



DOCUMENT DE RECHERCHE

EPEE

CENTRE D'ETUDE DES POLITIQUES ECONOMIQUES DE L'UNIVERSITE D'EVRY

**Alcoa *re-revisité* : recyclage, pouvoir de marché
et politiques environnementales**

Jean De BEIR, Guillaume GIRMENS & Mathias REYMOND

09 - 05

Alcoa *re-revisité*: Recyclage, pouvoir de marché et politiques environnementales

Jean De Beir, Guillaume Girmens*, Mathias Reymond
EPEE, Université d'Evry-Val-d'Essonne

Janvier 2009 (version provisoire)

Résumé

Cet article intègre la question environnementale à l'étude de secteurs caractérisés par des producteurs de bien vierge avec un pouvoir de marché, confrontés à un secteur du recyclage. On utilise un modèle où la production de bien vierge par un monopole est polluante, contrairement à la production de bien secondaire. Taxer le monopole permet de réduire la pollution, au prix d'une réduction de la quantité totale de bien. L'effet d'une subvention au recyclage dépend de la pente de la courbe de demande. Il est ambigu en termes de bien-être, même s'il encourage toujours le recyclage.

Mots-clés: Recyclage; Pouvoir de marché; Externalités environnementales; Politiques environnementales.

Classification JEL: D42; D62; H23; Q53.

*Auteur chargé de la correspondance. Guillaume GIRMENS, Université d'Evry-Val-d'Essonne, EPEE, boulevard F.Mitterrand, 91025 EVRY CEDEX. Téléphone: 01 69 47 79 50. Fax: 01 69 47 79 82. Adresse électronique: ggirmens@univ-evry.fr

1 Introduction

L'économie industrielle aborde la question du recyclage à travers l'affaire Alcoa (1945). Cette firme productrice d'aluminium se porte candidate au rachat d'usines d'aluminium construites par le gouvernement fédéral des Etats-Unis pour l'industrie de guerre, établissements qu'elle avait elle-même exploités pour le compte de l'État. La Cour Suprême lui interdit cette acquisition au nom de la loi antitrust¹. En effet, sa domination est totale dans l'extraction puis la transformation de la bauxite en alumine et la phase d'électrolyse pour obtenir l'aluminium de première fusion. Alcoa détient alors plus de 90% des capacités de production d'aluminium des États-Unis en franchissant ainsi le seuil légal déterminant la situation de monopole. Pour sa défense, Alcoa invoque que sa production dans l'ensemble de l'aluminium de première fusion et de seconde fusion ne représente que 64% du marché de l'aluminium. Mais le juge a alors tenu compte de la capacité de la firme à influencer l'offre de produits recyclés par une frange concurrentielle. Depuis qu'Alcoa produit aussi du métal recyclé à partir de déchets réutilisés, elle a dû prendre en compte dans sa décision de production l'effet de la récupération de déchets dans les prix futurs. C'est parce qu'Alcoa a exercé aussi un contrôle monopolistique sur l'offre de métal de seconde fusion qu'elle est coupable au regard des lois antitrust.

Des travaux théoriques justifient la décision du juge. En contrôlant la production d'aluminium primaire, Alcoa influence indirectement celle du tissu concurrentiel du recyclage et maintient ainsi sa rente. Gaskins [1974] propose deux résultats sur des données 1939-1960 : l'existence d'un marché secondaire favorise la fixation d'un prix initial par le monopole plus élevé puis, avec l'élévation de la demande d'aluminium, il y a une atténuation de l'influence du marché de l'aluminium recyclé.

En effet, le monopole stocke une partie de son minerai pour mieux exploiter un accroissement anticipé de sa demande (Amigues, Moreaux, Terreaux [1990]). Exploiter au mieux la demande future revient à assécher les ressources potentielles en résidus destinées à la frange de recycleurs. Tirole [1993] précise que *“la croissance sur le marché de l'aluminium augmente la marge de profit du monopoleur. (...) L'idée de base est que, pendant une période de croissance du marché, l'aluminium recyclé - qui dépend de la demande passée inférieure mais non de la demande présente supérieure*

¹United States *vs* Aluminium Company of America, 148 F.2d. 416 (1945).

