empiriquement entre le régulateur et le monopole, et notamment la diversité des informations privées détenues par ce dernier, a conduit à considérer des situations caractérisées par plusieurs instruments et une dimension ou un instrument et plusieurs dimensions, voire les deux simultanément (Rochet et Choné (1998) et Rochet et Stole (2003) passent en revue cette littérature). Les solutions des modèles de screening multidimensionnels diffèrent singulièrement de celles obtenues dans un cadre unidimensionnel. En effet, dans le cas unidimensionnel les *solutions mélangeantes* ou de *bunch* (telles que différents types du monopole sont amenés à choisir un contrat identique à l'optimum) peuvent être écartées aisément, notamment en s'assurant de la régularité des rentes informationnelles concédées à l'agent en échange de la révélation de ses caractéristiques privées. Cette propriété est garantie dès lors que la fonction de distribution des types de l'agent est elle-même régulière (en présentant un taux de hazard monotone) et que les conditions de croisement unique ou de Spence-Mirrlees sont satisfaites (pour davantage de détails se référer à Fudenberg et Tirole (1991) entre autres). Dans le cas multidimensionnel, l'exclusion des solutions mélangeantes est moins évidente.

Dans cet article, nous considérons en particulier un modèle de régulation optimale d'un monopole dont la fonction de coût est caractérisée par deux variables d'anti-sélection, soit un modèle présentant *un instrument* et *deux dimensions*. Plus précisément il s'agit pour le régulateur de contrôler la production d'un monopole producteur d'énergie et émetteur de pollution, les informations privées de ce dernier consistant en sa productivité et sa capacité à gérer la pollution, et, par conséquent, d'appréhender deux aspects indépendants de la régulation : réguler la production d'énergie en fonction de son coût de production d'une part, et du niveau d'émissions polluantes d'autre part. Dans ce cadre d'analyse bidimensionnel, nous nous restreignons à l'instar d'Armstrong (1999) à une modélisation binaire de l'information, et par suite à la réalisation éventuelle de quatre états de la nature. Cette simplification permet d'éviter l'apparition systématique d'une catégorie de solutions mélangeantes au problème de régulation optimale, notamment celle qui résulte à la fois de l'hypothèse de continuité des fonctions

de distribution des deux informations privées et d'un unique instrument de régulation (Laffont, Maskin et Rochet (1987), Lewis et Sappington (1988)). Nous évitons par ailleurs une seconde catégorie de solutions mélangeantes en effectuant, similairement aux modèles unidimensionnels, l'hypothèse de régularité des rentes informationnelles.

Une troisième catégorie de solutions mélangeantes, qui provient des interactions entre l'objectif de bien-être social du régulateur et les incitations du monopole, nous intéresse plus particulièrement. En effet, alors que les incitations sociales et privées convergent sur la dimension de la productivité du monopole (à la fois le régulateur et le monopole ont intérêt à ce que le coût de production soit faible), elles divergent sur la dimension de l'émission de pollution (les émissions polluantes sont nuisibles au bien-être social mais sont le fruit d'une technologie de production moins coûteuse). L'arbitrage que le régulateur effectue entre satisfaire les incitations privées du monopole, ce qui est nécessaire à la révélation de son information privée, et satisfaire les incitations sociales, ce qui est nécessaire à l'amélioration du bien-être, peut mener à un contrat de régulation optimale mélangeant ou séparable. Ainsi, un contrat mélangeant (respectivement séparable) apparaît lorsque les incitations sociales sont plus fortes (respectivement faibles) que les incitations privées.

Le jeu des incitations que nous venons de décrire est davantage subtil à partir du moment où nous considérons un aspect d'économie politique. En supposant que le régulateur, représentant élu des citoyens, hérite d'un pouvoir résiduel de décision délégué par la Constitution, nous introduisons l'éventualité d'une capture de décision par des groupes d'intérêt. En l'occurrence, nous considérons qu'il existe un groupe, qualifié d'*écologiste*, qui subit le niveau d'émissions polluantes du monopole comme une externalité négative, contrairement au second, qualifié de *non écologiste*. Le régulateur, soumis aux pressions électorales de chacun, intègre dans son objectif de régulation les intérêts du groupe qu'il représente. Nous retenons en particulier le cadre politique proposé par Laffont (1996).

Finalement, cet article est également à rapprocher de la littérature sur le contrôle de la pollution, dont une revue normative est offerte par Cropper et Oates (1992). Cette littérature se scinde en d'une part l'approche traditionnelle de commande et contrôle et d'autre part en l'approche plus récente, qui utilise les mécanismes autosélectifs dans une structure principal-agent. La plupart du temps, le pollueur est considéré comme un producteur bi-produit d'un sortant quelconque et d'un niveau de pollution associé, et sa technologie de production comporte une variable privée exogène de productivité et une variable endogène synthétisant son effort de dépollution (voir entre autres Laffont (1994) et Lewis (1996)).

La section 2 offre une description du cadre d'analyse du modèle : les caractéristiques du monopole et des différents groupes de consommateurs ainsi que l'objectif du régulateur en fonction du régime politique. Après avoir déterminé l'équilibre de régulation en information parfaite, le con-

trat de régulation optimale dans le contexte d'asymétrie informationnelle est caractérisé en section 3. Enfin, dans la section 4, les résultats sont discutés suite à l'exercice d'une statique comparative basée sur les variables politiques du modèle. La section 5 conclut.

2 Le cadre d'analyse

2.1 Les caractéristiques du monopole

Soit un monopole producteur d'énergie et émetteur de pollution. Son processus de production est caractérisé à la fois par un paramètre de productivité $\beta > 0$ et par un paramètre d'efficacité à gérer la pollution $d > 0$. La réalisation binaire de l'information privée implique que chacun de ces paramètres peut prendre deux valeurs : $\bar{\beta} > \underline{\beta}$ et $\bar{d} > \underline{d}$. Un monopole productif (resp. non productif) est de type $\underline{\beta}$ (resp. $\bar{\beta}$) et polluant (resp. non polluant) est de type \underline{d} (resp. \bar{d}).

Ces caractéristiques sont des *variables d'anti-sélection* : la technique de production du monopole relate un niveau de productivité et crée intrinsèquement une disposition à gérer la pollution (le niveau de pollution est fixe à la date du choix de la politique de régulation)¹. Elles influencent le coût de production du monopole et par conséquent la quantité d'énergie qu'il produit, notée $q^{\beta d} \geq 0$. À cette production est associé un niveau d'émissions polluantes, croissant en q , noté $f(q, d) \geq 0$, qui dépend du paramètre d'efficacité à gérer la pollution comme suit :

$$f(q, \bar{d}) < f(q, \underline{d}) \quad \text{et} \quad f_q(q, \bar{d}) < f_q(q, \underline{d}) \quad \forall q$$

$$f(0, \bar{d}) = f(0, \underline{d}) = 0$$

Soit la fonction de coût spécifiée suivante lorsque le monopole est de type βd :

$$C^{\beta d}(q) = \beta d q \quad (1)$$

telle que le coût est d'autant plus faible que le monopole est polluant et qu'il est productif. Ainsi, un premier classement des coûts de production en fonction des types du monopole et pour une quantité q d'énergie produite est :

$$C^{\bar{\beta}\bar{d}}(q) > C^{\bar{\beta}\underline{d}}(q) > C^{\underline{\beta}\bar{d}}(q) \quad \forall q \quad (2)$$

$$C^{\bar{\beta}\bar{d}}(q) > C^{\bar{\beta}\underline{d}}(q) > C^{\underline{\beta}\bar{d}}(q) \quad \forall q \quad (3)$$

¹ Par exemple, la disposition à gérer la pollution du monopole est relative à un investissement dans une technologie dépolluante réalisé à une date antérieure qui fixe son niveau d'émissions polluantes aux dates ultérieures. Le modèle pourrait être étendu en endogénéisant le choix du niveau d'investissement que peut réaliser le monopole, qui impacte directement sa fonction de coût. Le contrat de régulation optimale peut alors être de nature toute différente, comme le montre Gonzalez (2004).

Le classement global des coûts dépend de la valeur relative des coûts intermédiaires : si l'impact sur les coûts d'une meilleure productivité est supérieur (resp. inférieur) à l'impact d'une technologie plus polluante alors le coût du monopole inefficace polluant est supérieur (resp. inférieur) au coût du monopole efficace non polluant.

Remarque 1 : Ce classement de coût particulier résulte de l'hypothèse de coût attenante à la technologie de production polluante. En effet, nous avons supposé que le monopole polluant produit à moindre coût que le monopole non polluant. Néanmoins, considérer l'hypothèse alternative, soit $\bar{d} < \underline{d}$, telle que le monopole non polluant présente à niveau de production donné un coût inférieur impliquerait le classement global suivant :

$$\begin{aligned} C^{\bar{\beta}\underline{d}}(q) &> C^{\bar{\beta}\bar{d}}(q) > C^{\underline{\beta}\bar{d}}(q) & \forall q \\ C^{\bar{\beta}\underline{d}}(q) &> C^{\underline{\beta}\underline{d}}(q) > C^{\underline{\beta}\bar{d}}(q) & \forall q \end{aligned}$$

La réflexion porterait alors sur les coûts intermédiaires $C^{\bar{\beta}\bar{d}}(q)$ et $C^{\underline{\beta}\bar{d}}(q)$. En particulier, si l'impact sur les coûts d'une meilleure productivité est supérieur (resp. inférieur) à l'impact d'une technologie non polluante, alors le coût du monopole efficace polluant est supérieur (resp. inférieur) au coût du monopole inefficace non polluant. Une justification à ce cas de figure est l'utilisation par le monopole non polluant d'une technologie plus récente qui intègre l'évolution du progrès technique en terme de normes environnementales. \square

2.2 La différenciation des consommateurs

Les agents de l'économie consomment l'énergie produite par le monopole, obtenant de cette consommation un surplus noté $S(q)$ tel que $S(0) = 0$, $S_q(\cdot) > 0$, $S_{qq}(\cdot) < 0$, et tel que la production soit toujours désirable.

Néanmoins, ils considèrent l'émission de pollution associée à la production d'énergie comme une externalité négative et subissent une désutilité de la pollution, dont l'évaluation en bien-être est définie par $I(q, d)$, croissante et convexe en fonction du volume d'émissions polluantes². Le surplus d'un consommateur est alors $S(q) - \xi I(q, d)$, avec $\xi \in [0; 1]$ la sensibilité des agents au même niveau de pollution ambiante. Ce surplus net de la désutilité liée à la pollution conserve les propriétés de $S(\cdot)$ ³. Pour simplifier le cadre d'analyse, considérons que la variable de sensibilité ξ est binaire et qu'il existe de ce fait deux types de consommateurs. Supposons qu'une fraction $\alpha \in [0; 1]$ des consommateurs est très sensible au niveau de pollution. Elle est caractérisée par $\xi = 1$ et est qualifiée d'*écologiste*. La fraction

² Cette hypothèse a également été retenue par Laffont et Tirole (1991), (1993), Boyer et Laffont (1999) et Damania et Fredriksson (2000).

³ Cette hypothèse implique que $S_{qq}(q) - \gamma I_{qq}(q, d) > 0$ et que $S_{qq}(q) - \gamma I_{qq}(q, d) < 0$.

complémentaire de la population de consommateurs $1 - \alpha$, est très peu sensible à la pollution et la variable ξ , de valeur faible, est normalisée à 0. Ces agents sont qualifiés de *non écologistes*.

