« Dynamiques comparées des effets de la taxation minière »

Gérard Gaudet et Pierre Lasserre

L'Actualité économique, vol. 66, n° 4, 1990, p. 467-497.

L'Actualité économique, Revue d'analyse économique, vol. 66, nº 4, décembre 1990

DYNAMIQUES COMPARÉES DES EFFETS DE LA TAXATION MINIÈRE*

Gérard GAUDET
Pierre LASSERRE
Département des sciences économiques
Université du Québec à Montréal

RÉSUMÉ — Ce texte étudie l'effet de la taxation sur le sentier d'extraction d'une ressource naturelle non renouvelable en situation de concurrence parfaite. Il s'agit d'une synthèse de travaux récents sur le sujet. Quoique le cadre d'analyse soit défini de façon générale, on y traite de façon plus particulière d'une taxe forfaitaire, d'une redevance spécifique, d'une redevance *ad valorem,* d'une taxe sur les profits et d'une taxe sur la valeur de la propriété. L'analyse est faite dans un premier temps sous l'hypothèse simplificatrice qu'il n'y a pas d'effet de stock sur les coûts d'extraction, puis reprise pour le cas plus complexe où les coûts d'extraction dépendent de l'extraction cumulée. Un traitement séparé est fait de l'impôt sur le revenu des sociétés, qui nécessite l'introduction explicite du capital dans le modèle.

ABSTRACT — This paper deals with the effect of taxation on the extraction path of a nonrenewable natural resource. It presents a synthesis of some recent papers on the subject. Although the analytical framework is designed to study the effect of quite general forms of taxes, the emphasis is put in the paper on a lump sum or franchise tax, a specific severance tax, an *ad valorem* severance tax, a profit tax and a tax on the value of the reserves. The analysis is first carried out under the assumption that extraction costs are independent of the stock of the resource; it is then repeated for the more complicated case where extraction costs depend on the remaining reserves. The corporate income tax is treated separately, since it requires the introduction of capital in the model.

1. INTRODUCTION

Une caractéristique de l'équilibre de marché dans l'exploitation d'une ressource naturelle non renouvelable est que le revenu marginal tiré de la vente de la ressource extraite excède le coût marginal de l'extraire. Cet écart entre le revenu marginal et le coût marginal d'extraction s'interprète comme une rente attribuable au caractère non renouvelable de la ressource. Ceci fait de l'industrie exploitant une ressource non renouvelable une cible particulièrement attrayante pour le fisc. On sait en effet que, théoriquement, une rente pure peut être entièrement récupérée par une taxe sans modifier l'affectation des ressources. En plus des taxes traditionnelles qui touchent tous les secteurs de production, comme par exemple l'impôt sur le revenu des

* Les auteurs remercient le Conseil de recherche en sciences humaines du Canada pour son soutien financier.

sociétés, les entreprises minières font donc souvent face à des taxes particulières dont le but est de récupérer une partie de la rente. L'assiette de ces taxes sera par exemple le volume de la ressource extrait (une redevance spécifique), la valeur de la ressource extraite (une redevance *ad valorem*), le profit tiré de l'extraction ou encore la valeur de la propriété. D'autres impôts prendront parfois une forme forfaitaire, comme par exemple les charges reliées au permis d'exploitation. Même dans le cas d'une taxe universelle, comme l'impôt sur le revenu des sociétés, le législateur va la plupart du temps prévoir des dispositions particulières au secteur minier pour refléter le fait que l'activité de ce secteur consiste à épuiser un stock de ressource non renouvelable.

Dans ce texte, nous nous intéresserons à l'effet de diverses formes de taxes sur le comportement des firmes et de l'industrie minières en situation de concurrence parfaite. Une analyse distincte de l'effet des taxes pour cette industrie se justifie dans la mesure où les résultats escomptés diffèrent de ceux que l'on connaît déjà dans le cas de la production de biens ordinaires. Puisque la production cumulée se trouve contrainte par le stock initial fixe de la ressource, un cadre d'analyse dynamique particulier s'impose pour étudier le comportement des marchés des ressources non renouvelables. C'est ce qui explique que l'effet des taxes va effectivement se démarquer, règle générale, des résultats auxquels on s'attend dans le cadre statique habituel.

Nous supposerons les firmes identiques, ce qui a pour effet de simplifier le problème d'agrégation. Les résultats pourront donc s'interpréter comme s'appliquant au comportement de l'industrie et du marché dans leur ensemble. La demande du marché pour la ressource extraite sera supposée stable et connue avec certitude. La méthodologie d'analyse consiste à comparer le sentier d'extraction avec taxe à celui qui prévaut en l'absence de taxe. Comme nous nous situons en concurrence parfaite, la solution en l'absence de taxe pourra s'interpréter comme l'optimum social. Une telle interprétation suppose bien sûr qu'il n'existe aucune source de distorsion autre que la taxe à l'étude.

Nous étudierons en premier lieu, dans la section 2, l'effet sur le sentier d'extraction de diverses formes de taxation quand le coût d'extraction ne dépend pas de l'extraction cumulée. Dans la section 3, nous reprendrons l'analyse en présence d'un effet de stock sur les coûts d'extraction. Nous traiterons à part, dans la section 4, l'impôt sur le revenu des sociétés, dont l'analyse nécessite l'introduction explicite du capital dans le modèle. L'analyse de l'impôt sur le revenu des sociétés nous fournira l'occasion de déborder quelque peu le cadre d'analyse partielle des sections 2 et 3, en comparant les taux effectifs de taxation du revenu du capital des secteurs miniers et non miniers qui découlent de la structure de l'impôt sur le revenu des sociétés et les conséquences pour l'affectation du capital entre les deux secteurs[1].

1. Le contenu de ce texte s'inspire largement de Burness (1976), Gaudet et Lasserre (1984, 1986a et 1986b) et Heaps (1985). En plus le lecteur trouvera sans doute utile, parmi bien d'autres, les références suivantes : Conrad et Hool (1980 et 1981), Dasgupta et Heal (1979, chapitre 12), Dasgupta, Heal et Stiglitz (1980) et Heaps et Helliwell (1984).

2. TAXATION EN L'ABSENCE D'EFFET DE STOCK SUR LES COÛTS D'EXTRACTION

Dans cette section, nous nous attardons à l'effet de la taxation sur le sentier d'extraction quand les coûts ne dépendent que du taux d'extraction. La firme extrait une ressource homogène dont le stock initial, $\bar{S}$, est fixe et connu. La fonction de coût d'extraction s'écrit $C(q(t))$ où $q(t)$ est le taux d'extraction à l'instant t. La demande du marché est supposée stable et connue avec certitude. Nous faisons également l'hypothèse que les prix des facteurs de production sont invariants, ce qui explique qu'ils n'apparaissent pas explicitement dans la fonction de coût. Les intrants sont de plus supposés parfaitement malléables. Il sera plus simple de s'imaginer qu'ils sont tous loués, de sorte qu'il n'y a aucune valeur résiduelle à récupérer à la date terminale T. Ce modèle convient pour étudier les formes de taxation qui n'ont *a priori* aucun effet sur les prix. C'est le cas de la taxe forfaitaire[2], de la redevance spécifique, de la redevance *ad valorem* et de la taxe sur le profit, dont nous étudierons l'effet dans cette section et la suivante.

Le problème qui se pose à l'entreprise minière est donc:

$$\max_{\{q(t)\},T} \int_0^T e^{-rt}[p(t)q(t) - C(q(t)) - Z(q(t), p(t), t)]dt \tag{1}$$

sous contraintes:

$$\frac{dS(t)}{dt} = -q(t), S(0) = \bar{S}, S(T) \geq 0, q(t) \geq 0, \tag{2}$$

où $Z(q(t), p(t), t)$ est la fonction de taxe. Celle-ci prendra l'une ou l'autre des formes suivantes, selon le cas:

$Z(q,p,t) = \beta(t)$ dans le cas de la taxe forfaitaire,

$Z(q,p,t) = \alpha(t)q(t)$ dans le cas de la redevance spécifique,

$Z(q,p,t) = \gamma(t)p(t)q(t)$ dans le cas de la redevance *ad valorem*.

$Z(q,p,t) = v(t)[p(t)q(t) - C(q(t))]$ dans le cas de la taxe sur le profit.

Il est facile de montrer, sous les hypothèses que nous venons de faire, que s'il est optimal d'extraire[3], il est optimal de tout extraire. Il sera donc plus simple de supposer dès le départ $S(T) = 0$[4].

---

2. Dans un cadre d'analyse purement statique, une taxe forfaitaire est une taxe qui ne peut pas être évitée. Le montant prélevé est indépendant des actions prises au cours de la période de décision et constitue donc un coût fixe. Dans un contexte dynamique, comme celui inhérent à l'étude des ressources naturelles, une telle taxe dépend du temps et n'est donc plus, à proprement parler, forfaitaire. Elle peut être évitée en cessant de produire, de sorte que la valeur actualisée des prélèvements cumulés dépend de la décision prise quant à la durée de l'activité de production. Ceci étant dit, nous continuons ici, faute de mieux, de parler d'une taxe forfaitaire pour désigner ce type d'impôt.

3. Il suffit de supposer qu'à tout t le prix du marché de la ressource extraite couvre la somme du coût d'extraction et de la taxe pour qu'il soit optimal d'extraire.

4. Cette simplification n'est plus possible quand le coût d'extraction ou le montant prélevé en taxe sont fonction de $S(t)$. Nous y reviendrons à la section suivante.

Le hamiltonien associé à ce problème s'écrit:

$$H = e^{-rt}\,[p(t)q(t) - C\,(q(t)) - Z(q(t), p(t), t)] - \lambda(t)q(t)$$

et on trouvera comme conditions nécessaires:

$$e^{-rt}\left[p - C'(q) - \frac{\partial Z}{\partial q}\right] = \lambda, \tag{3}$$

$$\frac{d\lambda}{dt} = 0, \tag{4}$$

$$\frac{dS}{dt} = -q, \tag{5}$$

$$e^{-rT}[p(T)q(T) - C(q(T)) - Z(q(T), p(T), T)] - \lambda(T)q(T) = 0, \tag{6}$$

où la variable t a été ignorée en tant qu'argument, comme elle le sera dorénavant à chaque fois qu'on peut le faire sans porter à confusion. La condition (3) suppose implicitement une solution intérieure pour $q(t)$.