- *obtient une part de marché inférieure.*” Swan [1980] et Suslow [1986] confirment qu’en présence d’une frange concurrentielle de recycleurs, le prix pratiqué par Alcoa n’est que légèrement inférieur à celui qu’elle fixerait en l’absence de celle-ci et bien plus élevé que le prix concurrentiel².

Alcoa est condamnée à se séparer de sa filiale canadienne Alcan et son extension est freinée par l’attribution de nouvelles concessions à Reynolds puis à Kaiser en 1946 pour répondre aux besoins d’aluminium pour l’armement. Le marché américain de l’aluminium devient alors oligopolistique. Au niveau mondial, jusqu’en 1970 les six *majors*³ contrôlent plus de 75 % du marché de l’aluminium primaire. Le prix de référence est affiché à l’exportation par Alcan. Puis de nouvelles sociétés se sont formées. Des firmes industrielles diversifient leur activité sous forme de concentrations horizontales. Ensuite, des gouvernements⁴ participent à la création ou à l’extension d’activités d’extraction de la bauxite, de production d’alumine ou d’aluminium. Enfin, l’effondrement du bloc soviétique entraîne un afflux d’aluminium entraînant en 1991 une division par deux de son prix.

D’oligopolistique qu’il était, le marché de l’aluminium devient progressivement très fragmenté ; depuis octobre 1978, la formation du prix de l’aluminium est déterminée sur le *London Metal Exchange (LME)*. L’introduction de l’aluminium primaire sur le *LME* est la conséquence d’une concurrence accrue sur ce marché. Les restructurations industrielles des années 1990 sont suivies de fusions-acquisitions qui permettent à des groupes d’envisager de nouvelles économies d’échelle dans un marché qui reste concurrentiel. A cette dispersion de l’offre d’aluminium primaire s’ajoute la concurrence de l’acier, du verre, des plastiques et de l’aluminium recyclé. Mais il n’est pas exclu qu’un certain pouvoir de marché s’exerce sur les marchés primaires : la tendance à la concentration des firmes s’est poursuivie au cours des dix dernières années. Des pratiques anti-concurrentielles ont pu

²Grant [1999] montre que la difficulté de la récupération et du recyclage de certains biens incorporant de l’aluminium vendu par Alcoa est la première source de son pouvoir de marché. Il limite les arguments de Gaskins, Swan et Suslow sur l’origine du pouvoir de marché de la firme ; même si la croissance de la demande d’aluminium est faible, le pouvoir du monopole reste pratiquement le même car il n’est pas économique pour la frange concurrentielle de tout recycler. Pour cette même raison, tout comportement stratégique de contrôle de la production d’aluminium vierge en première période est moins justifié.

³Alcoa (EU, créée en 1888), Alcan (EU puis Canada, 1889), Kaiser (EU, 1946), Reynolds (EU, 1919), Péchiney (France, 1892) et Alusuisse (Suisse, 1887).

⁴C’est par exemple le cas d’Hydro-Aluminium en Norvège, de CVRD au Brésil ou de Comalco en Australie.

par ailleurs être dénoncées par les services de la concurrence de la Commission Européenne. Enfin, il est possible qu'une firme ou deux gardent une certaine influence sur le marché de l'alumine : en fait, si le prix de l'aluminium est *a priori* concurrentiel en 2008, les activités d'extraction de la bauxite et de sa transformation en alumine restent très concentrées. En 2001, Alcoa revend près de la moitié de sa production sur ce marché *spot* tandis que les autres gros acteurs n'y revendent rien, ou des quantités largement moins importantes qu'Alcoa. Il est ainsi possible que le prix de l'alumine soit supérieur à son prix concurrentiel⁵.