Finalement, le surplus de la population globale est :

$$S(q) - \alpha I(q, d) \quad (4)$$

2.3 L'objectif du régulateur

La mission du régulateur consiste en la définition d'un mécanisme de réglementation qui prévoit pour un type de monopole donné un niveau de production d'énergie, ainsi que les conditions du contrat de régulation : le régulateur collecte la recette correspondante à la vente de cette production sur un marché, et effectue au monopole un transfert forfaitaire⁴, noté $T^{\beta d}(q^{\beta d})$, qui assure au minimum le remboursement de ses coûts de production. Néanmoins, la concrétisation de cette tâche dépend de l'objectif en terme de bien-être social que se fixe le régulateur.

Si, bienveillant, le régulateur maximise *une fonction de bien-être utilitariste*, il tient compte dans le processus de décision du surplus global de la population défini en (4), et du profit réalisé par le monopole, tel que :

$$U^{\beta d}(q^{\beta d}) = T^{\beta d}(q^{\beta d}) - C^{\beta d}(q^{\beta d}) \quad (5)$$

Ainsi, l'objectif du régulateur est défini par :

$$W^u(q^{\beta d}) = S(q^{\beta d}) - \alpha I(q^{\beta d}, d) - (1 + \lambda)T^{\beta d}(q^{\beta d}) + U^{\beta d}(q^{\beta d}) \quad (6)$$

avec λ le coût social des fonds publics, qui reflète l'utilisation d'un système fiscal distortif pour l'obtention de fonds, ou :

$$W^u(q^{\beta d}) = S(q^{\beta d}) - \alpha I(q^{\beta d}, d) - (1 + \lambda)C^{\beta d}(q^{\beta d}) - \lambda U^{\beta d}(q^{\beta d}) \quad (7)$$

de façon à faire apparaître un coefficient négatif au profit du monopole. Ainsi, le régulateur va chercher à réduire ce coût social en minimisant le profit en fonction de la contrainte de participation du monopole :

$$U^{\beta d}(q^{\beta d}) \geq 0 \quad (8)$$

(le niveau de réservation étant normalisé à 0).

Si, en revanche, nous supposons que le régulateur est désigné par un gouvernement élu, son objectif de bien-être social peut être biaisé en faveur de groupes d'intérêt. Dans la structure politique proposée par Laffont (1996), les consommateurs participent à la désignation du gouvernement en

⁴ Une justification possible est donnée par l'hypothèse 4 du modèle général de Laffont et Tirole (1993).

élisant un représentant selon la règle de la majorité. Le système électoral donne une voix à chaque agent, qu'il attribue en fonction de ses préférences à l'un des deux candidats à l'élection. Le premier, écologiste, représente la fraction de la population écologiste et le second, non écologiste, représente le reste de la population. Ainsi, si chaque électeur vote sincèrement, le représentant du groupe majoritaire est élu. Lorsque la taille du groupe d'intérêt écologiste est telle que $\alpha > \frac{1}{2}$: le groupe majoritaire est écologiste, son représentant est élu et fonde un gouvernement de type écologiste; lorsque $\alpha < \frac{1}{2}$, le gouvernement au pouvoir est de type non écologiste⁵. Le gouvernement au pouvoir n'est pas bienveillant, et, pour des considérations électorales telles que la réélection, définit un objectif de bien-être social exclusivement en faveur du groupe d'intérêt qu'il représente. Nous supposons par ailleurs que le gouvernement est incapable de pratiquer une discrimination fiscale et que chaque contribuable participe de façon identique au financement du projet.

Dans ce contexte politique particulier, les fonctions de bien-être social sont la somme du surplus de l'électorat du gouvernement en place, net de la taxation, et du profit du monopole⁶. Ainsi, la fonction de bien-être du régulateur désigné par le gouvernement écologiste est, après réécriture :

$$W^e(q^{\beta d}) =$$

$$\alpha [S(q^{\beta d}) - I(q^{\beta d}, d) - (1 + \lambda)C^{\beta d}(q^{\beta d})] - [\alpha(1 + \lambda) - 1]U^{\beta d}(q^{\beta d}) \quad (9)$$

avec $\alpha > \frac{1}{1+\lambda}$ pour que le coefficient du profit du monopole soit négatif et éviter le cas particulier où l'objectif du gouvernement est de le maximiser⁷. Cet objectif fait apparaître une sur-estimation du coût social de la pollution : l'ensemble de la population de consommateurs est traité par le régulateur comme s'il était de type écologiste.

De façon symétrique, le fonction de bien-être du régulateur non écologiste s'écrit :

$$W^{ne}(q^{\beta d}) =$$

$$(1 - \alpha) [S(q^{\beta d}) - (1 + \lambda)C^{\beta d}(q^{\beta d})] - [(1 - \alpha)(1 + \lambda) - 1]U^{\beta d}(q^{\beta d}) \quad (10)$$

avec maintenant $1 - \alpha > \frac{1}{1+\lambda}$. À l'inverse du cas où le régulateur représente les intérêts écologistes, cet objectif fait apparaître une sous-estimation du coût social de la pollution.

⁵ Un point de discontinuité est maintenu en $\alpha = \frac{1}{2}$: les élections n'aboutissent pas et un gouvernement de substitution est mis en place, de type utilitariste.

⁶ Nous supposons de ce fait que le monopole est public : la majorité au pouvoir s'approprie la totalité du profit qu'il réalise.

⁷ Ainsi, les deux contraintes sur la valeur de α impliquée par l'élection d'un gouvernement écologiste font apparaître trois possibilités quant à la valeur de λ : (1) soit $\alpha > \frac{1}{2} = \frac{1}{1+\lambda}$ et $\lambda = 1$; (2) soit $\alpha > \frac{1}{2} > \frac{1}{1+\lambda}$ et $\lambda > 1$; (3) soit $\alpha > \frac{1}{1+\lambda} > \frac{1}{2}$ et $\lambda < 1$.

Par ailleurs, la valeur moyenne de λ est non négligeable et est considérée de l'ordre de 0, 3 dans les pays développés. Dans notre contexte, pour que la taille de la majorité α puisse balayer l'ensemble des valeurs possibles sur l'intervalle $\left[\frac{1}{2}, 1\right]$, il faut autoriser λ à prendre des valeurs supérieures à 1, ce qui n'est pas incompatible avec les travaux de Feldstein (1999).

Par ailleurs, soulignons que les considérations de répartition du bien-être social sont ici de deux natures différentes. D'une part, le contexte politique implique une pondération déséquilibrée du surplus des consommateurs et du profit du monopole dans la fonction de bien-être social. D'autre part, le coût social des fonds publics permet de considérer le coût social lié à l'existence d'un gouvernement et de son financement. Comme le soulignent Armstrong, Cowan et Vickers (1994), ces deux approches redistributives sont complémentaires et ont en commun la mise en évidence du conflit entre efficacité allocative et extraction de la rente informationnelle du monopole.

2.4 Résolution en information parfaite

Dans un environnement d'information parfaite, le régulateur, quel que soit son type, observe les paramètres de la fonction de coût du monopole. Il définit le mécanisme de régulation optimale en maximisant son objectif de bien-être social⁸ étant donné les caractéristiques observées et la contrainte de participation du monopole (8). Il résout le programme suivant :

$$\begin{aligned} \text{Max}_{q^{\beta d}, T^{\beta d}} \quad & W^u(q^{\beta d}) \quad \text{ou} \quad W^e(q^{\beta d}) \quad \text{ou} \quad W^{ne}(q^{\beta d}) \\ \text{s.c.} \quad & U^{\beta d}(q^{\beta d}) \geq 0 \end{aligned}$$

En raison du coût social que le profit du monopole engendre, cette contrainte est saturée à l'optimum et le transfert forfaitaire couvre exactement les coûts de production (décrits par (1)) :

$$T^{\beta d}(\tilde{q}^{\beta d}) = \beta d \tilde{q}^{\beta d} \quad (11)$$

La production d'énergie optimale $\tilde{q}^{\beta d}$, selon le type du régulateur, vérifie :

$$S_q(\tilde{q}^{\beta d}) = (1 + \lambda)\beta d + \delta I_q(\tilde{q}^{\beta d}, d) \quad (12)$$

avec $\delta = \alpha$ si le régulateur est utilitariste; $\delta = 1$ s'il est écologiste et $\delta = 0$ s'il est non écologiste. La production d'énergie optimale est ainsi définie par l'égalité entre le surplus marginal associé à la consommation d'énergie et la somme du coût marginal de sa production, étant donné le coût social des fonds publics, et de la désutilité liée aux émissions polluantes, en proportion

⁸ Nous supposons que chacun des trois objectifs sont des fonctions croissantes et concaves. Dans le cas utilitariste, ceci implique :

$$S_{qq}(q) - \alpha I_{qq}(q^{\beta d}, d) - (1 + \lambda)C_{qq}^{\beta d}(q) - \lambda U_{qq}^{\beta d}(q) > 0$$

$$S_{qq}(q) - \alpha I_{qq}(q^{\beta d}, d) - (1 + \lambda)C_{qq}^{\beta d}(q) - \lambda U_{qq}^{\beta d}(q) < 0$$

de la population affectée et considérée par le gouvernement (ceci correspond à une tarification à la Ramsey). Le volume de pollution émis correspondant à cet optimum est $f(\bar{q}^{\beta d}, d)$.

Les remarques suivantes peuvent être effectuées : (i) le contrat optimal est séparable; (ii) pour un type de monopole donné, la production d'énergie optimale est d'autant plus faible que le groupe de consommateurs écologistes est représenté dans l'objectif de bien-être social; (iii) lorsque le gouvernement est de type non écologiste, la production d'énergie est d'autant plus élevée que le coût marginal de production du monopole est faible; (iv) cette dernière assertion n'est plus évidente dès lors que le gouvernement est de type utilitariste ou écologiste.

En effet, dans ces cas particuliers, la désutilité des consommateurs est intégrée dans l'objectif de bien-être social, et par conséquent, outre l'évolution du coût marginal de production, il faut tenir compte de l'impact de la variable de pollution dans la définition du contrat optimal. Ainsi, le passage d'un monopole de type non polluant à un type polluant (pour un niveau d'efficacité donné), engendre à la fois un impact positif sur le bien-être social à travers un coût marginal de production inférieur et un impact négatif à travers un surplus marginal inférieur en raison d'un niveau de pollution plus élevé. Si l'impact positif est inférieur à l'impact négatif, alors la quantité produite par le monopole polluant à l'équilibre est inférieure à celle produite par le monopole non polluant, bien que ce dernier ait un coût marginal de production supérieur. Cet arbitrage rend compte des effets contraires qu'impliquent les caractéristiques du monopole sur le bien-être social dès lors que la dimension de la pollution (d) affecte non seulement le coût du monopole mais le surplus social. Lorsque le gouvernement est non écologiste, le surplus social est indépendant de cette variable (les consommateurs écologistes ne sont pas représentés), le passage d'un monopole non polluant à polluant (à niveau d'efficacité donné) engendre un impact positif seulement sur le bien-être social en raison d'un coût marginal de production inférieur (d'où notre remarque (iii)).

Dans le contexte d'information parfaite, la divergence des effets liés à un changement de technologie sur le bien-être social n'a pas de conséquences sur le contrat optimal proposé par le régulateur étant donné qu'il observe le type du monopole. En information imparfaite, il s'avère que cette divergence est incompatible avec la mise en oeuvre d'un mécanisme de révélation de l'information et implique la proposition d'un contrat optimal mélangeant, nécessaire à la sauvegarde des incitations.