Les conditions (3) à (6) caractérisent l'équilibre après taxe de l'entreprise minière en concurrence parfaite. Étant donné que nous supposons les firmes identiques, ces conditions peuvent s'interpréter également comme les conditions d'équilibre de l'industrie si on substitue pour p en (3) la fonction de demande inverse du marché, que nous dénoterons:

$$p = P(q),\ P'(q) < 0. \tag{7}$$

Si maintenant on différencie (3) par rapport à t on obtient, après avoir utilisé (3) et (4) pour éliminer λ et $d\lambda/dt$:

$$\frac{dq}{dt} = \frac{r[P(q) - C'(q)]}{P'(q) - C''(q) - \frac{\partial^2 Z}{\partial q^2} - \frac{\partial^2 Z}{\partial q \partial p}P'(q)} - \frac{r\frac{\partial Z}{\partial q} - \frac{\partial Z^2}{\partial q \partial t}}{P'(q) - C''(q) - \frac{\partial^2 Z}{\partial q^2} - \frac{\partial^2 Z}{\partial q \partial p}P'(q)}. \tag{8}$$

Les conditions nécessaires se réduisent donc à un système de deux équations différentielles d'ordre un, soit (8) et (5), qui, lorsque combinées à la condition initiale $S(0) = \bar{S}$ et à la condition de transversalité (6), caractérisent implicitement le sentier d'extraction, $\{q(t)\}$.

Si on convient de dénoter les valeurs d'équilibre des variables en absence de taxe par un astérisque, on vérifie, de la même manière, que:

$$\frac{dq^*}{dt} = \frac{r[P(q) - C'(q)]}{P'(q) - C''(q)}. \tag{9}$$

On notera que la condition de second ordre pour la maximisation du hamiltonien par rapport à q[5], combinée à $P'(q) < 0$, assure que le dénominateur du côté droit de l'équation est négatif à la fois dans (8) et dans (9), de sorte que dq^*/dt est toujours négatif.

Nous sommes maintenant en mesure d'analyser l'effet de la taxe sur le sentier d'extraction. On constate tout d'abord que si le stock initial est le même avec ou sans taxe, comme c'est le cas ici par hypothèse, alors la surface en-dessous des courbes $q(t)$ et $q^*(t)$ dans l'espace (q,t) devra être la même. Quant à la condition terminale (6), si on y substitue pour λ de (3) on vérifie facilement que pour chacune des taxes qu'on se propose d'analyser dans cette section, sauf la taxe forfaitaire, elle se réduit à:

$$\frac{C(q(T))}{q(T)} = C'(q(T)). \tag{10}$$

La condition de transversalité implique donc, en concurrence parfaite, que le coût moyen soit minimisé en période terminale. Pour toute forme d'imposition qui a le même effet sur le coût moyen et le coût marginal, comme c'est le cas ici, le coût moyen se trouvera minimisé au même taux d'extraction après taxe et avant taxe. Donc, sauf pour la taxe forfaitaire, la détermination de $q(T)$ se fait indépendamment de la taxe, de sorte que $q(T)=q^*(T^*)$. Il s'ensuit que nous ne pouvons pas avoir $q(t) \neq q^*(t)$ pour tout $t \in [0, \max[T,T^*]]$, car autrement la surface en-dessous des courbes serait différente et la condition initiale, $S(0) = \bar{S}$, serait nécessairement violée par l'un des deux sentiers. Les deux sentiers vont donc nécessairement se couper au moins une fois. Ils peuvent aller jusqu'à se confondre, auquel cas la forme d'imposition en question sera dite neutre. Il faut donc connaître la forme de la fonction de taxe pour pouvoir être plus précis quand à l'effet de la taxe. Nous nous attarderons aux taxes spécifique, *ad valorem* et sur les profits. Mais auparavant, soulignons que l'argumentation que nous venons de faire pour montrer que les deux sentiers vont se croiser au moins une fois, à moins qu'ils ne se confondent, s'appuie sur le fait que $q(T)=q^*(T^*)$. Or ceci ne sera pas le cas pour la taxe forfaitaire. Analysons donc celle-ci en premier lieu.

2.1 *La taxe forfaitaire*

Dans le cas de la taxe forfaitaire, on a $\partial Z/\partial q \equiv 0$, de sorte que seule la condition (6) se trouve modifiée par la taxe. Après substitution pour $\lambda(T)$, de (3), celle-ci s'écrit:

$$\frac{C(q(T))}{q(T)} + \frac{\beta(T)}{q(T)} = C'(q(T)). \tag{11}$$

5. En calcul des variations, il s'agirait de la condition de Legendre.

La condition terminale implique toujours la minimisation du coût moyen, mais cette fois le coût moyen après taxe se trouve augmenté du prélèvement moyen alors que le coût marginal reste inchangé. Le coût marginal étant une fonction croissante du taux d'extraction le long du sentier d'équilibre, de par la condition de second ordre de maximisation du hamiltonien, la condition (11) ne pourra donc être satisfaite que si $q(T) > q^*(T^*)$.

De ceci on tire que la taxe forfaitaire crée une incitation à rapprocher la date d'épuisement de la mine. En effet, supposons le contraire, c'est-à-dire $T \geq T^*$. Comme $q(T) > q^*(T^*)$ et que les sentiers seront continus, la surface en-dessous des deux courbes ne pourra être la même, comme l'impose le stock initial identique, à moins que $q(\tau) = q^*(\tau)$ avec $dq(\tau)/dt \neq dq^*(\tau)/dt$ pour au moins un $\tau \leq T$. Mais puisque $\partial Z/\partial q \equiv 0$, (10) et (11) impliquent que si $q(\tau) = q^*(\tau)$, alors $dq(\tau)/dt = dq^*(\tau)/dt$. Donc $T < T^*$. En fait, on aura $q(t) > q^*(t)$ pour tout $t \in [0,T]$, tel que l'illustre la Figure 1. Car la contrainte du stock initial identique élimine la possibilité que $q(t)$ soit partout inférieur à $q^*(t)$ et $dq(\tau)/dt = dq^*(\tau)/dt$ à tout point de croisement élimine la possibilité que les deux sentiers se croisent.

Donc la taxe forfaitaire a pour effet d'accélérer l'épuisement de la ressource. Alors qu'une telle taxe serait neutre dans un cadre purement statique, où elle ne pourrait pas être évitée, dans le cas de l'exploitation d'une ressource non renouvelable l'entreprise peut réduire la valeur actualisée du prélèvement fiscal cumulé en exploitant plus rapidement ses réserves.

2.2 *La taxe spécifique*

Dans le cas de la taxe spécifique, on a $\partial Z/\partial q = \alpha(t)$, de sorte que (8) s'écrit:

$$\frac{dq}{dt} = \frac{r[P(q) - C'(q)]}{P'(q) - C''(q)} = \frac{r\alpha - \dfrac{d\alpha}{dt}}{P'(q) - C''(q)} \cdot \tag{12}$$

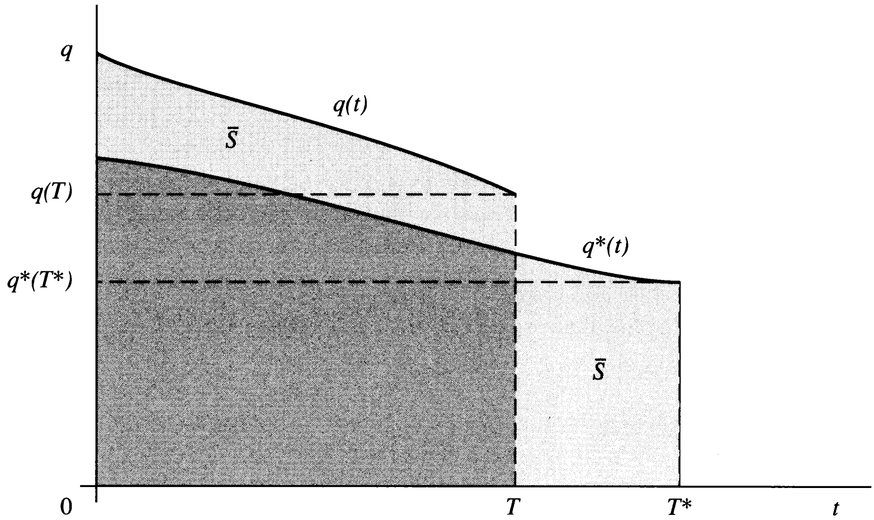
Il a déjà été établi qu'avec cette forme d'imposition, on ne peut pas avoir partout des taux d'extraction différents le long des sentiers d'extraction après taxe et avant taxe. De (12) et (9) on obtient que si $q(\tau) = q^*(\tau)$, alors à τ:

$$\frac{dq^*}{dt} - \frac{dq}{dt} = \frac{r\alpha - \dfrac{d\alpha}{dt}}{P'(q) - C''(q)}. \tag{13}$$

On voit immédiatement qu'une telle taxe sera neutre si et seulement si $d\alpha/dt = r\alpha$. La raison en est assez intuitive. Si le taux d'imposition croît au taux d'intérêt, sa valeur actualisée sera constante. Pour cette raison, lorsqu'on l'applique au sentier optimal avant taxe, la taxe ne créera pas d'incitation à retarder ou à accélérer l'extraction dans le but de réduire le fardeau fiscal actualisé. Elle ne fera donc que récupérer une partie de la rente sans causer de perte sèche. En effet, comme

FIGURE 1

EFFET D'UNE TAXE FORFAITAIRE



$\alpha(t) = \alpha_0 e^{rt}$ où α_0 est le taux de taxation en période initiale, la condition (3) devient:

$$e^{-rt}\,[p - C'(q)] = \lambda_0 + \alpha_0, \tag{14}$$

où λ_0 est la valeur constante de λ, pour satisfaire la condition (4). Mais puisque $q = q^*$, le côté gauche de (14) n'est rien d'autre que λ_0^*. Donc $\lambda_0^* - \lambda_0 = \alpha_0$, c'est-à-dire que la rente se trouve réduite exactement de la taxe.

On remarquera qu'il s'agit là d'un résultat particulier au cadre d'analyse dynamique qu'imposent les ressources naturelles non renouvelables. Dans le cadre statique habituel une taxe spécifique ne peut jamais être neutre, car l'augmentation du coût marginal qui en résulte incite toujours l'entreprise à réduire sa production pour maintenir l'égalité du coût marginal et du prix, inchangé, qu'elle prend comme une donnée.

Dans tous les cas où $d\alpha/dt \neq r\alpha$, la taxe spécifique va causer une distorsion du sentier d'extraction. Si par exemple $d\alpha/dt > r\alpha$, les deux sentiers ont une pente négative et vont nécessairement se croiser au moins une fois. Supposons qu'ils se croisent à τ. Alors à $t = \tau$ le côté droit de (13) est nécessairement positif, ce qui signifie, étant donné qu'ils sont continus, que les sentiers ne peuvent se croiser qu'une seule fois. De plus, on sait que le sentier après taxe va couper le sentier avant taxe par le haut et donc $T < T^*$. La taxe spécifique réduit dans ce cas la durée de vie de la mine.