Au problème théorique de la réduction du pouvoir de marché d'un monopole sur une ressource primaire face à une frange concurrentielle de recycleurs, nous proposons d'associer l'éclairage de la politique environnementale. Si on peut affirmer que la production primaire est plus polluante que le recyclage, nous analyserons l'impact de l'utilisation d'instruments prix appliqués au monopole (taxe pigouvienne) et aux recycleurs (subvention). L'apport de cet article est donc d'intégrer la problématique environnementale à l'étude de secteurs caractérisés par des producteurs de bien vierge avec un pouvoir de marché, confrontés à un secteur concurrentiel de la récupération-recyclage.

La Section 2 présente un modèle proche de celui proposé par Swan [1980]. Une firme en situation de monopole produit du bien "vierge". Un secteur concurrentiel du recyclage produit du bien "secondaire". Les deux biens sont supposés parfaitement substituables du point de vue des consommateurs, dont la fonction de demande est prise comme donnée. La production de bien vierge par le monopole est à l'origine d'externalités négatives (pollution), mais pas la production de bien secondaire. On va introduire dans ce cadre deux politiques environnementales différentes, et qui peuvent être vues comme la modélisation de politiques existant actuellement en France.

Dans la Section 3 on suppose que le gouvernement impose une taxe au monopole polluant. On étudie l'impact de cette taxe sur le niveau de pollution et sur le niveau total de production (et de consommation) de bien (vierge et recyclé). Cette taxe revient à faire payer un montant τ au monopole pour chaque unité produite. Elle peut être vue comme

⁵Le poids relatif des ventes d'alumine par Alcoa influe probablement sur le niveau des cours de ce matériau mais il semble que l'incidence sur le cours du métal aluminium soit relativement atténuée. En effet, d'autres éléments comme l'énergie ou le transport pèsent sur le coût de production de la transformation de l'alumine en aluminium de première fusion.

l'obligation faite actuellement, en France, aux producteurs d'aluminium vierge de participer au marché des permis négociables sur le CO₂. Il existe en effet une équivalence entre taxe pigouvienne et permis à polluer, à condition que les pouvoirs publics chargés de la politique environnementale connaissent la réaction de la firme à une variation du prix de la pollution (mesuré par la taxe ou, de manière équivalente, par le prix de marché des permis d'émission). On montre que cette taxe permet bien de réduire la pollution, mais au prix d'une réduction de la quantité totale de bien, donc avec un effet ambigu en termes de bien-être, si on suppose que celui-ci dépend positivement de la consommation de bien et négativement du niveau de pollution.

Dans la Section 4 on suppose que le gouvernement met en place une subvention au secteur du recyclage. On étudie l'impact de cette subvention sur le niveau de pollution et sur le niveau total de production (et de consommation) de bien (vierge et recyclé). Cette subvention revient à verser un montant σ au recycleur pour chaque unité produite. Elle peut être vue comme une modélisation de la politique du "soutien à la tonne triée", qui bénéficie actuellement, en France, au secteur de la récupération-recyclage. On montre que l'effet de cette politique dépend de la pente de la courbe de demande. Elle peut soit avoir le même effet que la taxe (hausse du prix du bien, baisse de la quantité totale produite, baisse de la pollution), soit impliquer une baisse du prix du bien, une hausse de la quantité totale, une hausse de la part du recyclage, et une évolution indéterminée de la pollution. Elle est donc elle aussi ambiguë en termes de bien-être, même si elle encourage sans ambiguïté les activités de récupération-recyclage.

La Section 5 conclut.

2 Le modèle

On présente dans un premier temps le secteur concurrentiel du bien secondaire, avant le monopole producteur de bien vierge. Le monopole considérera la fonction d'offre de bien secondaire comme donnée lorsqu'il prendra sa décision. Par conséquent, il nous faut d'abord établir cette fonction d'offre, qui permettra au monopole de connaître la *demande résiduelle* qui lui est adressée (définie comme la demande totale, à laquelle on retranche l'offre de bien secondaire).