2.5 Résolution en information imparfaite

Lorsque l'environnement est d'information imparfaite, le régulateur ne peut observer les paramètres de la fonction de coût du monopole et ne connaît la

réalisation de l'état de la nature qu'en moyenne. La probabilité d'occurrence du type βd est notée $p_{\beta d}$, avec $p_{\beta d} \geq 0$, $\forall \beta, \forall d$, et $\sum_{\beta, d} p_{\beta d} = 1$.

Le mécanisme de réglementation instauré par le régulateur doit inciter le monopole à révéler ses deux caractéristiques privées. En effet, ce dernier ne peut directement demander au monopole d'annoncer son type puisque celui-ci peut, si son intérêt en dépend, le dissimuler. L'unique *instrument incitatif* dont dispose le régulateur est la quantité d'énergie à produire, à laquelle est associé un transfert forfaitaire $T^{\beta d}(\cdot)$, qui doit encourager le monopole à implicitement révéler son information privée lors de sa décision de production. Par conséquent, l'asymétrie informationnelle remet en cause les allocations de premier rang obtenues dans le contexte d'information parfaite, puisque le régulateur doit concéder une rente au monopole afin d'obtenir l'annonce de son véritable type. Par suite, le caractère coûteux du mécanisme de régulation, engendré par le coût social des fonds publics, induit le régulateur à effectuer un arbitrage entre l'efficacité de l'allocation (faire tendre le niveau d'énergie produite vers celui de premier rang) et la minimisation des rentes informationnelles. Le mécanisme optimal propose alors le compromis idéal.

En vertu du **Principe de Révélation**, le régulateur propose un mécanisme direct et révélateur, composé d'un menu de contrats qui spécifient une production d'énergie et un transfert forfaitaire contingents à la réalisation du type du monopole, soit l'octuplet $\{q^{\beta \bar{d}}, q^{\beta d}, q^{\beta \underline{d}}, q^{\beta d}, T^{\beta \bar{d}}, T^{\beta d}, T^{\beta \underline{d}}, T^{\beta d}\}$. Le mécanisme de régulation optimale $\{q^{\beta d}, T^{\beta d}\}$ compatible avec les incitations assure la révélation de leurs caractéristiques privées par tous les types du monopole en leur garantissant en cas d'annonce de la vérité un profit supérieur à celui obtenu avec une autre annonce. Plus précisément, pour que le monopole de type βd choisisse le contrat de régulation $\{q^{\beta d}, T^{\beta d}\}$, il faut que le profit $U^{\beta d}(q^{\beta d})$ correspondant soit supérieur au profit $U^{\beta d}(q^{\beta' d'})$ qu'il obtient en choisissant $\{q^{\beta' d'}, T^{\beta' d'}\}$ soit : $U^{\beta d}(q^{\beta d}) \geq U^{\beta d}(q^{\beta' d'})$. Ainsi, les *contraintes incitatives* en fonction des types de monopole et des niveaux de production sont de la forme générale⁹ :

$$T^{\beta d}(q^{\beta d}) - C^{\beta d}(q^{\beta d}) \geq T^{\beta' d'}(q^{\beta' d'}) - C^{\beta d}(q^{\beta' d'}) \quad \forall \beta, \forall d, \forall \beta', \forall d' \quad (13)$$

Étant donné les quatre types possibles de monopole, le régulateur doit tenir compte dans le processus de régulation de *douze contraintes incitatives* (Annexe A).

Le mécanisme de régulation doit par ailleurs assurer la participation de chaque type de monopole et satisfaire les *quatre contraintes de partici-*

⁹ Lire $C^{\beta d}(q^{\beta' d'})$ comme le coût engendré par la production de la quantité $q^{\beta' d'}$ pour le monopole de type βd .

patation de la forme générale :

$$U^{\beta d}(q^{\beta d}) \geq 0 \quad \forall \beta, \forall d \quad (14)$$

Le programme du régulateur est alors de maximiser son espérance de bien-être social, notée EW , en fonction de la réalisation du type du monopole, par rapport au mécanisme de régulation $\{q^{\beta d}, T^{\beta d}\}$, et sous les douze contraintes incitatives et les quatre contraintes de participation. Le régulateur peut par ailleurs être représentatif de trois types de gouvernement : utilitariste, écologiste ou non écologiste, qui diffèrent par leur définition du bien-être social (plus ou moins de poids est accordé aux surplus des différents consommateurs). Ainsi, il existe trois programmes distincts en fonction du type de gouvernement, mais dont les contraintes sont identiques :

$$\begin{aligned} & \text{Max}_{q^{\beta d}, T^{\beta d}} \quad EW^u(q^{\beta d}, T^{\beta d}) \quad \text{ou} \quad EW^e(q^{\beta d}, T^{\beta d}) \quad \text{ou} \quad EW^{ne}(q^{\beta d}, T^{\beta d}) \\ \text{s.c.} \quad & T^{\beta d}(q^{\beta d}) - C^{\beta d}(q^{\beta d}) \geq T^{\beta' d'}(q^{\beta' d'}) - C^{\beta d}(q^{\beta' d'}) \quad \forall \beta, \forall d, \forall \beta', \forall d' \\ & \text{s.c.} \quad U^{\beta d}(q^{\beta d}) \geq 0 \quad \forall \beta, \forall d \end{aligned}$$

Les contraintes incitatives s'écrivent en fonction du profit du monopole (Annexe A) :

$$U^{\beta d}(q^{\beta d}) \geq U^{\beta' d'}(q^{\beta' d'}) + C^{\beta' d'}(q^{\beta' d'}) - C^{\beta d}(q^{\beta' d'}) \quad \forall \beta, \forall d, \forall \beta', \forall d' \quad (15)$$

et par suite le programme des gouvernements :

$$\begin{aligned} & \text{Max}_{q^{\beta d}, U^{\beta d}} \quad EW^u(q^{\beta d}, U^{\beta d}) \quad \text{ou} \quad EW^e(q^{\beta d}, U^{\beta d}) \quad \text{ou} \quad EW^{ne}(q^{\beta d}, U^{\beta d}) \\ \text{s.c.} \quad & U^{\beta d}(q^{\beta d}) \geq U^{\beta' d'}(q^{\beta' d'}) + C^{\beta' d'}(q^{\beta' d'}) - C^{\beta d}(q^{\beta' d'}) \quad \forall \beta, \forall d, \forall \beta', \forall d' \\ & \text{s.c.} \quad U^{\beta d}(q^{\beta d}) \geq 0 \quad \forall \beta, \forall d \end{aligned}$$

Armstrong et Rochet (1999) proposent une méthodologie générale permettant de résoudre de façon simplifiée les problèmes bidimensionnels. Cette méthode repose sur la résolution du *programme relâché*, qui distingue deux sous-ensembles de contraintes incitatives parmi les douze : le premier est composé de contraintes considérées saturées a priori et qui interviennent dans la procédure de caractérisation du contrat de régulation optimale, le second est composé de contraintes dont la satisfaction n'est vérifiée qu'ex post.

3 La caractérisation du contrat de régulation optimale

Comme nous l’avons souligné en introduction, la restriction du modèle à une modélisation binaire de l’information privée exclut une première catégorie de solutions mélangeantes. Une seconde catégorie est évitée en garantissant la régularité des rentes informationnelles. D’abord, le choix d’une fonction de coût linéaire, et donc d’un coût marginal constant, assure le respect des conditions de croisement unique. Ensuite, nous supposons que l’impact relatif sur le coût d’une technique de production plus productive est supérieur à l’impact relatif d’une technique de production moins polluante. Ainsi, les coûts marginaux des quatre types du monopole sont complètement ordonnés comme suit :

$$\bar{\beta}_d > \underline{\beta}_d > \underline{\beta}_d > \underline{\beta}_d \tag{16}$$

Ces inégalités combinées avec les contraintes incitatives engendrent le classement des quantités d’énergie produites en fonction du type du monopole suivant :

$$q^{\beta_d} \geq q^{\beta_d} \geq q^{\beta_d} \geq q^{\beta_d} \tag{17}$$

qui constitue une *contrainte incitative globale* du mécanisme de régulation dont doit tenir compte le régulateur, quel que soit son type, dans la résolution de son programme. Enfin, la *condition de régularité* de la distribution de probabilités des types est la non décroissance du taux de hazard soit :

$$\frac{p_{\beta_d}}{p_{\beta_d}} < \frac{p_{\beta_d} + p_{\beta_d}}{p_{\beta_d}} < \frac{p_{\beta_d} + p_{\beta_d} + p_{\beta_d}}{p_{\beta_d}} \tag{18}$$

Si, suite à cette série d’hypothèses, la caractérisation du contrat de régulation optimale fait apparaître des mécanismes non monotones, ils seront la conséquence de la confrontation des incitations du monopole et du régulateur, mais aussi du contexte politique.

La contrainte incitative globale nous renseigne sur les incitations du monopole et par conséquent sur les contraintes incitatives à retenir dans le premier sous-ensemble du programme relâché. En l’occurrence, le mécanisme de régulation doit être tel que le monopole de type $\underline{\beta}_d$ ne soit pas incité à se faire passer pour un monopole de type $\underline{\beta}_d$, que ce dernier ne soit pas incité à se faire passer pour un monopole de type $\bar{\beta}_d$, qui enfin ne doit pas se faire passer pour un type $\bar{\beta}_d$. Dans l’ensemble des contraintes incitatives, trois contraintes traduisent ces incitations :

$$(e) U^{\beta_d}(q^{\beta_d}) \geq U^{\beta_d}(q^{\beta_d}) + C^{\beta_d}(q^{\beta_d}) - C^{\beta_d}(q^{\beta_d})$$

$$(h) U^{\beta_d}(q^{\beta_d}) \geq U^{\beta_d}(q^{\beta_d}) + C^{\beta_d}(q^{\beta_d}) - C^{\beta_d}(q^{\beta_d})$$

$$(k) \quad U^{\bar{\beta}d} (q^{\bar{\beta}d}) \geq U^{\beta d} (q^{\beta d}) + C^{\bar{\beta}d} (q^{\beta d}) - C^{\beta d} (q^{\bar{\beta}d})$$

Le mécanisme de régulation doit également vérifier les contraintes de participation des quatre types du monopole¹⁰.

Les régulateurs utilitariste, écologiste et non écologiste font face à leur programme relâché respectif, c'est-à-dire la maximisation de leur espérance de bien-être social, sous les contraintes incitatives retenues dans le premier sous-ensemble, les contraintes de participation de chacun des types de monopole et la contrainte incitative globale :

$$\text{Max}_{q^{\beta d}, U^{\beta d}} \quad EW^u (q^{\beta d}, U^{\beta d}) \quad \text{ou} \quad EW^e (q^{\beta d}, U^{\beta d}) \quad \text{ou} \quad EW^{ne} (q^{\beta d}, U^{\beta d})$$

$$s.c. \quad (e), \quad (h) \quad \text{et} \quad (k)$$

$$s.c. \quad U^{\beta d} (q^{\beta d}) \geq 0 \quad \forall \beta, \forall d$$

$$s.c. \quad q^{\beta d} \geq q^{\bar{\beta}d} \geq q^{\underline{\beta}d} \geq q^{\bar{\beta}d}$$

La satisfaction de la contrainte de rationalité individuelle du monopole qui a le coût de production le plus élevé garantit la participation des trois autres (Annexe B). Cette contrainte est saturée en raison de la décroissance des objectifs avec le profit :

$$(p) \quad U^{\bar{\beta}d} (q^{\bar{\beta}d}) = 0 \tag{19}$$

A priori, les contraintes incitatives du premier sous-ensemble sont saturées. Les égalités ainsi obtenues à partir de (e), (h), (k) et de (p) permettent de définir les profits des trois autres types de monopole :

$$U^{\bar{\beta}d} (q^{\bar{\beta}d}) = (\bar{\beta}d - \underline{\beta}d) q^{\bar{\beta}d} \tag{P1}$$

¹⁰ Dans l'hypothèse alternative introduite dans la **remarque 1**, qui implique $\bar{\beta}d > \bar{\beta}d > \underline{\beta}d > \underline{\beta}d$, l'impact relatif sur le coût d'une technique de production plus productive est inférieur à l'impact d'une technique de production moins polluante.