La situation la plus intéressante est sans doute celle où $d\alpha/dt < r\alpha$, puisqu'elle inclut le cas typique du taux de taxation constant ($d\alpha/dt = 0$). Le signe de dq/dt est maintenant ambigu et la pente du sentier d'extraction après taxe pourra être positive sur une partie ou sur toute la durée de l'exploitation. Ce dont on est assuré cependant, c'est que si un point de croisement à lieu à $t = \tau$, $dq(\tau)/dt > dq^*(\tau)/dt$. Les sentiers se couperont donc une seule fois, le sentier après taxe coupant celui avant taxe par le bas, comme l'illustre la Figure 2. L'effet de la taxe sera donc de retarder la date d'épuisement du stock de la ressource ($T > T^*$) et le taux d'extraction après taxe sera d'abord plus faible puis plus élevé que le taux d'extraction avant taxe.

2.3 *La taxe **ad valorem***

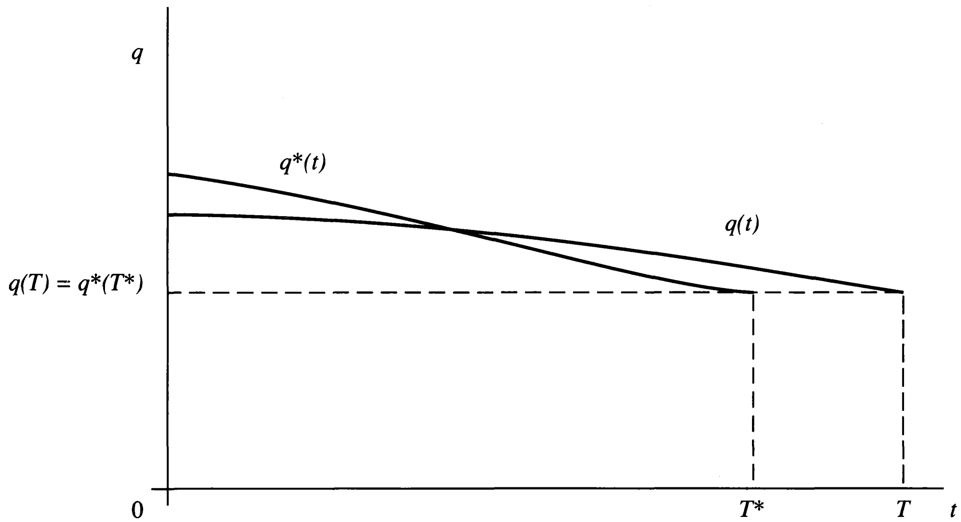
L'analyse qualitative d'une redevance *ad valorem* ressemble à celle de la redevance spécifique. L'équation (8) s'écrit dans ce cas:

$$\frac{dq}{dt} = \left[\frac{r[P(q) - C'(q)]}{P'(q) - C''(q)} - \frac{\left[r\gamma - \frac{d\gamma}{dt}\right]P(q)}{P'(q) - C''(q)}\right]\left[\frac{P'(q) - C''(q)}{P'(q) - C''(q) - \gamma P'(q)}\right]. \tag{15}$$

On note en particulier que si la demande est parfaitement élastique ($P'(q) = 0$), il suffit de remplacer partout α par γp pour que l'analyse que nous venons de faire de l'effet de la taxe spécifique s'applique à la taxe *ad valorem*. La taxe *ad valorem* serait neutre si et seulement si $d\gamma/dt = r\gamma$ et si le taux d'imposition est constant, les réserves seront épuisées moins rapidement qu'en l'absence de taxe.

FIGURE 2

EFFET D'UNE TAXE SPÉCIFIQUE OU *AD VALOREM* À TAUX CONSTANT



Par contre, si $P'(q) < 0$, on doit maintenant tenir compte de l'effet de la taxe sur le prix d'équilibre. Ceci se voit mieux si on utilise le fait que $dp/dt = P'(q)dq/dt$ pour récrire (15):

$$\frac{dq}{dt} = \frac{r[P(q) - C'(q)]}{P'(q) - C''(q)} - \frac{\left[r\gamma p - p\dfrac{d\gamma}{dt} - \gamma\dfrac{dp}{dt}\right]}{P'(q) - C''(q)}. \tag{16}$$

Ainsi, à tout point de croisement du sentier après taxe et du sentier avant taxe on aura:

$$\frac{dq^*}{dt} - \frac{dq}{dt} = \frac{r\gamma p - \dfrac{d\gamma p}{dt}}{P'(q) - C''(q)}. \tag{17}$$

Dans le cas général, la taxe *ad valorem* sera donc neutre si et seulement si $(d\gamma p/dt) = r\gamma p$, ce qui équivaut à $(d\gamma/dt)/\gamma = r - (dp/dt)/p$. On remarque en particulier que si le taux de taxe γ est constant $(d\gamma/dt = 0)$, $dq^*/dt < dq/dt$ au point de croisement, puisque le prix d'équilibre croît à un taux moindre que le taux d'intérêt quand le coût d'extraction est positif. Par le même raisonnement que pour la taxe spécifique, on en déduit que le sentier après taxe coupera le sentier avant taxe une seule fois et par le bas, comme à la Figure 2, et qu'en conséquence $T > T^*$, comme pour la taxe spécifique à taux constant.

2.4 *La taxe sur les profits purs*

Imposer directement les profits présente *a priori* un intérêt particulier, car dans la mesure où un telle taxe ne ferait que prélever une partie des profits purs, elle serait un bon instrument pour récupérer la rente sans la dissiper. Si l'on suppose donc que l'assiette fiscale est mesurée par les recettes moins les coûts d'extraction, la fonction de taxe s'écrit $Z(q,p,t) = v(t)[p(t)q(t) - C(q(t))]$, où nous faisons l'hypothèse que la taxe est proportionnelle. On peut maintenant récrire l'équation (8):

$$\frac{dq}{dt} = \frac{\left[r(1-v) + \dfrac{dv}{dt}\right][P(q) - C'(q)]}{(1-v)[P'(q) - C''(q)]}. \tag{18}$$

On voit immédiatement qu'à moins que $dv/dt \neq 0$, c'est-à-dire à moins que le taux de taxe ne varie dans le temps de façon connue, on aura:

$$\frac{dq}{dt} = \frac{dq^*}{dt}.$$

Si le taux de taxe sur les profits est constant, la taxe sera donc neutre. La condition (3) pourra dans ce cas s'écrire:

$$e^{-rt}[p - C'(q)] = \frac{\lambda_0}{1-v}$$

où λ_0 est la valeur constante de λ. Le côté gauche étant aussi égal à λ_0^*, on vérifie ainsi que l'écart entre la rente avant taxe et la rente après taxe est bien récupéré en entier par la taxe.

La fonction de taxe sur le profit que nous avons écrite fait l'hypothèse que la fonction $C(q)$ capte avec exactitude tous les coûts. Ceci n'est malheureusement pas toujours le cas en pratique, car souvent on doit imputer certains coûts qui ne sont encourus que de façon implicite pour arriver à une mesure du profit pour fin fiscale. L'exemple le plus important est celui de l'imputation d'un loyer implicite au capital physique que possède l'entreprise. Une imputation exacte exige que l'on connaisse, entre autres, le véritable taux de dépréciation de ce capital et tout écart entre le taux d'amortissement réel et celui admis pour le calcul de l'impôt va introduire une distorsion. L'amortissement accéléré de certains types de capital est d'ailleurs souvent utilisé volontairement par l'État comme incitatif fiscal visant à stimuler l'investissement. Dans le cas d'une ressource naturelle, les réserves constituent également un type de capital pour lequel on devra prévoir une forme spéciale d'amortissement, que l'on appelle généralement la provision pour épuisement. Nous reviendrons à ces questions quand nous aborderons plus à fond l'impôt sur le revenu des sociétés, à la section 4. Auparavant, voyons comment l'analyse de l'effet de la taxation est modifiée si les coûts dépendent de l'extraction cumulée, en plus de dépendre du taux d'extraction.

3. TAXATION EN PRÉSENCE D'UN EFFET DE STOCK SUR LES COÛTS D'EXTRACTION

L'extraction des ressources non renouvelables a dans de nombreux cas la particularité que les coûts d'extraction vont s'accroître au fur et à mesure que le stock de la ressource s'épuise. L'extraction cumulée influence donc les coûts. On modélise généralement ce phénomène en incluant le stock de la ressource disponible à l'instant t comme argument de la fonction de coût à t, en plus du taux d'extraction, ce qui fait que la fonction de coût s'écrit $C(q(t),S(t))$, avec $\partial C/\partial q > 0$, $\partial C/\partial S < 0$ et $\partial^2 C/\partial q \partial S < 0$. Il devient dans ce cas essentiel de traiter explicitement comme endogène le stock terminal, $S(T)$, car il se peut fort bien qu'il ne soit plus optimal de tout extraire. L'analyse de l'incidence des taxes sera plus complexe, car il faudra se préoccuper de l'effet de la taxe à la fois sur $q(t)$ et sur $S(t)$ pour tout $t \in [0,T]$.

Le problème à résoudre par le gestionnaire de la mine devient:

$$\max_{\{q(t)\},T} \int_0^T e^{-rt}[p(t)q(t) - C(q(t),S(t)) - Z(q(t),S(t),p(t))]dt \tag{19}$$

sous contraintes:

$$\frac{dS(t)}{dt} = -q(t), S(0) = \bar{S}, S(T) \geq 0, q(t) \geq 0, \tag{20}$$

où, pour plus de généralité, nous avons supposé que le stock de la ressource apparaît également dans la fonction de taxe. Ceci nous permettra de capter l'effet d'une taxe sur la propriété du stock de la ressource. Par contre nous simplifierons en supposant, contrairement à la section précédente, que les paramètres fiscaux sont constants et donc que la fonction de taxe est autonome. Ceci est d'ailleurs le plus souvent le cas dans la réalité.

Le hamiltonien s'écrit maintenant:

$$H = e^{-rt}[p(t)q(t) - C(q(t),S(t)) - Z(q(t),S(t),p(t))] - \lambda(t)q(t)$$

et les conditions nécessaires:

$$e^{-rt}\left[p - \frac{\partial C}{\partial q} - \frac{\partial Z}{\partial q}\right] = \lambda\,, \tag{21}$$

$$\frac{d\lambda}{dt} = e^{-rt}\left[\frac{\partial C}{\partial S} + \frac{\partial C}{\partial S}\right], \tag{22}$$

$$\frac{dS}{dt} = -q\,, \tag{23}$$

$$e^{-rT}[p(T)q(T) - C(q(T),S(T)) - Z(q(T),S(T),p(T))] - \lambda(T)q(T) = 0\,, \tag{24}$$

$$\lambda(T) \geq 0, \lambda(T)S(T) = 0. \tag{25}$$

Le stock terminal, $S(T)$, est traité explicitement comme endogène et la condition (25) reflète le fait qu'il pourra être optimal de ne pas tout extraire, laissant $S(T) > 0$. Si $S(T) = 0$, alors les résultats vont différer très peu de ceux de la section précédente. Pour cette raison, nous ne nous intéresserons dans cette section qu'au cas où $S(T) > 0$, ce qui implique $\lambda(T) = 0$. On peut donc attribuer la totalité de l'écart entre le prix et le coût marginal d'extraction à chaque date à l'effet irréversible qu'a sur le coût d'extraction et sur l'impôt à venir la décision d'effectuer une réduction marginale du stock aujourd'hui.