2.1 Le secteur concurrentiel du bien secondaire

On reprend les hypothèses de Swan [1980]. Le récupérateur-recycleur (ci-après, RR) produit une quantité s de bien secondaire, qui sera vendu au prix p . Sa production est une fraction γ de la quantité totale produite à la période précédente $q_{t-1} = \bar{q}$. Cette fraction γ dépend de la dépense dans d'autres *inputs* utilisés dans la production de bien secondaire (travail, énergie, etc.). z désigne ces dépenses (par unité de déchet récupéré). La fraction recyclée est donnée par la fonction $\gamma(z)$, avec $0 \leq \gamma(z) = s/\bar{q} \leq 1$. Les hypothèses sur la fonction γ sont les suivantes : $\gamma(0) = 0$; $\gamma'(z) > 0$ si $z < \bar{z}$; $\gamma''(z) < 0$. S'il ne dépense rien, le RR ne recycle rien, sa production est croissante avec le niveau de dépense, mais à rendements décroissants. La recette totale du RR est donc $p\gamma(z)\bar{q}$. Du côté des coûts de production, le RR dépense z par unité de déchet récupéré. Il paie aussi le prix ϕ pour le gisement qu'il va récupérer et recycler. Le profit du RR s'écrit donc :

$$\pi_{RR}(z) = (p\gamma(z) - z - \phi)\bar{q}$$

On spécifie la fonction γ de telle sorte que $\gamma(z) < 1$. Ainsi il n'y a jamais de solution en coin, jamais de recyclage complet de tout le gisement. Cette restriction paraît réaliste (présence d'impuretés dans l'aluminium, par exemple, restriction techniques sur le recyclage, etc.) et pertinente pour le problème qui nous intéresse ici. En effet, s'il peut y avoir un recyclage de tout le gisement, la question de la politique environnementale nous paraît triviale : le recyclage permet d'avoir une consommation toujours constante, le monopole (polluant) disparaît, et la pollution avec lui. Plus intéressant est le cas où le recyclage existe, mais ne permet pas d'assurer une consommation constante à chaque période. Plus précisément, on adopte la fonction suivante :

$$\gamma(z) = 1 - e^{-kz}$$

Le paramètre k s'interprète comme une mesure de l'efficacité du secteur du recyclage. Plus ce paramètre technologique est élevé, plus la fraction du gisement recyclé est grande, pour un niveau de dépense z donné. Dans la suite, dans un souci de simplicité, on pose $k = 1$.

Le RR choisit sa dépense z afin de maximiser son profit. Sa dépense optimale est :

$$z^* = \ln p$$

On en tire la fonction d'offre du RR :

$$\begin{aligned} s(p) &= \gamma(z^*)\bar{q} \\ s(p) &= \left(1 - \frac{1}{p}\right)\bar{q} \end{aligned} \quad (1)$$

La quantité offerte par les RR augmente lorsque le prix augmente ($s'(p) > 0$), simple vérification de la loi de l'offre. Lorsque le prix du bien est élevé, les RR sont prêts à dépenser beaucoup dans la production de bien secondaire (z^* augmente), ce qui accroît leur production. La restriction sur la fonction γ assure bien $s/\bar{q} < 100\%$.

2.2 Le monopole producteur de bien vierge

Le monopole producteur de bien vierge (ci-après, Alcoa) vend le bien vierge au prix p (comme les RR, puisque bien vierge et secondaire sont supposés parfaitement substituables). Il met sur le marché la différence entre la demande totale (ou demande au marché) et ce qui est fourni par le secteur secondaire. La demande totale est supposée connue. Elle est donnée par la fonction⁶ de demande $q(p)$, avec $q'(p) < 0$.

Ainsi, la production de bien vierge est déterminée par :

$$v = q(p) - s(p)$$

Alcoa a un coût unitaire constant c . Pour une période donnée, son profit s'écrit donc :

$$\pi_{Alcoa}(p) = (p - c)(q(p) - s(p))$$

On se place à l'état stationnaire. Alcoa choisit le niveau de prix p qui lui permet de maximiser son profit. La condition de premier ordre peut s'écrire :

$$p^* = c + \frac{q - s}{s' - q'} \quad (2)$$

⁶On aura besoin, plus loin, de spécifier une courbe de demande linéaire :

$$q(p) = -ap + b$$

Le paramètre $a = -q'(p)$ sera alors la pente de la courbe de demande. Une valeur de a **élevée** signifie que la pente de la courbe de demande est **faible**. Inversement, une valeur de a **faible** signifie que la pente de la courbe de demande est forte.