La contrainte incitative globale est alors :

$$q^{\beta d} \geq q^{\bar{\beta}d} \geq q^{\beta d} \geq q^{\bar{\beta}d}$$

et la condition de régularité impose :

$$\frac{p_{\beta d}}{p_{\bar{\beta}d}} < \frac{p_{\bar{\beta}d} + p_{\beta d}}{p_{\underline{\beta}d}} < \frac{p_{\bar{\beta}d} + p_{\bar{\beta}d} + p_{\beta d}}{p_{\bar{\beta}d}}$$

Enfin, le premier sous-ensemble de contraintes incitatives du programme relâché est constitué des contraintes (b), (g) et (j). Soulignons que la restriction générale de nos hypothèses quant à la fonction de coût relève d'une volonté de clarté et de simplification de l'exposé. La logique de résolution du programme de régulation optimale est dans tous les cas similaire et l'interprétation des résultats procède du jeu de convergence ou de divergence des incitations sociales et privées.

$$U^{\underline{\beta}\bar{d}}(q^{\underline{\beta}\bar{d}}) = (\bar{\beta}\underline{d} - \underline{\beta}\bar{d}) q^{\bar{\beta}\underline{d}} + (\bar{\beta}\underline{d} - \underline{\beta}\bar{d}) q^{\bar{\beta}\bar{d}} \tag{P2}$$

$$U^{\underline{\beta}\bar{d}}(q^{\underline{\beta}\bar{d}}) = (\bar{\beta}\underline{d} - \underline{\beta}\bar{d}) q^{\bar{\beta}\underline{d}} + (\bar{\beta}\underline{d} - \underline{\beta}\bar{d}) q^{\bar{\beta}\bar{d}} + (\bar{\beta}\underline{d} - \underline{\beta}\bar{d}) q^{\bar{\beta}\bar{d}} \tag{P3}$$

En tenant compte des trois contraintes incitatives saturées et de la contrainte de rationalité individuelle du monopole qui a le niveau de coût le plus élevé serrée, nous pouvons réécrire l'objectif de bien-être social de chacun des gouvernements en fonction de la quantité d'énergie à produire uniquement. Cette nouvelle fonction de bien-être, qui inclut le surplus social généré par la production d'énergie duquel sont déduites les rentes informationnelles laissées au monopole pour qu'il révèle ses caractéristiques privées, est appelée *fonction de bien-être social virtuel* (Myerson (1991)). Notons $EW_v(q^{\beta d})$ cette fonction :

$$\begin{aligned} EW_v(q^{\beta d}) = & \sum_{\beta, d} p_{\beta d} \{ mS(q^{\beta d}) - \theta I(q^{\beta d}, d) - m(1 + \lambda)\beta d q^{\beta d} \} \\ & - [m(1 + \lambda) - 1] (p_{\bar{\beta}\underline{d}} + p_{\underline{\beta}\bar{d}} + p_{\bar{\beta}\bar{d}}) (\bar{\beta}\underline{d} - \underline{\beta}\bar{d}) q^{\bar{\beta}\bar{d}} \\ & - [m(1 + \lambda) - 1] (p_{\underline{\beta}\bar{d}} + p_{\bar{\beta}\bar{d}}) (\bar{\beta}\underline{d} - \underline{\beta}\bar{d}) q^{\bar{\beta}\bar{d}} \\ & - [m(1 + \lambda) - 1] (p_{\bar{\beta}\bar{d}}) (\bar{\beta}\underline{d} - \underline{\beta}\bar{d}) q^{\bar{\beta}\bar{d}} \end{aligned} \tag{20}$$

avec m la taille de la population considérée par le gouvernement ($m = 1$ lorsqu'il est utilitariste, $m = \alpha$ lorsqu'il est écologiste et $m = 1 - \alpha$ lorsqu'il est écologiste) et θ la part des consommateurs écologistes dans la population représentée par le gouvernement ($\theta = \alpha$ lorsqu'il est utilitariste, $\theta = 1$ lorsqu'il est écologiste et $\theta = 0$ lorsqu'il est non écologiste).

Le programme des gouvernements devient finalement la maximisation de leur espérance de bien-être social virtuel sous la contrainte incitative globale (CIG) :

$$\text{Max}_{q^{\beta d}} EW_v^u(q^{\beta d}) \quad \text{ou} \quad EW_v^e(q^{\beta d}) \quad \text{ou} \quad EW_v^{ne}(q^{\beta d}) \tag{P}$$

$$s.c. \quad q^{\underline{\beta}\bar{d}} \geq q^{\bar{\beta}\underline{d}} \geq q^{\bar{\beta}\bar{d}} \geq q^{\underline{\beta}\bar{d}}$$

3.1 Le gouvernement au pouvoir est utilitariste

Soit l'ensemble des fonctions suivantes, qui assurent la maximisation de la fonction de bien-être social virtuel par rapport aux quantités produites par chaque type de monopole sans tenir compte de la CIG et soient $\rho^{\bar{\beta}\bar{d}}$, $\rho^{\bar{\beta}\underline{d}}$, $\rho^{\underline{\beta}\bar{d}}$ et $\rho^{\underline{\beta}\bar{d}}$ les quantités déterminées :

$$S_q(\rho^{\bar{\beta}\bar{d}}) - \alpha I_q(\rho^{\bar{\beta}\bar{d}}, \bar{d}) = (1 + \lambda)\bar{\beta}\bar{d} + \lambda \left[\frac{p_{\bar{\beta}\underline{d}} + p_{\underline{\beta}\bar{d}} + p_{\bar{\beta}\bar{d}}}{p_{\bar{\beta}\bar{d}}} \right] (\bar{\beta}\underline{d} - \underline{\beta}\bar{d}) \tag{E1}$$

$$S_q \left(\rho^{\beta \underline{d}} \right) - \alpha I_q \left(\rho^{\beta \underline{d}}, \underline{d} \right) = (1 + \lambda) \underline{\beta \underline{d}} + \lambda \left[\frac{p_{\beta \underline{d}} + p_{\beta \bar{d}}}{p_{\beta \underline{d}}} \right] (\underline{\beta \underline{d}} - \underline{\beta \bar{d}}) \quad (E2)$$

$$S_q \left(\rho^{\beta \bar{d}} \right) - \alpha I_q \left(\rho^{\beta \bar{d}}, \bar{d} \right) = (1 + \lambda) \underline{\beta \bar{d}} + \lambda \left[\frac{p_{\beta \bar{d}}}{p_{\beta \bar{d}}} \right] (\underline{\beta \bar{d}} - \underline{\beta \underline{d}}) \quad (E3)$$

$$S_q \left(\rho^{\beta \underline{d}} \right) - \alpha I_q \left(\rho^{\beta \underline{d}}, \underline{d} \right) = (1 + \lambda) \underline{\beta \underline{d}} \quad (E4)$$

Deux possibilités sont à envisager. Premièrement :

Proposition 1 : *Si les quantités $\rho^{\beta d}$ déterminées par les équations E1 à E4 vérifient la CIG, alors elles constituent le **contrat séparateur** de régulation optimale que propose le gouvernement utilitariste :*

$$\left\{ q^{\beta \underline{d}} = \rho^{\beta \underline{d}}, q^{\beta \bar{d}} = \rho^{\beta \bar{d}}, q^{\beta \underline{d}} = \rho^{\beta \underline{d}}, q^{\beta \bar{d}} = \rho^{\beta \bar{d}} \right\}$$

avec les transferts forfaitaires incitatifs $T^{\beta d}(\cdot)$:

$$T^{\beta \underline{d}} \left(q^{\beta \underline{d}} \right) = (\underline{\beta \bar{d}} - \underline{\beta \underline{d}}) q^{\beta \bar{d}} + (\underline{\beta \underline{d}} - \underline{\beta \bar{d}}) q^{\beta \underline{d}} + (\underline{\beta \bar{d}} - \underline{\beta \underline{d}}) q^{\beta \bar{d}} + \underline{\beta \underline{d}} q^{\beta \underline{d}}$$

$$T^{\beta \bar{d}} \left(q^{\beta \bar{d}} \right) = (\underline{\beta \bar{d}} - \underline{\beta \underline{d}}) q^{\beta \bar{d}} + (\underline{\beta \underline{d}} - \underline{\beta \bar{d}}) q^{\beta \underline{d}} + \underline{\beta \bar{d}} q^{\beta \bar{d}}$$

$$T^{\beta \underline{d}} \left(q^{\beta \bar{d}} \right) = (\underline{\beta \bar{d}} - \underline{\beta \underline{d}}) q^{\beta \bar{d}} + \underline{\beta \underline{d}} q^{\beta \bar{d}}$$

$$T^{\beta \bar{d}} \left(q^{\beta \underline{d}} \right) = \underline{\beta \bar{d}} q^{\beta \underline{d}}$$

Dans ce cas, les quantités d'énergie produites à l'optimum sont telles que le surplus marginal utilitariste tiré de la consommation d'énergie égale le coût marginal virtuel de sa production, composé d'une part du coût marginal de production additionné du coût social de son financement, et d'autre part du coût de la rente informationnelle. Le contrat totalement séparateur apparaît lorsque l'ordonnancement des coûts marginaux de production en fonction des types du monopole est identique à celui des niveaux de bien-être engendrés par leur production d'énergie respective. En d'autres termes, il apparaît lorsque le jeu des incitations implique un vecteur de production à l'équilibre cohérent avec le classement des coûts marginaux de production : plus le coût marginal est faible, plus il produit.

La proposition 1 annonce un résultat conforme à celui observé lorsque l'asymétrie d'information porte sur une variable d'anti-sélection : les niveaux de production obtenus à l'optimum de second rang sont inférieurs à ceux obtenus à l'optimum de premier rang, et la distorsion est d'autant moins importante que le coût de production est faible. Ainsi, le type qui a le coût le plus faible est à son niveau de premier rang et dispose de la rente informationnelle la plus élevée.