Si on combine la condition (24) à la condition (21) évaluée à T, on obtient:

$$\frac{C(q(T),S(T))}{q(T)} + \frac{Z(q(T),S(T),P(q(T)))}{q(T)} =$$

$$\frac{\partial C(q(T),S(T))}{\partial q} + \frac{\partial Z(q(T),S(T),P(q(T)))}{\partial q}, \tag{26}$$

soit la condition habituelle à l'effet que le coût moyen d'extraction, taxe incluse, doit être minimisé en période terminale. De plus la condition (24), combinée à (25), laquelle implique $\lambda(T) = 0$, nous dit qu'à la date terminale le prix devra tout juste couvrir le coût moyen d'extraction, taxe incluse. On peut donc écrire:

$$P(q(T)) = \frac{C(q(T),S(T))}{q(T)} + \frac{Z(q(T),S(T),P(q(T)))}{q(T)}\,. \tag{27}$$

Finalement, de (21) et (25) on tire:

$$P(q(T)) = \frac{\partial C(q(T),S(T))}{\partial q} + \frac{\partial Z(q(T),S(T),P(q(T)))}{\partial q}\,, \tag{28}$$

c'est-à-dire qu'à T, le revenu marginal doit égaler le coût marginal d'extraction, taxe incluse, compte tenu que $\lambda(T) = 0$. Les conditions (26), (27) et (28) vont ensemble déterminer $q(T)$, $S(T)$ et T.

On obtient évidemment les relations correspondantes pour le cas où il n'y a pas de taxe en posant $Z(\ldots) \equiv 0$. Ainsi on aura:

$$\frac{C(q^*(T), S^*(T))}{q^*(T)} = \frac{\partial C(q^*(T), S^*(T))}{\partial q}, \tag{29}$$

$$P(q^*(T)) = \frac{C(q^*(T), S^*(T))}{q^*(T)}, \tag{30}$$

$$P(q^*(T)) = \frac{\partial C(q^*(T), S^*(T))}{\partial q}. \tag{31}$$

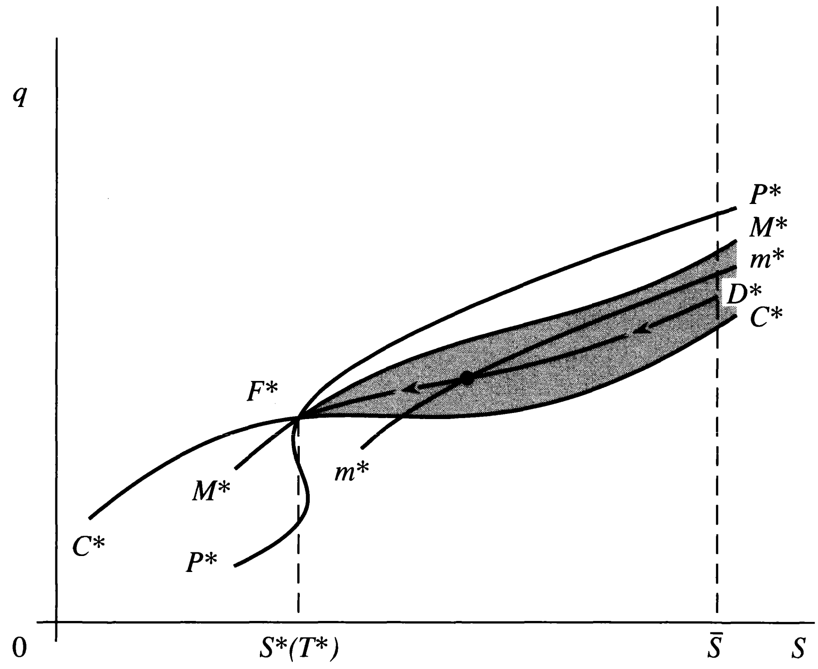
Pour faire l'analyse de dynamique comparée qu'exige l'étude de l'effet des taxes, il est utile de caractériser la solution dans l'espace (q,S) plutôt que dans le traditionnel espace (q,t). Supposons pour le moment T connu et convenons d'appeler CC le lieu géométrique des points dans l'espace (q,S) qui satisfont (26), PP le lieu géométrique des points qui satisfont (27) et MM le lieu géométrique des points qui satisfont (28). Ces trois courbes sont tracées à la Figure 3. Nous y négligeons les taxes pour l'instant, comme le dénotent les astérisques. La courbe C^*C^* représente, pour chaque niveau de stock terminal, le taux d'extraction terminal qui minimise le coût moyen. Sa forme dépend de la fonction de coût. La courbe P^*P^* représente les combinaisons de q et S qui annulent le profit. Sa forme est facilement déduite à partir des hypothèses faites sur les fonctions de coût et de demande. On peut démontrer que si T^* est la date terminale d'équilibre, de sorte que les trois courbes se croisent en un même point, alors, au point de croisement, c'est-à-dire au point terminal F^*, la pente de la courbe P^*P^* est positive et plus grande que la pente de la courbe C^*C^*.

Le point F^* est bien le point terminal, puisque C^*C^* et P^*P^* s'y croisent et donc à la fois le profit moyen est nul et le coût moyen est minimisé. À T^*, le plan d'extraction doit également satisfaire (31), c'est-à-dire (21) avec $\lambda = 0$, et donc se trouver sur M^*M^*, là où le profit marginal est nul. La pente de M^*M^* à F^* sera plus faible que celle de P^*P^* puisque la relation de M^*M^* à P^*P^* est la même que celle du coût marginal au coût moyen et le coût moyen est minimum à F^*.

Pour $t \neq T^*$, (21) doit également être satisfaite, mais avec $\lambda > 0$. La courbe m^*m^* à la Figure 3 est un exemple, pour un $t < T^*$ donné, du lieu géométrique des points (q,S) qui satisfont (21). La courbe m^*m^* va couper C^*C^* à la droite de F^*, puisque $\lambda = 0$ à F^* alors que $\lambda > 0$ sur m^*m^*. Au fur et à mesure que t augmente, il y a déplacement vers le haut sur une nouvelle courbe m^*m^*, pour atteindre M^*M^* à T^*.

FIGURE 3

LE SENTIER D'EXTRACTION EN PRÉSENCE D'UN EFFET DE STOCK SUR LES COÛTS



Le sentier d'extraction d'équilibre va donc se situer au-dessus de C^*C^*, puisque le taux d'extraction pour $t < T^*$ excédera celui qui minimise le coût moyen, et au-dessous de M^*M^*, puisque λ est non négatif. Il devra débuter à la verticale de $\bar{S}$, afin de satisfaire la condition initiale, et s'arrêter au point F^*, afin de satisfaire les conditions terminales. Il est représenté par la courbe fléchée D^*F^* à la Figure 3. Il est clair que plus haut est le sentier dans l'espace (q,S), plus rapidement se fait l'extraction d'un volume donné de la ressource.

Pour caractériser plus à fond la dynamique du sentier, calculons-en la pente, en différenciant (21) par rapport à t, après y avoir substitué la condition d'équilibre du marché, $p = P(q)$. Si on se sert de (21) et (22) pour éliminer λ et $d\lambda/dt$, on obtient:

$$\frac{dq}{dt} = \frac{r\left[P - \frac{\partial C}{\partial q} - \frac{\partial Z}{\partial q}\right] + \frac{\partial C}{\partial S} + \frac{\partial Z}{\partial S} - \left[\frac{\partial^2 C}{\partial q \partial S} + \frac{\partial^2 Z}{\partial q \partial S}\right] q}{P' - \frac{\partial^2 C}{\partial q^2} - \frac{\partial^2 Z}{\partial q^2} - \frac{\partial^2 Z}{\partial q \partial p} P'}. \tag{32}$$

L'équivalent en l'absence de taxe sera:

$$\frac{dq^*}{dt} = \frac{r\left[P - \frac{\partial C}{\partial q}\right] + \frac{\partial C}{\partial S} - \frac{\partial^2 C}{\partial q \partial S} q^*}{P' - \frac{\partial^2 C}{\partial q^2}}. \tag{33}$$

Les fonctions de demande, de coût et de taxe étant autonomes, il s'agit dans chaque cas d'une équation différentielle autonome et les trajectoires qui la satisfont, ainsi que (23), ne se croiseront pas dans l'espace (q,S)[6]. On notera que $dq/dS = (dq/dt)/(dS/dt) = -(dq/dt)/q$ et $dq^*/dS = (dq^*/dt)/(dS^*/dt) = -(dq^*/dt)/q^*$ et donc la pente de la trajectoire d'équilibre dans l'espace (q,S) a le signe inverse de sa pente dans l'espace (q,t).

3.1 *La taxe forfaitaire*

Dans le cas d'une taxe forfaitaire, puisque $\partial Z/\partial q \equiv 0$ et $\partial Z/\partial S \equiv 0$, on vérifie immédiatement que le système dynamique n'est pas modifié par la taxe. En effet, (32) se réduit dans ce cas à (33). L'ensemble des trajectoires auquel appartient la solution est donc inchangé et l'on sait que ces trajectoires ne se croisent pas dans l'espace (q,S). Par contre les conditions terminales (27) et (26) s'écrivent:

$$P(q(T)) = \frac{C(q(T),S(T))}{q(T)} + \frac{\beta}{q(T)} \tag{34}$$

et

$$\frac{\partial C(q(T),S(T)}{\partial q} = \frac{C(q(T),S(T)}{q(T)} + \frac{\beta}{q(T)}. \tag{35}$$

6. Heaps (1985) discute brièvement des conséquences d'avoir un système d'équations différentielles non autonomes. L'analyse qualitative de systèmes non autonomes sera souvent impossible, puisque ses trajectoires peuvent se croiser dans l'espace de phase, soit l'espace (q,S) dans le cas présent.

Si on compare ces deux équations à (30) et (29), on peut déduire, à l'aide des propriétés des fonctions de coût et de demande, que la courbe CC se situera partout au-dessus de la courbe C^*C^* alors que PP se situera partout à droite de P^*P^*. C'est la situation qui est représentée à la Figure 4. Donc $S(T) > S^*(T^*)$, ce qui implique que la taxe forfaitaire va résulter en une réduction du volume total de la ressource extrait.