Sans surprise, $p > c$. Le pouvoir de marché (Alcoa faiseur de prix) résulte dans un prix supérieur au coût marginal de production du bien vierge. La rente du monopole dépend fondamentalement de la pente de la courbe d'offre du RR (s') et de la pente de la courbe de demande totale (q'):

- La rente du monopole est d'autant plus faible que s' est élevé. Si s' est élevé, alors les RR réagissent fortement aux variations de p : une petite variation de p induit une forte hausse de l'offre de bien secondaire, ce qui laisse une faible demande résiduelle au monopole.
- La rente du monopole est d'autant plus faible que q' est élevé (en valeur absolue). Si q' est élevé (en valeur absolue), alors les consommateurs réagissent fortement aux variations de p (courbe de demande peu pentue): une petite variation de p induit une forte baisse de la demande totale, ce qui laisse une faible demande résiduelle au monopole.

Ces deux facteurs (s' élevé et q' élevé en valeur absolue) limitent naturellement le pouvoir de marché.

L'équation (2) donne implicitement le prix (choisi par le monopole), à partir duquel on peut calculer la demande totale q , l'offre de bien secondaire s et l'offre de bien vierge v .

3 Taxe sur la production de bien vierge

La production de bien vierge est supposée plus polluante que la production du bien secondaire. Face à cette externalité négative, des politiques publiques sont mises en place. On s'intéresse à leurs effets. La première politique environnementale que nous envisageons est une taxe pigouvienne sur la production de bien vierge (supposée polluante).⁷ L'objectif est ici d'internaliser une externalité négative. Les pouvoirs publics responsables de la politique environnementale imposent une taxe τ pour chaque unité de bien vierge produite par le monopole. On s'intéresse aux effets de cette taxe sur le bien-être des consommateurs. On ne spécifie pas ici une fonction de bien-être, on suppose seulement que celui-ci est affecté positivement par la consommation de bien (vierge ou recyclé, peu importe puisqu'ils sont

⁷Dans une logique d'équilibre *partiel*, on ne s'intéresse pas ici à l'utilisation du produit de la taxe par les pouvoirs publics.

supposés parfaitement substituables), négativement par la pollution (donc négativement par la production de bien vierge). L'équation (2) devient :

$$p = (c + \tau) + \frac{q(p) - s(p)}{s'(p) - q'(p)} \quad (3)$$

Dans le cas d'une fonction de demande linéaire, par le théorème des fonctions implicites⁸, on montre que :

$$\frac{dp}{d\tau} > 0$$

Une hausse de la taxe pigouvienne augmente le prix de vente (elle est répercutée par le monopole). En conséquence, la quantité totale diminue (loi de la demande), et la quantité de bien secondaire augmente (fonction d'offre du RR croissante). Finalement, on en déduit que la quantité de bien vierge (demande résiduelle) diminue, ce qui réduit la pollution. En résumé, l'augmentation de la taxe pigouvienne réduit bien la pollution, mais réduit aussi la quantité totale disponible pour les consommateurs. L'effet total en termes de bien-être est donc ambigu.

4 Subvention au recyclage

La seconde politique environnementale que nous envisageons est une subvention à la production de bien secondaire (supposée non polluante, ou, de manière parfaitement équivalente, *moins polluante* que la production de bien vierge).⁹ Le prix unitaire touché par les entreprises du secteur RR devient $(p + \sigma)$. La fonction d'offre du RR devient :

$$s(p, \sigma) = \left(1 - \frac{1}{p + \sigma}\right) \bar{q} \quad (4)$$

On constate que, toutes choses égales par ailleurs, du point de vue du RR, la subvention σ joue un rôle parfaitement symétrique au prix de vente final p . L'équation (2), quant à elle, devient :

$$p = c + \frac{q(p) - s(p, \sigma)}{s'_p(p, \sigma) - q'(p)} \quad (5)$$

⁸Voir annexe A.