Deuxièmement :

Proposition 2 : *Si les quantités $\rho^{\beta d}$ déterminées par les équations E1 à E4 ne satisfont pas la CIG, alors le gouvernement utilitariste doit rétablir la compatibilité incitative nécessaire à la révélation d'information en proposant un contrat mélangeant de régulation optimale.*

Illustrons par un exemple. Supposons que les équations E1 à E4 induisent : $\rho^{\bar{\beta}d} < \rho^{\underline{\beta}d} < \rho^{\beta d} < \rho^{\bar{\beta}d}$, classement ne respectant pas la CIG. Dans ce cas, le monopole de type inefficace non polluant produit davantage que le type inefficace polluant, en raison d'un impact positif sur le bien-être social lié à un niveau inférieur d'émissions polluantes supérieur à l'impact négatif engendré par une technologie plus coûteuse. Or, la compatibilité incitative impose que le monopole qui présente un coût marginal de production inférieur produise davantage. Ainsi, tenir compte de la CIG implique que le monopole de type inefficace non polluant soit contraint à produire au maximum la quantité produite par le monopole inefficace polluant. La quantité optimale commune \hat{q} est déterminée en résolvant le programme du régulateur \mathcal{P} sous la contrainte additionnelle : $q^{\bar{\beta}d} = q^{\beta d} = \hat{q}$. Nous raisonnons de même pour conclure que le régulateur limite la production du monopole efficace non polluant en l'égalisant à celle du monopole efficace polluant : $q^{\beta d} = q^{\underline{\beta}d} = \hat{q}$. Finalement, dans cet exemple, le contrat de régulation optimale est solution de la résolution du programme \mathcal{P} auquel sont ajoutées les deux contraintes $q^{\bar{\beta}d} = q^{\beta d} = \hat{q}$ et $q^{\beta d} = q^{\underline{\beta}d} = \hat{q}$. Les transferts forfaitaires correspondant sont : $T^{\bar{\beta}d}(\hat{q}) = T^{\beta d}(\hat{q}) = (\bar{\beta}d - \underline{\beta}d)\hat{q} + \underline{\beta}d\hat{q}$ et $T^{\underline{\beta}d}(\hat{q}) = T^{\bar{\beta}d}(\hat{q}) = \bar{\beta}d\hat{q}$.

De façon générale, les règles d'allocation mélangeantes à l'équilibre apparaissent lorsque l'information privée affecte *directement* à la fois le surplus du régulateur (le bien-être social) et le coût du monopole et que les *incitations sociales* divergent des *incitations privées* (Armstrong (1999)). Ce phénomène, qualifié de *nonresponsiveness* par Guesnerie et Laffont (1984), rend parfois l'exploitation de l'information transmise par le monopole quant à son type impossible. Plus précisément, la variable de pollution a un impact sur le bien-être social (via la désutilité des consommateurs écologistes) et sur le niveau de coût du monopole : si elle est faible, alors la désutilité est importante et le coût moindre, et réciproquement. Par conséquent, le régulateur fait face à un conflit entre ses propres incitations (les incitations sociales) qui favorisent une capacité à gérer la pollution élevée et les incitations privées qui favorisent un coût de production bas. Cependant, la présence de la seconde variable, la productivité, réduit ce conflit puisque sur cette dimension, les incitations sociales et les incitations privées convergent : une meilleure productivité réduit le coût de production et son financement par les consommateurs. Intuitivement, à l'équilibre, le gouvernement utilitariste réalise un arbitrage entre le coût social associé à la mise en place d'un mécanisme de régulation incitatif et la désutilité de son électorat écologiste liée à la production d'énergie.

3.2 Autres gouvernements au pouvoir

De façon similaire, considérons :

$$S_q(\rho^{\bar{\beta}\bar{d}}) - \delta I_q(\rho^{\bar{\beta}\bar{d}}, \bar{d}) = (1 + \lambda)\bar{\beta}\bar{d} + \Phi \times \frac{p_{\bar{\beta}\bar{d}} + p_{\underline{\beta}\bar{d}} + p_{\bar{\beta}\underline{d}}}{p_{\bar{\beta}\bar{d}}} (\bar{\beta}\bar{d} - \underline{\beta}\bar{d}) \quad (\text{E5})$$

$$S_q(\rho^{\bar{\beta}\underline{d}}) - \delta I_q(\rho^{\bar{\beta}\underline{d}}, \underline{d}) = (1 + \lambda)\bar{\beta}\underline{d} + \Phi \times \frac{p_{\bar{\beta}\bar{d}} + p_{\bar{\beta}\underline{d}}}{p_{\bar{\beta}\underline{d}}} (\bar{\beta}\underline{d} - \underline{\beta}\underline{d}) \quad (\text{E6})$$

$$S_q(\rho^{\underline{\beta}\bar{d}}) - \delta I_q(\rho^{\underline{\beta}\bar{d}}, \bar{d}) = (1 + \lambda)\underline{\beta}\bar{d} + \Phi \times \frac{p_{\bar{\beta}\underline{d}}}{p_{\underline{\beta}\bar{d}}} (\underline{\beta}\bar{d} - \underline{\beta}\underline{d}) \quad (\text{E7})$$

$$S_q(\rho^{\underline{\beta}\underline{d}}) - \delta I_q(\rho^{\underline{\beta}\underline{d}}, \underline{d}) = (1 + \lambda)\underline{\beta}\underline{d} \quad (\text{E8})$$

avec $\Phi = \frac{[m(1+\lambda)-1]}{m}$ le poids du coût de la rente informationnelle dans l'objectif du gouvernement, et avec $\delta = 0$ et $m = 1 - \alpha$ si le gouvernement est non écologiste ou $\delta = 1$ et $m = \alpha$ s'il est écologiste.

Lorsque le gouvernement est non écologiste, le problème de régulation optimale se simplifie singulièrement. En effet, la nature du surplus diffère en ne faisant pas apparaître de désutilité liée aux émissions polluantes. Par conséquent, la réalisation du type de monopole définit un niveau de coût de production dont toute variation a un impact *dans le même sens* sur le bien-être social : les incitations privées et sociales convergent. Par exemple, la variation de bien-être engendrée par une technique de production moins polluante est négative, puisque le coût de production augmente et la quantité produite diminue à l'équilibre¹¹. En conséquence, la CIG est systématiquement satisfaite et :

Proposition 3 : *Lorsque le gouvernement est non écologiste, le contrat de régulation optimale est **totale**ment séparateur et tel que :*

$$q^{\bar{\beta}\bar{d}} = \rho^{\bar{\beta}\bar{d}}, q^{\bar{\beta}\underline{d}} = \rho^{\bar{\beta}\underline{d}}, q^{\underline{\beta}\bar{d}} = \rho^{\underline{\beta}\bar{d}}, q^{\underline{\beta}\underline{d}} = \rho^{\underline{\beta}\underline{d}}$$

avec les quantités $\rho^{\beta d}$ les solutions des équations E5 à E8, et les transferts forfaitaires sont définis comme dans la proposition 1.

Notons que le poids du coût de la rente informationnelle Φ dépend positivement du coût social des fonds publics et de la taille de la majorité.

Lorsque le gouvernement est écologiste, le raisonnement est similaire à celui effectué dans le cas utilitariste, bien que la désutilité liée à la pollution ait un impact plus important étant donné qu'elle concerne l'ensemble de la population considérée par le gouvernement. Ainsi :

¹¹ Remarquons que le problème se réduit à un problème de régulation monodimensionnel à quatre types, à la Laffont-Tirole (1993).

Proposition 4 : *Lorsque le gouvernement est écologiste, soit les quantités $\rho^{\beta d}$ résultats des équations E5 à E8 satisfont la CIG et le contrat de régulation optimale est séparateur; soit elles ne respectent pas la CIG, auquel cas le régulateur doit rétablir la compatibilité incitative en proposant un contrat mélangeant.*

Afin de compléter la caractérisation du contrat de régulation optimale, quel que soit le type du gouvernement au pouvoir, il faut s'assurer de la satisfaction ex post des contraintes incitatives qui ont été écartées lors de la considération du programme relâché (Annexe C).

3.3 Caractérisation complète du contrat dans un cadre spécifié

Supposons une fonction de désutilité des consommateurs écologistes linéaire et telle que $I(q, d) = \frac{\gamma}{d}q$ avec $\gamma > 1$ un paramètre de proportionnalité, identique pour tout agent.

Le gouvernement non écologiste offre un contrat de régulation optimale séparateur (proposition 3). En effet, la CIG est systématiquement satisfaite. À partir du classement des quantités optimales produites par chacun des types du monopole, en raisonnant à rebours, nous obtenons les conditions de régularité des rentes informationnelles dans notre cadre spécifié. Par exemple, vérifier $q^{\beta d} < q^{\bar{\beta} d}$ implique, d'après E5 et E6 :

$$\bar{\beta} d - \underline{\beta} d < \Gamma_1 (\bar{\beta} d - \underline{\beta} d)$$

$$\text{avec } \Gamma_1 \equiv \frac{(1 + \lambda) + \Phi \left[\frac{p_{\beta d} + p_{\beta \bar{d}} + p_{\beta d}}{p_{\beta \bar{d}}} \right]}{\Phi \left[\frac{p_{\beta \bar{d}} + p_{\beta d}}{p_{\beta d}} \right]} > 1. \text{ D'où :}$$

Proposition 5 : *La régularité du cadre d'analyse spécifié est assuré d'une part par la condition de régularité du taux de hasard (18), d'autre part par l'inégalité suivante concernant les variations de coût marginaux :*

$$0 < \bar{\beta} d - \underline{\beta} d < \Gamma_2 (\bar{\beta} d - \underline{\beta} d) < \Gamma_1 \Gamma_2 (\bar{\beta} d - \underline{\beta} d)$$

$$\text{avec : } \Gamma_2 \equiv \frac{(1 + \lambda) + \Phi \left[\frac{p_{\beta \bar{d}} + p_{\beta d}}{p_{\beta \bar{d}}} \right]}{\Phi \left[\frac{p_{\beta d}}{p_{\beta \bar{d}}} \right]} > 1.$$

D'un type du monopole à l'autre, la variation du coût marginal est pondérée par un terme dépendant du coût social des fonds publics et du poids du coût de la rente informationnelle (et par suite indirectement par la taille de la majorité représentée au pouvoir). Cette condition est nécessaire à l'élimination de toute solution mélangeante outre celles qui émanent d'une confrontation d'incitations dans les cas utilitariste et écologiste.

Dans ces cas, le régulateur propose :

Proposition 6 : *Le contrat de régulation optimale est de la forme suivante :*

- $\left\{ q^{\bar{\beta}\bar{d}} = q^{\underline{\beta}\underline{d}} = \hat{q}; q^{\bar{\beta}\underline{d}} = \rho^{\bar{\beta}\underline{d}}; q^{\underline{\beta}\bar{d}} = \rho^{\underline{\beta}\bar{d}} \right\}$ et des transferts associés $T^{\beta d}(\cdot)$ lorsque :

$$\frac{\theta\gamma}{\Phi \left[\frac{p_{\bar{\beta}\bar{d}} + p_{\underline{\beta}\underline{d}}}{p_{\bar{\beta}\underline{d}}} \right]} \left(\frac{1}{\bar{d}} - \frac{1}{\underline{d}} \right) + \Gamma_1 (\bar{\beta}\bar{d} - \underline{\beta}\underline{d}) < \bar{\beta}\underline{d} - \underline{\beta}\bar{d} \quad (M1)$$

- $\left\{ q^{\bar{\beta}\bar{d}} = \rho^{\bar{\beta}\bar{d}}; q^{\bar{\beta}\underline{d}} = \rho^{\bar{\beta}\underline{d}}; q^{\underline{\beta}\bar{d}} = q^{\underline{\beta}\bar{d}} = \tilde{q} \right\}$ et des transferts associés $T^{\beta d}(\cdot)$ lorsque :

$$\left[(1 + \lambda) + \Phi \frac{p_{\beta d}}{p_{\bar{\beta}\bar{d}}} \right] (\bar{\beta}\bar{d} - \underline{\beta}\underline{d}) + \theta\gamma \left(\frac{1}{\bar{d}} - \frac{1}{\underline{d}} \right) < 0 \quad (M2)$$

- $\left\{ q^{\bar{\beta}\bar{d}} = q^{\bar{\beta}\underline{d}} = \hat{q}; q^{\bar{\beta}\underline{d}} = q^{\underline{\beta}\bar{d}} = \tilde{q} \right\}$ et des transferts associés $T^{\beta d}(\cdot)$ lorsque M1 et M2 sont simultanément satisfaites.