La taxe forfaitaire va également accélérer l'extraction d'une quantité donnée de la ressource. Il suffit, pour le démontrer, de prouver que le sentier d'extraction après taxe DF doit être partout au-dessus du sentier avant taxe D^*F^*. On sait déjà que ces deux sentiers ne se croiseront pas, puisque le système dynamique est inchangé. Supposons donc que DF soit partout au-dessous de D^*F^* et plaçons-nous à $(q(T),S(T))$, le point terminal optimal après taxe. On sait de (28) que $P(q(T)) = \partial C(q(T),S(T))/\partial q$, puisque $\partial Z/\partial q \equiv 0$. De plus, si D^*F^* est au-dessus de DF, $q^* > q$, où q^* est le taux d'extraction sur le sentier avant taxe qui correspond à $S(T)$. Donc $P(q(T)) = \partial C(q(T),S(T))/\partial q < \partial C(q^*, S(T))/\partial q = P(q^*) - \lambda^*$, ce qui implique $P(q^*) > P(q(T))$, puisque $\lambda^* > 0$. Mais comme $P'(q) < 0$, $P(q^*) < P(q(T))$ si $q^* > q(T)$, d'où une contradiction. Donc le sentier après taxe se situe partout au-dessus du sentier avant taxe dans l'espace (q,S), ainsi que l'illustre la Figure 4. On en conclut que la taxe forfaitaire accélère l'extraction d'un volume donné de la ressource. C'est la conclusion à laquelle on pouvait s'attendre suite à l'analyse de la section précédente: l'entreprise aura intérêt à réduire la durée d'exploitation d'un stock donné de la ressource afin de réduire la valeur présente des impôts à débourser sur ce stock de la ressource. Mais en présence d'un effet de stock sur les coûts d'extraction, elle aura en plus intérêt à réduire la quantité totale de la ressource extraite par rapport à la situation en l'absence de taxe. Comme on extrait une plus faible quantité plus rapidement, forcément $T < T^*$.

3.2 *La taxe spécifique*

Dans le cas de la taxe spécifique, $\partial Z/\partial q = \alpha$ et les conditions terminales (26) et (27) s'écrivent:

$$\frac{\partial C(q(T),S(T))}{\partial q} = \frac{C(q(T),S(T))}{q(T)} \tag{36}$$

et

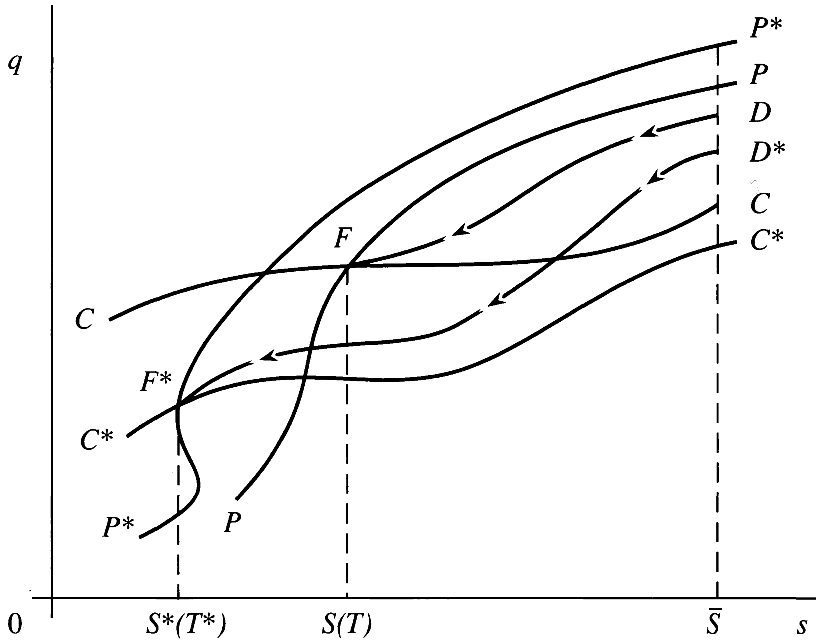
$$P(q(T)) = \frac{C(q(T),S(T))}{q(T)} + \alpha\ . \tag{37}$$

On voit que la courbe CC est la même après et avant taxe. Par contre la courbe PP se déplace vers la droite. On aura donc nécessairement $S(T) > S^*(T^*)$: la taxe spécifique incite à réduire le volume total de la ressource extrait[7].

7. On remarque que ceci serait vrai même si α croissait au taux d'intérêt, ce qui laisserait le sentier d'extraction inchangé en l'absence d'effet de stock. Donc en présence d'effets de stock sur les coûts, on aura $S(T) > S^*(T^*)$ pour tout $\alpha > 0$. La taxe spécifique (ainsi que la taxe *ad valorem*) va toujours causer une distorsion dans le sentier d'extraction et ne sera jamais neutre, comme elle pouvait l'être en l'absence d'effet de stock si on posait $d\alpha/dt = r\alpha$.

FIGURE 4

LA TAXE FORFAITAIRE AVEC EFFET DE STOCK SUR LES COÛTS



Qu'en est-il de la vitesse d'extraction? On constate que la dynamique du système est maintenant influencée par la taxe, puisque (32) s'écrit:

$$\frac{dq}{dt} = \frac{r\left[P(q) - \frac{\partial C}{\partial q}\right] + \frac{\partial C}{\partial S} - \frac{\partial^2 C}{\partial q \partial S} q}{P'(q) - \frac{\partial^2 C}{\partial q^2}} - \frac{\alpha r}{P'(q) - \frac{\partial^2 C}{\partial q^2}} \ . \tag{38}$$

Les sentiers DF et D^*F^* pourraient donc se croiser. Supposons qu'ils se croisent en un point quelconque $(\tilde{q}, \tilde{S})$. Alors à $(\tilde{q}, \tilde{S})$, $dq/dt > dq^*/dt$, ce qui implique $dq/dS < dq^*/dS$. Le sentier DF couperait le sentier D^*F^* par le bas à $(\tilde{q}, \tilde{S})$. Mais puisque S^*F^* doit être partout au-dessus de C^*C^* et que CC et C^*C^* se confondent, DF devrait alors couper D^*F^* au moins une autre fois et par le haut afin d'atteindre le point terminal F sur CC (voir Figure 5). D'où une contradiction, puisque nous venons de montrer que si DF coupait D^*F^*, il le couperait toujours par le bas. On en déduit que le sentier après taxe, DF, sera partout en dessous du sentier avant taxe, D^*F^*.

La taxe spécifique va ralentir l'extraction d'un volume donné de la ressource. Mais T pourra être plus grand ou plus petit que T^* puisque la taxe va du même coup réduire la quantité totale de la ressource extraite. C'est la situation représentée à la Figure 5.

3.3 *La taxe* ***ad valorem***

Comme on peut maintenant s'y attendre, la taxe *ad valorem* à taux constant aura des effets semblables à la taxe spécifique à taux constant. La taxe *ad valorem,* tout comme la taxe spécifique, ne déplace pas la courbe CC, mais déplace la courbe PP vers la droite, la condition (27) s'écrivant dans ce cas:

$$(1-\gamma)P(q(T)) = \frac{C(q(T), S(T))}{q(T)} \ . \tag{39}$$

Donc $S(T) > S^*(T^*)$, soit le même effet qualitatif sur le volume de la ressource extrait que la taxe spécifique.

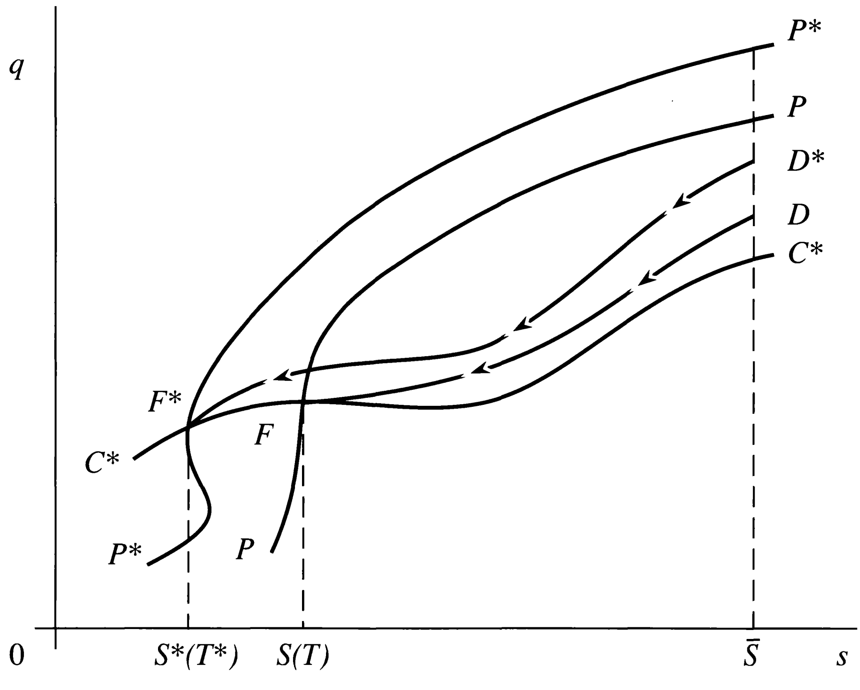
Quant à la dynamique du système, il suffit de se rappeler, comme pour l'équation (16), que $dp/dt = P'(q)(dq/dt)$ pour pouvoir récrire (32):

$$\frac{dq}{dt} = \frac{r[P(q) - C'(q)] + \frac{\partial C}{\partial S} - \frac{\partial^2 C}{\partial q \partial S} q}{P'(q) - \frac{\partial^2 C}{\partial q 2}} - \frac{\gamma pr - \gamma \frac{dp}{dt}}{P'(q) - \frac{\partial^2 C}{\partial q 2}} \ .$$

Puisque $dp/dt < rp$ quand les coûts d'extraction sont positifs, le second terme est négatif. Par la même argumentation que ci-dessus, on en déduit que la taxe *ad valorem* incite à exploiter plus rapidement une quantité donnée de la ressource, alors que l'effet sur la date terminale est ambigu puisque, du même coup, on va extraire une quantité plus faible qu'en l'absence de taxe.

FIGURE 5

LA TAXE SPÉCIFIQUE OU LA TAXE *AD VALOREM* AVEC EFFET DE STOCK



3.4 *La taxe sur les profits purs*

Dans le cas de la taxe sur les profits, l'analyse est relativement simple. On vérifie aisément que les conditions terminales demeurent inchangées après taxe. Les courbes CC et PP restent donc les mêmes qu'avant taxe et $(q(T),S(T)) = (q^*(T^*),S^*(T^*))$. Puisque la quantité de la ressource extraite ainsi que le taux d'extraction terminal sont les mêmes avec ou sans taxe, l'analyse que nous avons faite de la taxe sur les profits en l'absence d'effet de stock s'applique intégralement et donne les mêmes résultats: avec un taux de taxe constant, comme nous le supposons ici, la taxe sur les profits est neutre. On vérifie en effet de (32) que la dynamique est indépendante de la taxe, de sorte que $dq/dt = dq^*/dt$ pour tout $t \in [0,T]$ et les deux sentiers se confondent.