⁹Dans une logique d'équilibre *partiel*, on ne s'intéresse pas ici au financement de cette subvention.

Dans le cas d'une fonction de demande linéaire, par le théorème des fonctions implicites¹⁰, on montre que l'effet d'une hausse de la subvention ($d\sigma > 0$) va dépendre de la pente de la courbe de demande.

- Si la pente de la courbe de demande est forte, on retrouve le même résultat que la taxe :

$$\frac{dp}{d\sigma} > 0$$

Une hausse de la subvention va se traduire par une hausse du prix de vente du bien, donc une baisse de la demande, et, d'après la fonction d'offre du secteur RR, une hausse de la production de bien secondaire (l'effet de la hausse de la subvention et de la hausse du prix se combinent et jouent dans le même sens, favorable au secteur du recyclage). Au final, cette politique se traduit par une baisse de la production de bien vierge (donc de la pollution). L'effet est ambigu en termes de bien-être (baisse de la pollution / baisse de la quantité totale de bien).

- Si la pente de la courbe de demande est faible, on trouve :

$$\frac{dp}{d\sigma} < 0$$

Une hausse de la subvention va se traduire par une baisse du prix de vente du bien, donc une hausse de la demande totale. À première vue, d'après la fonction d'offre du secteur RR (4), l'effet sur ce secteur pourrait être ambigu. Cependant, on démontre¹¹ que la hausse de la subvention domine toujours la baisse du prix : la hausse de la subvention est toujours profitable au secteur RR. Autrement dit, la *part* du bien secondaire augmente. De même, on vérifie que la *part* du bien vierge diminue. *Quid* de la quantité *absolue* de bien vierge (et donc de pollution) ? À ce stade, elle reste ambiguë, ainsi que la conclusion en termes de bien-être : la consommation augmente clairement, mais la variation du niveau d'externalité négative est indéterminé.

Pourquoi cette subvention peut-elle avoir des effets différents sur le niveau de prix (et par suite, sur la quantité totale produite et consommée) ? L'intuition est la suivante. C'est seulement si la pente de la courbe de

¹⁰Voir annexe B.

¹¹Voir annexe C.

demande est assez forte (on en déduit que la pente de la courbe de demande résiduelle au monopole, elle aussi, est assez pentue) que le monopole peut se permettre d'augmenter son prix, sans perdre trop de demande résiduelle. Avec une demande résiduelle assez pentue, la hausse de prix compense la (faible) baisse de quantité.

Inversement, lorsque la pente de la courbe de demande est modérée (on en déduit que la courbe de demande résiduelle est elle aussi peu pentue), le monopole n'a pas intérêt à augmenter le prix ; il a même ici intérêt à baisser le prix de vente du bien, ce qui va décourager la production de bien secondaire, et donc laisser au monopole une demande résiduelle suffisante.

En d'autres termes, la hausse de la subvention aux producteurs de bien secondaire implique un déplacement vers la gauche de la demande résiduelle adressée au monopole (pour un niveau de prix *donné*, la demande résiduelle est plus faible). Dans le cas "pente forte", malgré le déplacement à gauche de la demande résiduelle, le monopole peut se permettre une hausse du prix, qui fait plus que compenser la baisse de la quantité (liée à l'activité croissante des RR). Dans le cas "pente faible", si le monopole décide d'une hausse de prix, il subira une trop forte baisse de la quantité : sa réaction optimale à la hausse de la subvention (baisse de la demande résiduelle) est alors une baisse de prix.