- $\left\{ q^{\underline{\beta}\bar{d}} = \rho^{\underline{\beta}\bar{d}}; q^{\bar{\beta}\underline{d}} = \rho^{\bar{\beta}\underline{d}}; q^{\underline{\beta}\bar{d}} = \rho^{\underline{\beta}\bar{d}}; q^{\bar{\beta}\underline{d}} = \rho^{\bar{\beta}\underline{d}} \right\}$ associées des transferts $T^{\beta d}(\cdot)$ correspondants, sinon.

Lorsque le contrat optimal est mélangeant, il l'est pour un niveau de productivité : si M1 est satisfaite, alors l'impact positif sur le bien-être du passage du type inefficace polluant au type inefficace non polluant est supérieur à l'impact négatif d'une augmentation de coût marginal d'où la volonté sociale que le type inefficace non polluant produise davantage. Le mécanisme incitatif à la révélation d'information nécessite cependant que le type inefficace polluant, qui a un coût marginal inférieur produise davantage. Le même raisonnement s'applique au monopole de type efficace en fonction de M2. Néanmoins, il n'existe pas de conflits d'incitations entre le type inefficace polluant et efficace non polluant. En effet, le passage du premier au second engendre un double impact positif : un coût marginal et un niveau d'émissions polluantes inférieurs.

3.4 Un exemple numérique illustratif

Soit les fonctions de surplus quadratique $S(q) = -q^2 + 100q$ et de désutilité de la pollution $I(q) = \frac{4}{d}q$, satisfaisant les hypothèses de notre modèle. Soit les valeurs des paramètres d'information privée suivantes : $\bar{\beta} = 2$, $\underline{\beta} = 0.25$, $\bar{d} = 4$ et $\underline{d} = 1$. Les quatre types de monopole sont d'occurrence équiprobable : $p_{\beta d} = 0.25$. Supposons par ailleurs¹² que $\alpha = 0.7$ et $\lambda = 0.5$.

¹² Rappelons que les valeurs de la proportion d'agents de type écologistes et du coût social des fonds publics doivent être compatibles de façon à respecter l'hypothèse telle que le poids de la rente du monopole dans l'objectif du régulateur soit toujours positif.

type du monopole	$\bar{\beta}^d$	$\underline{\beta}^d$	$\underline{\beta}^d$	$\underline{\beta}^d$
quantité produite q^{β^d}	43,65	44,2	48,9	48,41
transfert forfaitaire T^{β^d}	349,2	88,4	48,9	12,1

Tableau 1

En information parfaite, le contrat optimal d'un gouvernement utilitariste en fonction du type du monopole impose les niveaux de production et les transferts figurant dans le tableau 1.

Clairement, dans cet exemple, les incitations sociales et privées divergent; néanmoins, cette divergence ne porte pas de conséquences sur la forme séparatrice du contrat en raison du contexte d'information parfaite qui permet au régulateur de distinguer les différents types du monopole.

En information imparfaite, nous devons nous assurer que le cadre d'analyse est régulier. Nous vérifions que $\Gamma_1 = 3$ et $\Gamma_2 = 5$, ce qui implique que la condition de la proposition 5 est satisfaite puisque : $0 < 0.75 < 5 < 90$. Le contrat optimal figure dans le tableau 2.

type du monopole	$\bar{\beta}^d$	$\underline{\beta}^d$	$\underline{\beta}^d$	$\underline{\beta}^d$
ρ^{β^d}	39,15	46,6	48,71	48,41
quantité produite q^{β^d}	39,15	46,6	48,56	48,56
transfert forfaitaire T^{β^d}	313,2	328,1	330,06	330,06
profit U^{β^d}	0	234,9	281,5	317,92

Tableau 2

Les quantités ρ^{β^d} engendrées par les conditions d'optimalité ne respectent pas la CIG et nécessitent la proposition d'un contrat mélangeant (troisième ligne, deux dernières colonnes).

4 La dimension politique du contrat optimal

Dans le cadre spécifié ci-dessus, l'analyse des conditions M1 et M2 (qui définissent si le contrat optimal est séparateur ou mélangeant), en fonction du type de gouvernement au pouvoir, nous permet de conclure sur la dimension politique du contrat de régulation optimale.

4.1 Statique comparative et obtention de politiques mélangeantes

En étudiant l'impact d'une variation de l'intensité de la désutilité des consommateurs écologistes, le paramètre γ , sur les conditions M1 et M2, nous pouvons déduire que :

Remarque 2 : Les gouvernements utilitariste et écologiste sont d'autant plus enclins à proposer un contrat séparateur que la désutilité des consommateurs écologistes est faible.

En effet, lorsque le paramètre γ diminue, le conflit entre incitations est moindre et le bien-être est amélioré. Dans ce cas, les incitations sociales sont moins prononcées et l'obtention d'un contrat séparateur plus probable. De façon similaire, l'étude de l'impact d'une variation du coût social des fonds public permet de déduire que :

Remarque 3 : Lorsque le coût social des fonds publics augmente, les gouvernements utilitariste et écologiste sont plus enclins à proposer un contrat séparateur lorsque le monopole est de type efficace.

L'augmentation du coût social des fonds publics implique que les prélèvements fiscaux effectués doivent être supérieurs pour la même dépense du gouvernement, qui se répartit ici entre le remboursement des coûts de production et la rente informationnelle. Elle contribue à accentuer les incitations privées, et par conséquent à réduire l'éventualité d'un contrat mélangeant. Le cadre spécifié ne permet pas de conclure lorsque le monopole est de type inefficace.

Concernant les conséquences des caractéristiques de la distribution de probabilité sur la forme du contrat optimal, la statique comparative est complexe, puisque la modifier agit sur le taux de hasard pris en compte dans les conditions de mixité du contrat (M1 et M2). Les remarques suivantes reposent sur des simulations numériques disponibles en Annexe D.

Remarque 4 : Que le gouvernement soit utilitariste ou écologiste, quand le monopole est efficace, l'obtention d'un contrat mélangeant est a priori plus probable (i) dans le cas d'une probabilité de réalisation du coût marginal croissante avec ce dernier que dans le cas d'une équiprobabilité; (ii) dans chacun de ces cas que dans le cas d'une probabilité décroissante.

De façon plus générale, plus la réalisation des types à coût marginal faible est probable, plus le contrat optimal proposé tend à être séparateur. Ceci est dû à un renforcement des incitations privées, qui illustre le poids d'un coût marginal faible dans la décision de politique, malgré le contre-poids de la désutilité des consommateurs écologistes et le coût de la rente informationnelle.

Remarque 5 : Que le gouvernement soit utilitariste ou écologiste, quand le monopole est efficace, l'obtention d'un contrat mélangeant est plus probable (i) dans le cas d'une distribution de probabilité accordant davantage de poids au type non polluant que dans le cas d'une équiprobabilité, (ii) dans le cas d'une équiprobabilité que dans le cas d'une distribution accordant davantage de poids au type polluant.

Ainsi, plus la réalisation des types non polluant est probable, plus le contrat optimal offert au type efficace tend à être mélangeant. En effet, les incitations sociales s'en trouvent accentuées, malgré le contre-poids du coût marginal de production plus élevé lié à une technologie plus polluante. Les remarques 4 et 5 ne sont pas transposables au cas d'un monopole de

type inefficace. En effet, le jeu des incitations devient plus ambigu : tenir compte des incitations sociales est davantage coûteux étant donné le coût marginal de production déjà élevé et le rôle de la taille de la majorité est plus important.

4.2 L'impact de la structure de la population sur les politiques mélangeantes

L'observation des conditions nécessaires à la mise en oeuvre d'un contrat de régulation optimal mixte lorsque le gouvernement est utilitariste et écologiste, notamment au regard d'une variation de la part de consommateurs écologistes α , conduit aux remarques suivantes :

Remarque 6 : Un gouvernement utilitariste est d'autant plus enclin à pratiquer un contrat de régulation mixte que la proportion de consommateurs écologistes est importante.

Le gouvernement utilitariste tient compte des intérêts de chacun des groupes de consommateurs : les non écologistes sont en faveur d'un monopole dont le coût de production est faible, les écologistes sont partagés entre le soutien d'un monopole à coût de production faible et d'un monopole non polluant. Plus la part de consommateurs écologistes est importante, plus le conflit entre incitations privées et sociales est prononcé et plus la mise en oeuvre du contrat mixte qui en résulte est probable.

Remarque 7 : Un gouvernement écologiste est d'autant plus enclin à proposer un contrat séparateur au monopole de type efficace, polluant ou non, que la majorité politique qui le soutient est importante.

Lorsque le gouvernement est écologiste, les intérêts des consommateurs non écologistes ne sont pas pris en compte et le conflit entre incitations privées et sociales en est réduit. Lorsque le monopole est de type efficace et que la majorité écologiste croît, il apparaît de façon contre-intuitive que la préférence pour un coût de production inférieur l'emporte sur la préférence pour un niveau de pollution inférieur.

4.3 Production d'énergie et émissions polluantes en fonction du gouvernement élu

Dans un environnement d'information parfaite, il a été souligné que, pour un type de monopole donné, la quantité d'énergie produite et le niveau d'émissions polluantes sont d'autant plus faibles que la part de consommateurs écologistes est représentée dans l'objectif du gouvernement. Qu'en est-il en environnement d'information imparfaite ? L'analyse dans cette sous-section est restreinte à l'étude des contrats optimaux séparateurs obtenus dans l'exemple spécifié ci-dessus.

L'étude des expressions déterminant les quantités d'énergie produite par un type de monopole sous les différents régimes politiques permet d'effectuer les remarques suivantes :

Remarque 8 : Le monopole efficace polluant produit davantage lorsque le gouvernement est non écologiste que lorsqu'il est utilitariste, davantage lorsqu'il est utilitariste que lorsqu'il est écologiste, et ce quelle que soit la taille de la majorité politique.

Remarque 9 : Les quantités d'énergie produites par les trois autres types du monopole (efficace non polluant, inefficace polluant et inefficace non polluant) dépendent de la taille des majorités politiques représentées. D'une part, il est certain que la quantité produite et donc les émissions polluantes sous le régime non écologiste sont supérieures à celles produites sous le régime utilitariste. D'autre part, il se peut que la quantité d'énergie produite et les émissions polluantes lorsque le gouvernement est écologiste soient supérieures à celles observées sous les autres régimes politiques.

Ainsi, malgré l'éventuelle représentation des divers groupes d'intérêt au niveau du gouvernement, il se peut que les contrats (séparateurs) de régulation optimale mis en oeuvre ne reflètent pas au mieux les intérêts des groupes majoritaires et ce en raison des distorsions engendrées par le caractère incitatif qu'ils doivent respecter pour assurer la révélation de l'information privée du monopole.