3.5 *La taxe sur la propriété*

Les assiettes fiscales des formes de taxation étudiées jusqu'à maintenant étaient toutes indépendantes du stock de la ressource en terre, de sorte que nous pouvions poser $\partial Z/\partial S \equiv 0$. Supposons maintenant plutôt $\partial Z/\partial S > 0$. Pour être plus précis, supposons:

$$Z(\ldots) = \rho f(S), f'(S) > 0,$$

où $\rho > 0$ est le taux constant de taxe. De façon générale, il s'agit donc d'une forme de taxe sur la propriété de la ressource en terre, une taxe dont le montant payé décroît au fur et à mesure que les réserves diminuent. En particulier, si $f(S)$ était égale à la valeur présente des flux de profits tirés de l'extraction du stock S de réserves, il s'agirait d'une taxe sur la valeur de la ressource en terre.

Les conditions terminales (26) et (27) s'écrivent alors:

$$\frac{\partial C(q(T),S(T))}{\partial q} = \frac{C(q(T),S(T))}{q(T)} + \frac{\rho f(S)}{q(T)} \tag{40}$$

et

$$P(q(T)) = \frac{C(q(T),S(T))}{q(T)} + \frac{\rho f(S)}{q(T)}\ , \tag{41}$$

avec pour résultat que la courbe CC se trouvera au-dessus de C^*C^* et la courbe PP à droite de P^*P^*, ainsi que l'illustre la Figure 6. La quantité totale de la ressource extraite sera plus faible après taxe qu'avant taxe, puisque $S(T) > S^*(T^*)$.

Quant à l'équation (32), elle devient:

$$\frac{dq}{dt} = \frac{r\left[P(q) - \dfrac{\partial C}{\partial q}\right] + \dfrac{\partial C}{\partial S} - \dfrac{\partial^2 C}{\partial q \partial S}q}{P'(q) - \dfrac{\partial^2 C}{\partial q^2}} + \frac{\rho f'(S)}{P'(q) - \dfrac{\partial^2 C}{\partial q^2}}\ . \tag{42}$$

Le second terme étant toujours négatif, on ne peut pas exclure la possibilité que les sentiers avant taxe et après taxe se croisent dans l'espace (q,S). En comparant (42) et (33), on se rend compte qu'à tout point de croisement, le sentier DF devrait couper le sentier D^*F^* par le haut puisque $dq/dt < dq^*/dt$ implique $dq/dS > dq^*/dS$. Il ne pourrait donc y avoir qu'un seul point de croisement. Mais ceci signifie qu'au point terminal après taxe on aurait $q^* > q(T)$, où q^* est le taux d'extraction optimal en l'absence de taxe quand le stock de la ressource est donné par $S(T)$. Or le coût marginal d'extraction étant croissant à F, ceci implique, de par (28) et (21), $P(q(T)) = \partial C(q(T),S(T))/\partial q < \partial C(q^*,S(T))/\partial q = P(q^*) - \lambda^*$ et donc $P(q(T)) < P(q^*)$, puisque λ^* est nécessairement positif. Mais il s'agit là d'une impossibilité, puisque $P'(q) < 0$. On aura forcément la même contradiction si on suppose que DF est partout au-dessous de D^*F^*. Donc le sentier d'extraction après taxe sera partout au-dessus du sentier d'extraction avant taxe, comme à la Figure 6, ce qui nous permet de conclure que l'extraction d'un stock donné de la ressource se fera plus rapidement en présence d'une taxe sur la propriété. Étant donné qu'en plus la quantité de réserve laissée en terre sera plus grande, il faudra que T soit plus petit que T^*.

4. L'IMPÔT SUR LE REVENU DES SOCIÉTÉS

Les entreprises minières constituées en société sont généralement assujetties à un impôt qui frappe toutes les sociétés, peu importe leur secteur d'activité. Le calcul de l'assiette de cette taxe peut être relativement complexe, en bonne partie puisqu'il nécessite que l'on impute un coût aux actifs physiques utilisés comme intrant et dont l'entreprise est propriétaire.

Ni l'une ni l'autre des taxes que nous avons étudiées dans les sections précédentes ne rend bien la nature de l'impôt sur le revenu des sociétés. Cette forme de taxation est de plus très importante en terme de rendement fiscal dans beaucoup de pays,tant pour les sociétés minières que non minières. Elle mérite donc qu'on lui accorde un traitement séparé, comme on le fait d'ailleurs habituellement pour les entreprises non minières. C'est le but de cette section.

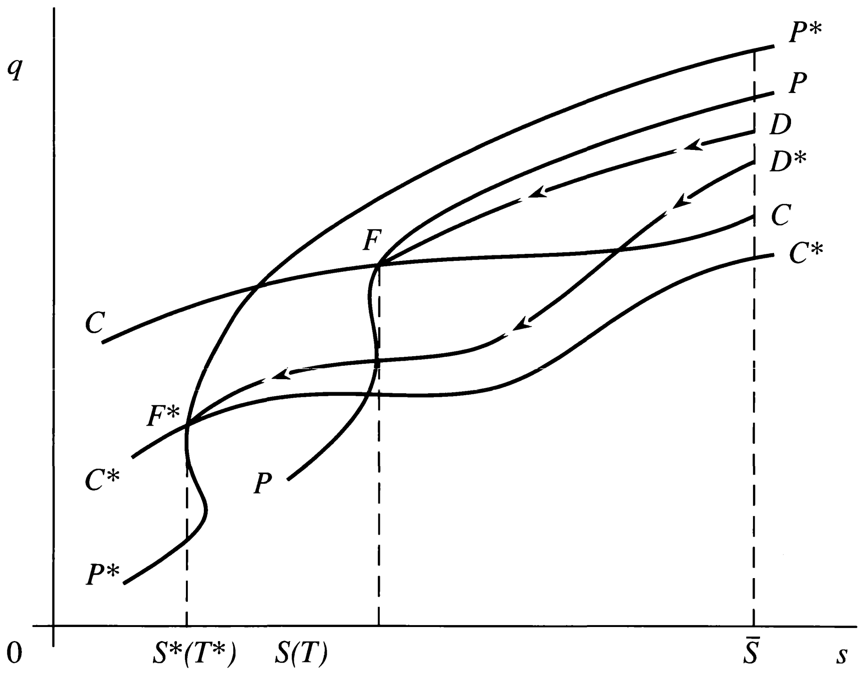
Contrairement à la section précédente, nous ignorerons ici l'effet de stock, pour simplifier[8]. De plus, contrairement à ce que nous avions fait à la section 2, nous ne nous arrêterons qu'au cas, sans doute le plus typique, où tous les paramètres fiscaux sont constants. En revanche, nous admettrons la possibilité que le stock initial puisse être endogène, pour refléter le fait que l'entreprise a aussi à prendre une décision quant à la quantité de réserves qu'elle va acquérir initialement pour fin d'exploitation,à un coût qui représente ou bien le coût de découverte, ou bien le coût d'achat.

Les principaux paramètres de l'impôt sur le revenu des sociétés s'appliquent à toutes les sociétés, qu'elles exploitent ou non une ressource non renouvelable. Nous simplifions la réalité en ne retenant que le taux proportionnel d'imposition, μ, et le taux d'amortissement du capital pour fin fiscale, θ. Nous supposons de plus qu'une

8. L'analyse peut sans trop de difficulté être refaite en y incorporant l'effet de stock.

FIGURE 6

LA TAXE SPÉCIFIQUE OU LA TAXE *AD VALOREM* AVEC EFFET DE STOCK



fraction ξ des recettes brutes peut être déduite en guise de provision pour épuisement de la ressource. Il s'agit là de la principale disposition de la loi qui ne s'applique qu'aux entreprises minières et de sa formulation la plus répandue.

Comme la présence de facteurs variables dans le processus d'extraction n'ajouterait rien à l'analyse, nous supposons que le seul facteur employé est le capital, dont le stock à la date t est dénoté $K(t)$. Une quantité $F(K(t))$ est ainsi extraite à chaque date t, avec $F'(K) > 0$ et $F''(K)$ négative au-delà d'un certain niveau de capital (qui pourrait être zéro), mais éventuellement positive en deçà de ce niveau.

Le taux d'investissement est $I(t)$ et le prix du marché d'une unité du bien d'investissement est $v(t)$. Le stock de capital est supposé se déprécier au taux constant δ. Nous dénotons $\hat{K}(t)$ la *valeur* du capital accumulé pour fin fiscale, dont une fraction θ est déductible à chaque t[9]. Le montant prélevé en taxe est donc:

$$Z(K(t), \hat{K}(t), p(t)] = \mu[pF(K) - \theta\hat{K} - \xi pF(K)]$$

et le problème qui se pose à l'entreprise s'exprime maintenant:

$$\max_{\{I(t)\},T} \int_0^T e^{-rt}[p(t)F(K(t) - v(t)I(t) - Z(K(t), \hat{K}(t), p(t)]dt$$
$$+ e^{-rt}V(K(T), \hat{K}(T); v(T)) - \pi(0)S(0) \tag{43}$$

sous contraintes:

$$\frac{dK}{dt} = I - \delta K, \quad K(0) = K_0 \ , \tag{44}$$

$$\frac{d\hat{K}}{dt} = vI - \theta\hat{K}, \quad \hat{K}(0) = \hat{K}_0, \tag{45}$$

$$\frac{dS}{dt} = -F(K), \quad S(T) = 0 \ , \tag{46}$$

où $\pi(0)$ est le coût d'acquisition d'une unité de réserves à $t = 0$ et $V(\ldots)$ est la valeur qui peut être récupérée une fois la mine épuisée, donnée par:

$$V(K(T), \hat{K}(T); v(T)) = v(T)K(T) + \mu z[\hat{K}(T) - v(T)K(T)] \ , \tag{47}$$

avec $z = \theta/(r + \theta)$, soit la valeur présente de l'amortissement résultant d'une unité de $\hat{K}$ pouvant être amorti indéfiniment au taux θ. On fait ici l'hypothèse qu'après l'épuisement du gisement, on peut continuer à amortir au même taux contre des revenus d'autres sources, ce qui est très souvent le cas. $V(\cdots)$ est donc la valeur de revente du stock de capital terminal, corrigée pour la valeur des impôts que permet d'épargner le fait de pouvoir amortir indéfiniment au taux θ la valeur non encore amortie de ce même stock. On remarque que cette correction pourra être négative

9. Règle générale, la loi de l'impôt va distinguer plusieurs classes de capital et associer un taux d'amortissement distinct à chacune d'elle. Nous faisons l'hypothèse ici qu'il y a qu'une seule classe de capital.

ou positive, selon que l'amortissement pour fin fiscale aura excédé ou non la dépréciation réelle du capital, qui se fait au taux δ[10].