5 Conclusion

Cet article a présenté une première tentative d'intégration de la question environnementale dans un modèle où une firme polluante avec un pouvoir de marché fait face à des recycleurs (non polluants). Dans ce cadre, on a étudié l'impact de différentes politiques environnementales. Les principales conclusions sont :

(i) Une hausse de la taxe sur le monopole polluant augmente le prix de vente du bien ; diminue la quantité totale de bien ; diminue la quantité de bien vierge produite ; diminue la pollution. L'effet en termes de bien-être est ambigu.

(ii) Une hausse de la subvention au secteur du recyclage (non polluant) a un effet sur le prix de vente du bien qui dépend de la pente de la courbe de demande du bien. Si la pente est suffisamment forte, l'effet est le même que celui de la taxe sur le monopole polluant. Si la pente est faible, la subvention implique une baisse du prix de vente du bien ; une hausse de la quantité

totale de bien ; une hausse de la *part* du recyclage (une baisse de la *part* du bien vierge) ; une évolution indéterminée de la pollution. L'effet en termes de bien-être est indéterminé.

Ainsi, le décideur politique devra être conscient que la première mesure (taxe pigouvienne), qui affecte *directement* le faiseur de prix de ce marché, a des effets différents de la seconde (subvention), qui l'affecte *indirectement*, *via* une baisse de la demande résiduelle qui lui est adressée.

ANNEXE A

Effet de la taxe sur le prix de vente

Par simplicité, on supposera une fonction de demande linéaire :

$$\begin{aligned} q(p) &= -ap + b \\ a &> 0 \\ q'(p) &= -a \end{aligned}$$

Sous cette hypothèse, l'équation (3) s'écrit :

$$f(p, \tau) \equiv p - c - \tau - \frac{q(p) - s(p)}{s'(p) + a} = 0$$

D'après le théorème des fonctions implicites :

$$\begin{aligned} \frac{dp}{d\tau} &= -\frac{\partial f / \partial \tau}{\partial f / \partial p} \\ &= \frac{1}{\partial f / \partial p} \end{aligned}$$

On calcule $\partial f / \partial p$:

$$\partial f / \partial p = 2 + \frac{(q - s) s''}{(a + s')^2}$$

En utilisant l'équation (1), c'est-à-dire la fonction d'offre du secteur RR, on a :

$$q - s = \frac{q}{p}$$

En utilisant la dérivée seconde de la fonction $s(\cdot)$, on obtient :

$$(q - s) s'' = -2 \frac{q^2}{p^4}$$

En utilisant la dérivée première de la fonction $s(\cdot)$, on peut donc écrire :

$$\partial f / \partial p = 2 + \frac{-2 \frac{q^2}{p^4}}{a^2 + \frac{q^2}{p^4} + 2a \frac{q}{p^2}}$$

Enfin on effectue le changement de variable suivant :

$$X \equiv \frac{q}{p^2} > 0$$

On a :

$$\partial f / \partial p = \frac{2a^2 + 4aX}{a^2 + X^2 + 2aX} > 0$$

D'où :

$$\frac{dp}{d\tau} > 0$$

ANNEXE B

Effet de la subvention sur le prix de vente

Avec une fonction de demande linéaire spécifiée comme à l'annexe A, la condition (5) s'écrit :

$$g(p, \sigma) \equiv p - c - \frac{q(p) - s(p, \sigma)}{s'_p(p, \sigma) + a} = 0$$

D'après le théorème des fonctions implicites :

$$\frac{dp}{d\sigma} = - \frac{\partial g / \partial \sigma}{\partial g / \partial p}$$

On étudie d'abord le signe de $\partial g/\partial p$:

$$\partial g/\partial p = 2 + \frac{(q-s)s''}{(a+s')^2}$$

De même qu'à l'annexe A, on utilise la fonction d'offre du secteur RR, la dérivée première et la dérivée seconde de la fonction $s(\cdot)$ et on effectue le changement de variable suivant :

$$Y \equiv \frac{q}{(p+\sigma)^2} > 0$$

Il vient :

$$\partial g/\partial p = \frac{2a^2 + 4aY}{a^2 + Y^2 + 2aY} > 0$$

$dp/d\sigma$ est donc du signe opposé à $\partial g/\partial\sigma$. On étudie alors le signe de $\partial g/\partial\sigma$:

$$\partial g/\partial\sigma = \frac{s'(a+s') + (q-s)s''}{(a+s')^2}$$

De même qu'à l'annexe A, en utilisant la dérivée première et la dérivée seconde de la fonction $s(\cdot)$, on peut donc écrire :

$$\partial g/\partial\sigma = \frac{a\frac{q}{(p+\sigma)^2} - \frac{q^2}{(p+\sigma)^4}}{a^2 + \frac{q^2}{(p+\sigma)^4} + 2a\frac{q}{(p+\sigma)^2}}$$

Avec le changement de variable précédent, on a :

$$\partial g/\partial\sigma = \frac{Y(a-Y)}{a^2 + Y^2 + 2aY}$$

D'où :

$$a < Y \Leftrightarrow \partial g/\partial\sigma < 0 \Leftrightarrow dp/d\sigma > 0$$

$$a > Y \Leftrightarrow \partial g/\partial\sigma > 0 \Leftrightarrow dp/d\sigma < 0$$

Quand a est inférieur à un certain seuil (courbe de demande relativement pentue), la hausse de la subvention implique une hausse du prix du bien. Inversement, quand a est supérieur à ce même seuil (courbe de demande relativement peu pentue), la hausse de la subvention implique une baisse du prix du bien.

ANNEXE C

Effet de la subvention sur l'offre de bien secondaire

Dans le cas où la hausse de la subvention provoque une hausse de prix ($a < Y$), la fonction d'offre du secteur RR (4) montre que ces deux variables jouent de manière symétrique : sans ambiguïté, la part du recyclage augmente.

Dans le cas où la hausse de la subvention provoque une hausse de prix ($a > Y$), il faut étudier quel est l'effet qui domine (effet positif de la hausse de la subvention *versus* effet négatif de la baisse du prix). On montre d'abord que :

$$\begin{aligned}\frac{ds}{d\sigma} &> 0 \Leftrightarrow \frac{dp}{d\sigma} > -1 \\ &\Leftrightarrow -\frac{dp}{d\sigma} < 1 \\ &\Leftrightarrow \left| \frac{dp}{d\sigma} \right| < 1\end{aligned}$$

Naturellement, pour que le secteur du recyclage bénéficie de la subvention, il faut que la baisse du prix soit plus que compensée par la hausse de la subvention. D'après l'annexe B, on a :

$$\begin{aligned}-\frac{dp}{d\sigma} &= \frac{\partial g/\partial\sigma}{\partial g/\partial p} \\ (\partial g/\partial\sigma) - (\partial g/\partial p) &= \frac{-Y^2 - 2a^2 - 3aY}{a^2 + Y^2 + 2aY} < 0 \\ \partial g/\partial\sigma &< \partial g/\partial p \\ \frac{\partial g/\partial\sigma}{\partial g/\partial p} &< 1 \\ -\frac{dp}{d\sigma} &< 1 \\ \frac{ds}{dp} &> 0\end{aligned}$$

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- AMIGUES J.-P., MOREAUX M., TERREAUX J.-P. [1990], "Exploitation d'une ressource non renouvelable, possibilité de stockage et règle d'Hotelling", *Revue économique*, 41, p. 335-368.
- GASKINS D.W. [1974], "Alcoa Revisited: Welfare Implications of a Secondhand Market", *Journal of Economic Theory*, 7, p. 254-271.
- GRANT D. [1999], "Recycling and market power: A more general model and re-evaluation of the evidence", *International Journal of Industrial Organization*, 17, p. 59-80.
- SUSLOW V.Y. [1986], "Estimating monopoly behavior with competitive recycling: an application to Alcoa", *Rand Journal of Economics*, 17, p. 389-403.
- SWAN P.L. [1980], "Alcoa: The Influence of Recycling on Monopoly Power", *Journal of Political Economy*, 88, p. 76-99.
- TIROLE J. [1993], *Théorie de l'organisation industrielle*, Economica, Paris.