5 Conclusion

Dans cet article, un problème de régulation optimale d'un monopole producteur d'énergie et polluant est considéré, alors que ce dernier possède deux caractéristiques d'information privée de nature anti-sélective. Simultanément, une approche d'économie politique est introduite en considérant le choix du régulateur comme le résultat d'un processus électoral. La caractérisation de l'optimum fait apparaître deux formes éventuelles de contrats : l'une propose des allocations séparatrices, conformes aux résultats traditionnels de la théorie de la régulation en contexte unidimensionnel, l'autre propose des allocations mélangeantes, illustrant le conflit entre les préférences du principal (le régulateur) et les contraintes incitatives (reflétant les préférences de l'agent, le monopole). Cette divergence d'intérêt, ou la *nonresponsiveness*, émerge lorsque l'une (au moins) des caractéristiques de l'agent influe directement sur le niveau de bien-être du régulateur. Plus particulièrement, la variable de pollution affecte négativement le surplus des consommateurs de type écologiste, qui subissent une désutilité, mais positivement le coût de production du monopole, qui diminue (polluer est moins coûteux). Une statique comparative est effectuée au regard d'un exemple spécifié afin de mesurer l'impact des variables conjoncturelles et politiques sur l'occurrence des deux formes de contrats. Enfin, la comparaison en fonction du régime

politique des niveaux de pollution émis dans chaque état de la nature permet de conclure qu'à l'optimum rien ne garantit qu'un gouvernement soutenu par une majorité de consommateurs écologistes mette en oeuvre la politique la plus favorable pour l'environnement.

Annexe A

L'ordre d'écriture des contraintes incitatives n'est pas significatif.

- (a) La contrainte incitative adressée au monopole de type $\bar{\beta d}$ pour qu'il ne soit pas tenté de s'annoncer de type $\underline{\beta d}$ s'écrit :

$$U^{\bar{\beta d}}(q^{\bar{\beta d}}) \geq U^{\underline{\beta d}}(q^{\bar{\beta d}}) + C^{\underline{\beta d}}(q^{\underline{\beta d}}) - C^{\bar{\beta d}}(q^{\underline{\beta d}})$$

De façon similaire :

$$(b) U^{\underline{\beta d}}(q^{\underline{\beta d}}) \geq U^{\bar{\beta d}}(q^{\underline{\beta d}}) + C^{\bar{\beta d}}(q^{\bar{\beta d}}) - C^{\underline{\beta d}}(q^{\bar{\beta d}})$$

$$(c) U^{\underline{\beta d}}(q^{\underline{\beta d}}) \geq U^{\bar{\beta d}}(q^{\underline{\beta d}}) + C^{\bar{\beta d}}(q^{\underline{\beta d}}) - C^{\underline{\beta d}}(q^{\bar{\beta d}})$$

$$(d) U^{\bar{\beta d}}(q^{\bar{\beta d}}) \geq U^{\underline{\beta d}}(q^{\bar{\beta d}}) + C^{\underline{\beta d}}(q^{\underline{\beta d}}) - C^{\bar{\beta d}}(q^{\underline{\beta d}})$$

$$(e) U^{\underline{\beta d}}(q^{\underline{\beta d}}) \geq U^{\bar{\beta d}}(q^{\underline{\beta d}}) + C^{\bar{\beta d}}(q^{\bar{\beta d}}) - C^{\underline{\beta d}}(q^{\bar{\beta d}})$$

$$(f) U^{\bar{\beta d}}(q^{\bar{\beta d}}) \geq U^{\underline{\beta d}}(q^{\bar{\beta d}}) + C^{\underline{\beta d}}(q^{\underline{\beta d}}) - C^{\bar{\beta d}}(q^{\underline{\beta d}})$$

$$(g) U^{\bar{\beta d}}(q^{\bar{\beta d}}) \geq U^{\underline{\beta d}}(q^{\bar{\beta d}}) + C^{\underline{\beta d}}(q^{\bar{\beta d}}) - C^{\bar{\beta d}}(q^{\underline{\beta d}})$$

$$(h) U^{\underline{\beta d}}(q^{\underline{\beta d}}) \geq U^{\bar{\beta d}}(q^{\underline{\beta d}}) + C^{\bar{\beta d}}(q^{\bar{\beta d}}) - C^{\underline{\beta d}}(q^{\bar{\beta d}})$$

$$(i) U^{\bar{\beta d}}(q^{\bar{\beta d}}) \geq U^{\underline{\beta d}}(q^{\bar{\beta d}}) + C^{\underline{\beta d}}(q^{\underline{\beta d}}) - C^{\bar{\beta d}}(q^{\underline{\beta d}})$$

$$(j) U^{\underline{\beta d}}(q^{\underline{\beta d}}) \geq U^{\bar{\beta d}}(q^{\underline{\beta d}}) + C^{\bar{\beta d}}(q^{\bar{\beta d}}) - C^{\underline{\beta d}}(q^{\bar{\beta d}})$$

$$(k) U^{\bar{\beta d}}(q^{\bar{\beta d}}) \geq U^{\underline{\beta d}}(q^{\bar{\beta d}}) + C^{\underline{\beta d}}(q^{\underline{\beta d}}) - C^{\bar{\beta d}}(q^{\underline{\beta d}})$$

$$(l) U^{\bar{\beta d}}(q^{\bar{\beta d}}) \geq U^{\underline{\beta d}}(q^{\bar{\beta d}}) + C^{\bar{\beta d}}(q^{\bar{\beta d}}) - C^{\underline{\beta d}}(q^{\bar{\beta d}})$$

Annexe B

Les contraintes de rationalité individuelle correspondantes à chaque type de monopole sont :

$$(m) U^{\beta\bar{d}}(q^{\beta\bar{d}}) \geq 0$$

$$(n) U^{\beta\bar{d}}(q^{\beta\bar{d}}) \geq 0$$

$$(o) U^{\beta\bar{d}}(q^{\beta\bar{d}}) \geq 0$$

$$(p) U^{\beta\bar{d}}(q^{\beta\bar{d}}) \geq 0$$

Montrons que lorsque la contrainte de rationalité individuelle du monopole qui a le coût le plus élevé (m) est vérifiée et que les contraintes incitatives des trois autres types de monopoles (b), (c), (e), (f), (g), (h), (i), (j) et (k) sont simultanément vérifiées, alors les contraintes de rationalité individuelle (n), (o) et (p) sont vérifiées. En effet, si (b) et (m) sont vérifiées alors (n) est vérifiée; si (c) et (m) sont vérifiées, alors (p) est vérifiée; si (e) et (m) et (b) sont vérifiées, alors (p) est vérifiée, etc...

Si l'ensemble des contraintes incitatives sont vérifiées, alors les quatre contraintes de rationalité individuelle sont réductibles à la considération de celle du monopole qui a le coût le plus élevé.

Annexe C

La saturation des contraintes incitatives (e), (h) et (k) a permis de déduire l'écriture des profits P1, P2 et P3.

Vérifions que les 9 contraintes incitatives du second sous-ensemble de contraintes incitatives sont satisfaites :

$$(f) U^{\beta\bar{d}}(q^{\beta\bar{d}}) \geq U^{\beta d}(q^{\beta d}) + C^{\beta\bar{d}}(q^{\beta d}) - C^{\beta d}(q^{\beta\bar{d}})$$

implique :

$$C^{\beta\bar{d}}(q^{\beta\bar{d}}) - C^{\beta d}(q^{\beta\bar{d}}) \leq C^{\beta\bar{d}}(q^{\beta d}) - C^{\beta d}(q^{\beta d})$$

qui est vérifiée si et seulement si : $q^{\beta d} \geq q^{\beta\bar{d}}$ qui est une condition nécessaire à la compatibilité incitative du mécanisme de régulation.

$$(g) U^{\beta\bar{d}}(q^{\beta\bar{d}}) \geq U^{\beta\bar{d}}(q^{\beta\bar{d}}) + C^{\beta\bar{d}}(q^{\beta\bar{d}}) - C^{\beta\bar{d}}(q^{\beta\bar{d}})$$

implique :

$$C^{\beta\bar{d}}(q^{\beta\bar{d}}) - C^{\beta\bar{d}}(q^{\beta\bar{d}}) \geq C^{\beta\bar{d}}(q^{\beta\bar{d}}) - C^{\beta\bar{d}}(q^{\beta\bar{d}})$$

qui est vérifiée si et seulement si : $q^{\bar{\beta}d} \leq q^{\underline{\beta}d}$ qui est une condition nécessaire.

$$(1) U^{\bar{\beta}d}(q^{\bar{\beta}d}) \geq U^{\underline{\beta}d}(q^{\bar{\beta}d}) + C^{\bar{\beta}d}(q^{\bar{\beta}d}) - C^{\underline{\beta}d}(q^{\bar{\beta}d})$$

implique :

$$C^{\bar{\beta}d}(q^{\bar{\beta}d}) - C^{\underline{\beta}d}(q^{\bar{\beta}d}) \leq C^{\bar{\beta}d}(q^{\underline{\beta}d}) - C^{\underline{\beta}d}(q^{\underline{\beta}d})$$

qui est vérifiée si et seulement si : $q^{\bar{\beta}d} \leq q^{\underline{\beta}d}$ qui est une condition nécessaire.

$$(a) U^{\bar{\beta}d}(q^{\bar{\beta}d}) \geq U^{\underline{\beta}d}(q^{\underline{\beta}d}) + C^{\bar{\beta}d}(q^{\underline{\beta}d}) - C^{\underline{\beta}d}(q^{\underline{\beta}d})$$

implique :

$$U^{\underline{\beta}d}(q^{\underline{\beta}d}) \leq C^{\bar{\beta}d}(q^{\underline{\beta}d}) - C^{\underline{\beta}d}(q^{\underline{\beta}d})$$

et

$$(b) U^{\underline{\beta}d}(q^{\underline{\beta}d}) \geq U^{\bar{\beta}d}(q^{\bar{\beta}d}) + C^{\bar{\beta}d}(q^{\bar{\beta}d}) - C^{\underline{\beta}d}(q^{\bar{\beta}d})$$

implique :

$$U^{\underline{\beta}d}(q^{\underline{\beta}d}) \geq C^{\bar{\beta}d}(q^{\bar{\beta}d}) - C^{\underline{\beta}d}(q^{\bar{\beta}d})$$

d'où nous devons vérifier :

$$C^{\bar{\beta}d}(q^{\bar{\beta}d}) - C^{\underline{\beta}d}(q^{\bar{\beta}d}) \leq C^{\bar{\beta}d}(q^{\underline{\beta}d}) - C^{\underline{\beta}d}(q^{\underline{\beta}d})$$

Ainsi, (a) est vérifiée si (b) l'est et si $q^{\bar{\beta}d} \leq q^{\underline{\beta}d}$.

$$(c) U^{\underline{\beta}d}(q^{\underline{\beta}d}) \geq U^{\bar{\beta}d}(q^{\bar{\beta}d}) + C^{\bar{\beta}d}(q^{\bar{\beta}d}) - C^{\underline{\beta}d}(q^{\bar{\beta}d})$$

implique :

$$U^{\underline{\beta}d}(q^{\underline{\beta}d}) \geq C^{\bar{\beta}d}(q^{\bar{\beta}d}) - C^{\underline{\beta}d}(q^{\bar{\beta}d})$$

et

$$(d) U^{\bar{\beta}d}(q^{\bar{\beta}d}) \geq U^{\underline{\beta}d}(q^{\underline{\beta}d}) + C^{\underline{\beta}d}(q^{\underline{\beta}d}) - C^{\bar{\beta}d}(q^{\underline{\beta}d})$$

implique :

$$U^{\underline{\beta}d}(q^{\underline{\beta}d}) \leq C^{\bar{\beta}d}(q^{\underline{\beta}d}) - C^{\underline{\beta}d}(q^{\underline{\beta}d})$$

d'où nous devons vérifier :

$$C^{\bar{\beta}d}(q^{\bar{\beta}d}) - C^{\underline{\beta}d}(q^{\bar{\beta}d}) \leq C^{\bar{\beta}d}(q^{\underline{\beta}d}) - C^{\underline{\beta}d}(q^{\underline{\beta}d})$$