Le hamiltonien associé à ce problème s'écrit:

$$H = e^{-rt}\{pF(K) - vI - \mu[pF(K) - \theta\hat{K} - \xi pF(K)]\}$$
$$+\psi[I - \delta K] + \eta[vI - \theta\hat{K}] - \lambda F(K) \ . \qquad (48)$$

La variable auxiliaire $\lambda(t)$ représente toujours la valeur présente d'une unité de la ressource en terre, comme aux sections précédentes. Les nouvelles variables auxiliaires ψ et η sont les prix fictifs, en valeur présente, attribués respectivement à une unité de capital physique, K, et à une unité de capital comptable non amorti, $\hat{K}$.

Comme le hamiltonien est une fonction linéaire du taux d'investissement I, lequel n'est pas borné, la solution singulière suivante devra être satisfaite:

$$e^{-rt}v - \eta v = \psi, \forall t \in [0,T] \ . \qquad (49)$$

Le programme optimal d'investissement consiste donc à s'ajuster instantanément, dès la période initiale, au niveau de stock de capital qui satisfait l'équation (49) et à faire en sorte qu'elle demeure satisfaite à chaque instant par après.

On aura comme conditions nécessaires additionnelles les contraintes (44), (45) et (46), les trois règles d'arbitrage intertemporel suivantes:

$$\frac{d\psi}{dt} = \delta\psi - [1 - (1 - \xi)\mu - e^{rt}\lambda / p]e^{-rt}pF'(K), \qquad (50)$$

$$\frac{d\eta}{dt} = [\eta - e^{-rt}\mu]\theta, \qquad (51)$$

$$\frac{d\lambda}{dt} = 0, \qquad (52)$$

ainsi que les conditions de transversalité:

$$\lambda(0) = \pi(0), \qquad (53)$$

$$e^{-rt}\psi(T) = (1 - \mu z)v(T), \qquad (54)$$

$$e^{rt}\eta(T) = \mu z, \qquad (55)$$

$$e^{rt}H(\cdots)|T - rV(\cdots) - (1 - \mu z)\frac{dv(T)}{dt}K(T) = 0 \ . \qquad (56)$$

La condition (53) est requise quand le stock initial $S(0)$ est laissé libre. Elle est remplacée par $S(0) = \bar{S}$, comme aux sections précédentes, si l'on suppose que le stock initial est donné.

10. On notera que l'hypothèse que le capital est parfaitement malléable et les décisions d'investissement parfaitement réversibles est importante ici. Autrement, $K(T)$ ne pourra pas être évalué au prix du marché, $v(T)$. Il s'agit d'une hypothèse qui pourrait être relâchée sans trop de difficulté.

La condition (51) est une équation différentielle de premier ordre,qui a pour solution générale:

$$\eta(t) = e^{-rt}\mu z + [e^{r(T-t)}\eta(T) - e^{-rt}\mu z]e^{-(r+\theta)(T-t)}. \tag{57}$$

La solution spécifique, qui satisfait en plus la condition de transversalité (55), est donc:

$$\eta(t) = \mu z e^{-rt}. \tag{58}$$

Si on substitue pour cette valeur de η dans la condition (49), celle-ci devient:

$$(1-\mu z)ve^{-rt} = \psi, \forall t \in [0,T]. \tag{59}$$

En différenciant les deux côtés de cette équation par rapport t et en substituant de (50), on montre que (59) implique:

$$F'(K) = \frac{c}{p}\frac{1-\mu z}{1-(1-\xi)\mu - \Lambda / p}, \forall t \in [0,T], \tag{60}$$

où

$$c = (r + \delta - (dv/dt)/v)v$$

est le loyer implicite du capital en l'absence d'impôt pour l'entreprise traditionnelle, c'est-à-dire l'entreprise n'exploitant pas une ressource non renouvelable et où $\Lambda = e^{rt}\lambda$ est la valeur courante d'une unité de la ressource en terre, λ étant sa valeur actualisée. Le membre droit de l'équation (60) représente le loyer implicite du capital après impôt pour l'entreprise minière[11]. Le programme d'investissement optimal consiste donc à acquérir instantanément dès $t = 0$ le stock de capital qui égalise la productivité marginale du capital au loyer implicite du capital après impôt et à faire varier le stock de capital de sorte à maintenir cette égalité par après.

Comme (60) doit être satisfaite à tout $t \in [0,T]$, incluant à $t = T$, on constate, après y avoir fait les substitutions appropriées à partir de (54), (55) et (60), que la condition terminale (56) se réduit à:

$$\frac{F(K(T))}{K(T)} = F'(K(T)).$$

La productivité moyenne du capital doit donc être égale à sa productivité marginale en période terminale, ce qui implique que la productivité moyenne est maximale. Ceci n'est q u'une autre manière d'exprimer la condition terminale habituelle qui veut qu'en concurrence parfaite, le coût moyen d'extraction doit être minimisé en période terminale. En effet, le capital étant le seul facteur utilisé dans le processus d'extraction, l'égalité de sa productivité moyenne et de sa productivité marginale implique l'égalité du coût moyen et du coût marginal.

11. La condition équivalente pour l'entreprise traditionnelle s'obtient directement de (60) en posant $\Lambda = 0$ et $\xi = 0$.

Il ressort de cette dernière condition que le stock de capital terminal, $K(T)$, et donc le taux d'extraction terminal, $F(K(T))$, seront les mêmes avant et après taxe, puisque les paramètres fiscaux n'y apparaissent pas. Il ne faut bien sûr pas conclure pour autant que l'impôt sur le revenu des sociétés n'a pas d'effet sur le reste du sentier d'extraction. Nous sommes maintenant en mesure d'en étudier l'effet, en commençant par le cas où le stock initial de la ressource est donné, comme aux sections précédentes. Nous généraliserons ensuite au cas où le stock initial est endogène. Dans les deux cas, nous continuons de supposer les entreprises identiques, de sorte que nous pouvons considérer K et $F(K)$ comme des agrégats du marché et substituer la fonction de demande inverse $p = P(F(K))$ en (60). Nous permettons ainsi au prix de varier le long de la courbe de demande de marché, comme nous l'avons fait jusqu'à maintenant.

4.1 *Cas du stock initial donné*

Si on différencie les deux côtés de l'équation (60) par rapport à t, ayant tenu compte que (52) implique $d\Lambda/dt = r\Lambda$ et que l'expression pour Λ peut être tirée de (60), on obtient[12]:

$$\frac{dK}{dt} = \frac{dK^*}{dt} + \frac{r\mu[z + \xi - 1][P'F'^2 + PF'']}{DD^*}, \tag{61}$$

où

$$D = [1 - (1 - \xi)\mu]P'F'^2 + (1 - \mu z)cF''/F' < 0 ,$$

$$D^* = P'F'^2 + cF''/F' < 0$$

et

$$\frac{dK^*}{dt} = \frac{r[PF' - c]}{D^*}. \tag{62}$$

L'astérisque réfère toujours au sentier optimal en l'absence de taxe. On vérifie facilement que dK/dt et dK^*/dt sont négatifs[13]. Les sentiers d'extraction après et avant taxe auront également tous les deux une pente négative, puisque $dq/dt = F'(K)(dK/dt)$ et $F' > 0$. Puisque la taxe laisse inchangée le stock de capital terminal et donc le taux d'extraction terminal, si les réserves initiales sont données les stocks de capital avant taxe et après taxe ne pourront être différents à chaque date sans qu'au moins un des deux sentiers viole la condition initiale. Les deux sentiers du stock de capital devront donc se couper au moins une fois, sinon se confondre.

Supposons donc un point de croisement à τ, de sorte que $K(\tau) = K^*(\tau)$. Il s'ensuit de (61) qu'à τ:

$$\frac{dK}{dt} \gtreqless \frac{dK^*}{dt} \Leftrightarrow \xi \gtreqless 1 - z. \tag{63}$$

---

12. Nous supposons c constant, pour simplifier.

13. Dans le cas de dK/dt, ceci se voit plus directement si on note que (61) peut également s'écrire $dK/dt = r\Lambda F'/D$ et que $\Lambda > 0$, $F' > 0$ et $D < 0$.

Trois cas sont possibles. Si $\xi < 1 - z$, ce qui inclut le cas où aucune provision pour épuisement n'est permise ($\xi = 0$), alors $dK/dt > dK^*/dt$ au point de croisement et les sentiers vont se couper une seule fois, le sentier $\{K(t)\}$ coupant le sentier $\{K^*(t)\}$ par le bas. Puisque $K(T) = K^*(T^*)$, on aura nécessairement $T > T^*$. L'impôt sur le revenu des sociétés prolonge alors la vie de la mine. Si par contre $\xi > 1 - z$, l'inverse sera vrai, par le même raisonnement. Manifestement, toutes choses égales par ailleurs, plus généreuse est la provision pour épuisement, plus rapidement se fait l'épuisement du stock donné de la ressource. Également l'épuisement pourra être plus rapide ou moins rapide qu'en l'absence de taxe, selon que le taux de provision pour épuisement est plus ou moins grand. La structure fiscale peut même être conçue de sorte à laisser inchangé le sentier d'extraction si on fixe $\xi = 1 - z$. Dans ce cas, les sentiers avant taxe et après taxe ne peuvent faire autrement que se confondre si le stock initial est donné[14].

On comprend pourquoi fixer $\xi = 1 - z$ laisse inchangé le sentier d'extraction si on substitue pour cette valeur de ξ dans (60) et que l'on résout pour Λ. On trouve alors:

$$\Lambda = (1 - (1 - \xi)\mu)\Lambda^*,$$

où $\Lambda^* = p - (c/F')$ est la rente marginale sur la ressource en l'absence de taxe. La rente après taxe étant strictement proportionnelle à la rente avant taxe, l'entreprise n'est pas incitée à modifier son comportement. L'impôt sur le revenu des sociétés ne fait donc que récupérer au profit du fisc une partie de la rente de ressource. Ce ne sera plus le cas si $\xi \neq 1 - z$, la taxe créant une perte sèche qui dissipe une partie de la rente.

4.2 *Cas du stock initial libre*

L'hypothèse que les réserves initiales sont données de façon exogène est cruciale pour le résultat qui précède. On peut montrer que si $S(0)$ est endogène, l'impôt sur le revenu des sociétés ne pourra jamais être neutre, peu importe le choix des paramètres fiscaux.

Le stock initial sera alors choisi pour satisfaire la condition de transversalité (53). $S(0)$ doit être réduit si $\Lambda(0) < \pi(0)$ et augmenté si $\Lambda(0) > \pi(0)$[15]. Soit $S^*(0)$ le stock initial choisi en l'absence de taxe. Donc $\Lambda^*(0) = \pi(0)$ et $S(0)$ sera plus petit, plus grand ou égal à $S^*(0)$ selon que $\Lambda(0) - \Lambda^*(0)$ est négatif, positif ou nul. Mais puisque $K(T) = K^*(T^*)$, comme nous l'avons démontré plus haut, et que (52) implique que $\Lambda(0) = e^{-rT}\Lambda(T)$, on obtient, en résolvant (60) pour $\Lambda(T)$:

$$\Lambda(0) - \Lambda^*(0) = \left\{[1 - (1 - \xi)\mu - e^{-r(T^*-T)}]\Lambda^*(T^*) + \mu[z + \xi - 1]\frac{c}{F'(K(T))}\right\}e^{-rT},$$

14. Le raisonnement est le même qu'en section 2.

15. Ceci découle de la concavité de la valeur optimale du plan d'extraction par rapport au stock initial.

Si $\xi < 1 - z$, on sait que $T > T^*$ lorsque $S(0) = S^*(0)$. Mais dans ce cas $\Lambda(0) - \Lambda^*(0)$ est négatif. Donc $S(0) < S^*(0)$ si $\xi < 1 - z$. De même si $\xi = 1 - z$, nous avons montré que $T = T^*$ lorsque $S(0) = S^*(0)$. Mais encore une fois, $\Lambda(0) - \Lambda^*(0)$ serait alors négatif, ce qui implique que l'on doit avoir $S(0) < S^*(0)$. Donc si $\xi \leq 1 - z$, l'impôt sur le revenu va inciter à réduire les réserves initiales à exploiter. Le sentier d'extraction après impôt pourra être soit partout en dessous du sentier avant taxe ou pourra le couper par le bas. L'effet sur la date terminale reste ambigu. Il est intéressant de noter que si $\xi = 1 - z$, il reste vrai que la rente après impôt est strictement proportionnelle à la rente avant impôt. Mais le fait que l'impôt réduise la valeur présente de la rente va causer une distorsion dans le sentier d'extraction, puisque cela entraîne une réduction du stock initial de ressource.

Reste la possibilité de $\xi > 1 - z$. Dans ce cas, l'effet sur les réserves initiales est indéterminé. Si la provision pour épuisement est suffisamment importante, on pourra constater que $\Lambda(0) > \Lambda^*(0)$, c'est-à-dire que la valeur présente de la rente après taxe excède la valeur présente de la rente avant taxe. Il s'agit alors, relativement parlant, d'un subside à l'investissement initial en réserves de la ressource, avec le résultat que le stock initial sera plus grand en présence de l'impôt sur le revenu des sociétés qu'en son absence. Il serait bien sûr possible de choisir ξ pour avoir $S(0) = S^*(0)$. Il ne faudrait cependant pas conclure pour autant que le sentier d'extraction ne sera pas influencé par la taxe. En effet, nous avons déjà démontré plus haut qu'avec $S(0) = S^*(0)$, si $\xi > 1 - z$ alors $T < T^*$. Donc si le stock initial de la ressource est libre, il n'existe pas de valeur de ξ qui laissera inchangé le sentier d'extraction.

4.3 *Effets intersectoriels*

Jusqu'à maintenant, nous ne nous sommes préoccupés que de l'effet des diverses formes de taxation sur le sentier d'extraction. Mais dans la mesure où une taxe ne s'applique pas seulement à l'industrie minière, comme c'est le cas de l'impôt sur le revenu des sociétés, il ne suffira pas de savoir qu'elle ne modifie pas le sentier d'extraction pour conclure qu'elle est neutre: encore faut-il qu'elle ne cause pas de distorsion dans l'affectation des ressources ailleurs dans l'économie. Pour prendre un exemple, nous avons vu que si le stock initial de la ressource était fixe, le sentier d'extraction resterait inchangé si on fixait $\xi = 1 - z$. Mais puisque $z = \theta/(r + \theta) < 1$, une telle taxe ne serait pas neutre si elle touche les autres secteurs de l'économie[16]. En effet, elle augmenterait le loyer implicite du capital pour ces autres secteurs, comme on peut le voir en posant $\Lambda = \xi = 0$ à l'équation (60), ce qui donne:

$$F'(K) = \frac{c}{p}\frac{1-\mu z}{1-\mu} . \tag{64}$$

Le loyer du capital des secteurs non miniers relatif à celui du secteur minier sera donc plus grand avec taxe que sans taxe, avec comme résultat que l'affectation intersectorielle du capital ne sera pas la même.

16. Avec un amortissement exponentiel, z sera toujours inférieur à un. Permettre un amortissement immédiat à cent pour cent de l'investissement équivaudrait à poser $z = 1$.

Qu'en est-il du cas général? Le loyer relatif du capital après impôt est donné par le rapport du côté droit de l'équation (64) à celui de l'équation (60). Le loyer relatif du capital avant taxe est obtenu de la même manière, en posant égal à zéro tous les paramètres fiscaux et en remplaçant Λ par Λ^*. Donc si l'impôt sur le revenu des sociétés doit laisser inchangé le loyer relatif du capital, il faudra que l'égalité suivante soit satisfaite[17]:

$$\left[\frac{1-\mu z}{1-\mu}\right] / \left[\frac{1-\mu z}{1-(1-\xi)\mu - \Lambda / p}\right] = 1 / \left[\frac{1}{1-\Lambda^* / p}\right]. \tag{65}$$

De (53) on sait que si $S(0)$ est libre, $\lambda(0) = \lambda^*(0) = \pi(0)$, de sorte que la condition (52) implique $\lambda(t) = \lambda^*(t) = \pi(0)$. Donc $\Lambda(t) = \Lambda^*(t) = e^{rt}\,\pi(0)$ et (65) implique:

$$\xi = \Lambda(t) / p(t) = e^{rt}\pi(0) / p(t). \tag{66}$$

Si $\xi > e^{rt}\pi(0)/p(t)$, le capital dans le secteur minier sera relativement favorisé et inversement si $\xi < e^{rt}\pi(0)/p(t)$. On se rappellera que $\pi(0)$ est la valeur du marché d'une unité de la ressource en terre à $t = 0$. Si la valeur en terre de la ressource croît au taux d'intérêt,comme le prévoit l'équilibre du marché de la ressource, on peut écrire (66):

$$\xi = \pi(t) / p(t).$$

Pour éviter les distorsions intersectorielles dans le loyer implicite du capital,la loi de l'impôt sur le revenu des sociétés devrait donc prévoir une provision pour épuisement égale à la part du coût d'acquisition courant d'une unité de réserves dans le prix de la ressource extraite[18].

Ce critère justifie sans doute mieux la provision pour épuisement dans l'impôt sur le revenu des sociétés que celui de maintenir le même sentier d'extraction. On peut vérifier en fait que les deux objectifs seront généralement incompatibles. Car si on fixe $\xi = e^{rt}\pi(0)/p(t) = \Lambda(t)/p(t)$, on obtient, en différenciant (60) par rapport à t:

$$\frac{dK}{dt} = \frac{dK^*}{dt} + \frac{r(1-z)\mu[P'F'^2 + PF'']}{DD^*},$$

où maintenant:

$$D = (1-\mu)P'F'^2 + (1-\mu z)cF''/F' < 0.$$

Puisque $z < 1$, le sentier avant taxe et celui après taxe ne seront pas les mêmes. L'impôt rapproche alors la date d'épuisement *d'un stock initial donné* de la ressource et on peut appliquer l'analyse faite plus haut pour conclure que le stock initial effectivement choisi sera plus faible qu'en l'absence de taxe.

---

17. Le taux effectif de taxation du revenu du capital résultant de l'impôt sur le revenu des sociétés sera alors le même dans les deux secteurs. Voir à ce sujet Gaudet et Lasserre (1986a et 1986b).

18. C'est l'idée sous-jacente à la formule de provision pour épuisement en vigueur aux États-Unis, par exemple (voir Gaudet et Lasserre (1986a)).

5. CONCLUSION

Étant donné que beaucoup d'aspects et de contributions y ont été négligés, ce texte ne constitue pas à proprement parler un survol de la littérature sur la taxation des ressources naturelles non renouvelables. Nous avons voulu plutôt y présenter une synthèse de certains travaux sur le sujet qui ont en commun une même méthodologie. Le but en a été de faire ressortir certaines spécificités de l'analyse des effets de la taxation quand l'activité qui donne lieu à la taxe est l'exploitation d'une ressource naturelle non renouvelable.

La méthologie en question est celle de la dynamique comparée, appliquée ici à une industrie supposée en équilibre concurrentiel. Les paramètres fiscaux y ont été traités comme des données exogènes plutôt que comme des variables de décision, comme cela aurait été le cas si nous avions voulu traiter de taxation optimale. Notre analyse à permis de montrer qu'à cause de la contrainte qu'impose le stock fixe de ressource sur la production cumulée et à cause de l'effet de stock sur les coûts d'extraction, l'impact des diverses formes de taxes étudiées diffère de ce que l'on rencontre dans un cadre statique traditionnel. L'introduction du capital comme intrant dans le processus d'extraction a permis de montrer que les résultats vont différer également de ceux du cadre d'analyse dynamique traditionnel. Ce sont là des raisons qui justifient que la fiscalité des ressources non renouvelables bénéficie généralement d'un traitement distinct dans l'analyse des effets de la taxation.

BIBLIOGRAPHIE

BURNESS, H.S. (1976), «The Taxation of Nonreplenishable Natural Resources», *Journal of Environmental Economics and Management,* 3, 289-311.

CONRAD, R.F., and HOOL, B. (1980), *Taxation of Mineral Resources,* Lexington, Mass.: Lexington Books.

CONRAD, R.F. and HOOL, B. (1981), «Resource Taxation with Heterogeneous Quality and Endogeneous Reserves», *Journal of Public Economics,* 16, 17-33.

DASGUPTA, P.S., HEAL, G.M. (1979), *Economic Theory and Exhaustible Resources,* New York: James Nisbet and Co. Ltd and Cambridge University Press.

DASGUPTA, P.S., HEAL, G.M. and Stiglitz, J.E. (1980), «The Taxation of Exhaustible Resources», in *Public Policy and the Tax System,* ed. G.A. HUGHES and G.M. HEAL, London: George Allen and Unwin.

GAUDET, G. et LASSERRE, P. (1984), «L'impôt sur le revenu des sociétés et le coût du capital pour l'entreprise minière», *Canadian Journal of Economics,* 17, 778-789.

GAUDET, G. et LASSERRE, P. (1986a), «Capital Income Taxation, Depletion Allowances and Nonrenewable Resource Extraction», *Journal of Public Economics,* 29, 241-253.

GAUDET, G. et LASSERRE, P. (1986b), «Taxation du revenu du capital, provision pour épuisement et exploitation optimale d'une ressource non renouvelable», *in Ressources naturelles et théorie économique,* éd. G. GAUDET et P. LASSERRE. Québec: Presses de l'Université Laval.

HEAPS, T. (1985), «The Taxation of Nonreplenishable Natural Resources Revisited», *Journal of Environmental Economics and Management,* 12, 14-27.

HEAPS, T. and HELLIWELL, J.F. (1984), «The Taxation of Natural Resources», in *Public Economics,* ed A. AUERBACH and M. FELDSTEIN. Amsterdam: North Holland.