Ainsi, (c) est vérifiée si (d) l'est et si $q^{\bar{\beta}d} \leq q^{\underline{\beta}d}$.

$$(i) U^{\bar{\beta}d}(q^{\bar{\beta}d}) \geq U^{\underline{\beta}d}(q^{\underline{\beta}d}) + C^{\underline{\beta}d}(q^{\underline{\beta}d}) - C^{\bar{\beta}d}(q^{\underline{\beta}d})$$

implique :

$$C^{\bar{\beta}\underline{d}}(q^{\bar{\beta}\underline{d}}) - C^{\underline{\beta}\bar{d}}(q^{\bar{\beta}\underline{d}}) + C^{\underline{\beta}\bar{d}}(q^{\underline{\beta}\bar{d}}) - C^{\underline{\beta}\bar{d}}(q^{\underline{\beta}\bar{d}}) \leq C^{\bar{\beta}\underline{d}}(q^{\underline{\beta}\bar{d}}) - C^{\underline{\beta}\bar{d}}(q^{\underline{\beta}\bar{d}})$$

et

$$(j) U^{\underline{\beta}\bar{d}}(q^{\underline{\beta}\bar{d}}) \geq U^{\bar{\beta}\underline{d}}(q^{\bar{\beta}\underline{d}}) + C^{\bar{\beta}\underline{d}}(q^{\bar{\beta}\underline{d}}) - C^{\underline{\beta}\bar{d}}(q^{\underline{\beta}\bar{d}})$$

implique :

$$C^{\bar{\beta}\underline{d}}(q^{\bar{\beta}\underline{d}}) - C^{\underline{\beta}\bar{d}}(q^{\bar{\beta}\underline{d}}) + C^{\underline{\beta}\bar{d}}(q^{\underline{\beta}\bar{d}}) - C^{\underline{\beta}\bar{d}}(q^{\underline{\beta}\bar{d}}) \geq C^{\bar{\beta}\underline{d}}(q^{\underline{\beta}\bar{d}}) - C^{\underline{\beta}\bar{d}}(q^{\underline{\beta}\bar{d}})$$

d'où nous devons vérifier :

$$C^{\bar{\beta}\underline{d}}(q^{\bar{\beta}\underline{d}}) - C^{\underline{\beta}\bar{d}}(q^{\bar{\beta}\underline{d}}) \leq C^{\bar{\beta}\underline{d}}(q^{\underline{\beta}\bar{d}}) - C^{\underline{\beta}\bar{d}}(q^{\underline{\beta}\bar{d}})$$

Ainsi, (i) est vérifiée si (j) l'est et si $q^{\underline{\beta}\bar{d}} \geq q^{\bar{\beta}\underline{d}}$.

Annexe D

Changer les probabilités d'occurrence des différents types du monopole modifie les taux de hasard pris en compte dans les conditions de mixité (directement ou indirectement à travers Γ_1). La dépendance complexe de ces dernières aux probabilités de réalisation nous autorise à considérer des exemples précis de distributions de probabilité (en nous assurant qu'elles respectent les conditions de régularité exigées).

En considérant d'abord considérons l'éventualité des coûts marginaux :

- Distribution 1 (D1) : la probabilité de réalisation du type est croissante avec le coût marginal de production : $p_{\bar{\beta}\bar{d}} = 0, 4$, $p_{\bar{\beta}\underline{d}} = 0, 3$, $p_{\underline{\beta}\bar{d}} = 0, 2$ et $p_{\underline{\beta}\underline{d}} = 0, 1$;
- Distribution 2 (D2) : la probabilité de réalisation du type est décroissante avec le coût marginal : $p_{\bar{\beta}\bar{d}} = 0, 1$, $p_{\bar{\beta}\underline{d}} = 0, 2$, $p_{\underline{\beta}\bar{d}} = 0, 3$ et $p_{\underline{\beta}\underline{d}} = 0, 4$.

Intéressons nous maintenant à l'éventualité de la technologie polluante :

- Distribution 3 (D3) : le type polluant a une probabilité plus grande, plus précisément $p_{\bar{\beta}\bar{d}} = 0, 2$, $p_{\bar{\beta}\underline{d}} = 0, 3$, $p_{\underline{\beta}\bar{d}} = 0, 2$ et $p_{\underline{\beta}\underline{d}} = 0, 3$;
- Distribution 4 (D4) : le type non polluant est plus probable, soit : $p_{\bar{\beta}\bar{d}} = 0, 29$, $p_{\bar{\beta}\underline{d}} = 0, 21$, $p_{\underline{\beta}\bar{d}} = 0, 29$ et $p_{\underline{\beta}\underline{d}} = 0, 21$.

Lorsque $\lambda = 0, 5$ et $\alpha = 0, 70$, les calculs obtenus figurent dans le tableau 3.

	$\frac{p_{\beta d}}{p_{\beta \bar{d}}}$	$\frac{p_{\beta \bar{d}} + p_{\beta d}}{p_{\beta \bar{d}}}$	$\frac{p_{\beta d} + p_{\beta \bar{d}} + p_{\beta d}}{p_{\beta \bar{d}}}$	Gouv. utilitariste	Gouv. écologiste
Equip.	1	2	3	$\Gamma_1 = 3$	$\Gamma_1 = 12$
D1	0,5	1	$\frac{3}{2}$	$\Gamma_1 = 4,5$	$\Gamma_1 = 22,5$
D2	$\frac{4}{3}$	4,5	9	$\Gamma_1 \approx 2,667$	$\Gamma_1 \approx 6,667$
D3	1,5	$\frac{5}{3}$	4	$\Gamma_1 = 4,2$	$\Gamma_1 = 15$
D4	$\frac{21}{29}$	$\frac{50}{21}$	$\frac{71}{29}$	$\Gamma_1 \approx 2,289$	$\Gamma_1 \approx 9,852$

Tableau 3

Références

- Armstrong, M. (1999), "Optimal regulation with unknown demand and cost functions", *Journal of Economic Theory*, Vol.84, Issue 2, pp. 196-215.
- Armstrong, M., S. Cowan et J. Vickers (1994), *Regulatory reform, economic analysis and British experience*, MIT Press, Cambridge.
- Armstrong, M. et J.C. Rochet (1999), "Multidimensional screening : a user's guide", *European Economic Review*, Vol. 43, Issue 4-6, pp. 959-979.
- Baron, D. et R. Myerson (1982), "Regulating a monopolist with unknown costs", *Econometrica*, Vol. 50, pp. 911-930.
- Bonnet-Boisson, H. (2003), « Économie politique de l'intervention publique », thèse pour le Doctorat de Sciences Économiques, Université de Franche-Comté, UFR SJEGP de Besançon, France, 385 p.
- Boyer, M. et J.J. Laffont (1999), "Toward a political theory of the emergence of environmental incentive regulation", *RAND Journal of Economics*, Vol. 30, Issue 1, pp. 137-157.
- Cropper, M.L. et W.E. Oates (1992), "Environmental economics : a survey", *Journal of Economic Literature*, Vol. 30, pp. 675-740.
- Damania, R. et P.G. Fredriksson (2000), "On the formation of industry lobby groups", *Journal of Economic Behavior and Organization*, Vol. 41, pp. 315-335.
- Feldstein, M. (1999), "Tax avoidance and the deadweight loss of the income tax", *Review of Economics and Statistics*, Vol. 81, Issue 4, pp. 674-680.
- Fudenberg, D. et J. Tirole (1991), *Game theory*, MIT Press.
- Gonzalez, P. (2004), "Investment and screening under asymmetric endogenous information", *RAND Journal of Economics*, Autumn, Vol. 35, No. 3.
- Guesnerie, R. et J.J. Laffont (1984), "A complete solution to a class of principal-agent problems with an application to the control of a self-managed firm", *Journal of Public Economics*, Vol. 25, pp. 329-369.
- Laffont, J.J. (1994), "Regulation of pollution with asymmetric information", in C. Dosi et T. Graham-Tomasi, eds., *Nonpoint-source pollution regulation : issues and analysis*, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht.

- Laffont, J.J. (1996), "Industrial policy and politics", *International Journal of Industrial Organisation*, Vol. 14, pp. 1-27.
- Laffont, J.J., E. Maskin et J.C. Rochet (1987), "Optimal non-linear pricing with two-dimensional characteristics", in T. Groves, R. Radner et S. Reiter, eds., *Information, incentives and economic mechanisms*, Minneapolis, University of Minnesota Press.
- Laffont, J.J. et J. Tirole (1986), "Using cost information to regulate firms", *Journal of Political Economy*, Vol. 64, pp. 614-641.
- Laffont, J.J. et J. Tirole (1991), "The politics of government decision making: a theory of regulatory capture", *Quarterly Journal of Economics*, Vol. 106, pp. 1089-1127.
- Laffont, J.J. et J. Tirole (1993), *Incentives in procurement and regulation*, MIT Press, Cambridge.
- Lewis, T.R. (1996), "Protecting the environment when costs and benefits are privately known", *RAND Journal of Economics*, Vol. 27, No.4, pp. 819-847.
- Lewis, T.R. et D. Sappington (1988), "Countervailing incentives in agency problems", *Journal of Economic Theory*, Vol. 49, pp. 294-313.
- Loeb, M. et W. Magat (1979), "A decentralized method of utility regulation", *Journal of Law and Economics*, Vol. 22, pp. 399-404.
- Myerson, R. (1991), *Game theory*, Harvard University Press, Cambridge, MA.
- Rochet, J.C. et P. Choné (1998), "Ironing, sweeping, and multidimensional screening", *Econometrica*, Vol. 66, Issue 4, pp. 783-826.
- Rochet, J.C. et L.A. Stole (2003), "The economics of multidimensional screening", in M. Dewatripont, L. Hansen et S. Turnovsky, eds., *Advances in economic theory*, Cambridge University Press.

the first two cases, the first two terms of the series are the same, and the third term is the same as the second term.

For the third case, the first two terms are the same, and the third term is the same as the first term. For the fourth case, the first two terms are the same, and the third term is the same as the first term.

For the fifth case, the first two terms are the same, and the third term is the same as the first term. For the sixth case, the first two terms are the same, and the third term is the same as the first term.

For the seventh case, the first two terms are the same, and the third term is the same as the first term. For the eighth case, the first two terms are the same, and the third term is the same as the first term.

For the ninth case, the first two terms are the same, and the third term is the same as the first term. For the tenth case, the first two terms are the same, and the third term is the same as the first term.

For the eleventh case, the first two terms are the same, and the third term is the same as the first term. For the twelfth case, the first two terms are the same, and the third term is the same as the first term.

For the thirteenth case, the first two terms are the same, and the third term is the same as the first term. For the fourteenth case, the first two terms are the same, and the third term is the same as the first term.

For the fifteenth case, the first two terms are the same, and the third term is the same as the first term. For the sixteenth case, the first two terms are the same, and the third term is the same as the first term.

For the seventeenth case, the first two terms are the same, and the third term is the same as the first term. For the eighteenth case, the first two terms are the same, and the third term is the same as the first term.

For the nineteenth case, the first two terms are the same, and the third term is the same as the first term. For the twentieth case, the first two terms are the same, and the third term is the same as the first term.