

Les ressources non renouvelables : le côté offre

Non Renewable Resources: The Supply Side

Robert D. Cairns

Volume 66, Number 4, décembre 1990

Symposium en économie des ressources naturelles

URI: <https://id.erudit.org/iderudit/601548ar>

DOI: <https://doi.org/10.7202/601548ar>

[See table of contents](#)

Publisher(s)

HEC Montréal

ISSN

0001-771X (print)

1710-3991 (digital)

[Explore this journal](#)

Cite this article

Cairns, R. D. (1990). Les ressources non renouvelables : le côté offre. *L'Actualité économique*, 66(4), 444–460. <https://doi.org/10.7202/601548ar>

Article abstract

An intellectual malaise afflicts that branch of the economics of natural resources which attempts to relate the exhaustion of global stocks to aggregate consumption, namely the *demand side*. Here, the stylized facts of the discipline are reviewed and shown to be more consistent with constraints originating on the supply side. The heterogeneity of reserves seems more relevant than exhaustibility; aggregation biases make the forecasting of prices futile; investment plays an important role; and policy should pay greater attention to asymmetries of informations.

LES RESSOURCES NON RENOUVELABLES: LE CÔTÉ OFFRE*

Robert D. CAIRNS
Département d'économie
Université McGill;
CRDE
Université de Montréal

RÉSUMÉ — Il y a un malaise intellectuel qui afflige le côté «demande» en économie des ressources non renouvelables, c'est-à-dire la branche qui vise à relier l'épuisement des stocks globaux à la consommation agrégée. On passe ici en revue les «faits stylisés» de la discipline, lesquels apparaissent plus cohérents avec les contraintes imposées par le côté «offre». On note que l'hétérogénéité des réserves est plus pertinente aux faits que leur épuisabilité; que l'existence de biais d'agrégation rend futile la prédiction des prix; que l'investissement joue un rôle important; et que la politique économique devrait être plus attentive aux asymétries d'information.

ABSTRACT — *Non Renewable Resources: The Supply Side.* An intellectual malaise afflicts that branch of the economics of natural resources which attempts to relate the exhaustion of global stocks to aggregate consumption, namely the *demand side*. Here, the stylized facts of the discipline are reviewed and shown to be more consistent with constraints originating on the *supply side*. The heterogeneity of reserves seems more relevant than exhaustibility; aggregation biases make the forecasting of prices futile; investment plays an important role; and policy should pay greater attention to asymmetries of informations.

1. INTRODUCTION: LE CÔTÉ OFFRE ET LE CÔTÉ DEMANDE

Je me réjouis de pouvoir aborder les développements survenus depuis la récession de 1982 en économie des ressources non renouvelables. Ce qui frappe le plus, peut-être, c'est la diminution importante du nombre d'articles sur les ressources non renouvelables publiés dans les grandes revues d'intérêt général de la profession. Par comparaison au nombre de parutions des années antérieures, on n'en trouve plus beaucoup.

Ceux qui s'intéressent aux ressources naturelles et qui vivent dans une économie où les ressources jouent un rôle important doivent-ils s'inquiéter d'une telle baisse? Northrop Frye nous rappelle quelque part que la perception de la proximité et de la puissance de la «frontière»¹ jouent un rôle tout à fait prépondérant dans la littérature

* Je remercie Gérard Gaudet pour ses commentaires précis, de même que le Fonds FCAR et le CRSH pour leur aide financière.

1. En Amérique anglophone, ce terme désigne la limite des terres explorées.

et l'histoire canadiennes. En 1929, Harold Innis écrivit qu'il devrait exister en économique un domaine spécifique aux problèmes particuliers des régions nouvelles qui dépendent de l'exploitation des ressources naturelles. S'il est une époque où la science économique a répondu à l'invitation d'Innis, c'est bien celle des années 1975-81, qui a vu éclore toute une floraison d'études sur les ressources naturelles.

Mais que s'est-il passé au juste? Y a-t-il maintenant moins d'articles portant sur les industries de ressources naturelles que sur d'autres industries importantes, comme celles des transports, des communications, etc.? Pas du tout, beaucoup d'articles continuent d'être publiés sur les industries de ressources, mais, bien sûr, dans les revues spécialisées. Car, si ces industries contribuent en général à l'économie moderne, elles continuent de présenter des problèmes spécifiques et intéressants.

La littérature en économie des ressources non renouvelables comprend au moins deux embranchements. La distinction me frappa pour la première fois au moment où je lus l'article de Devarajan et Fisher publié en 1981 à l'occasion du jubilé d'or du célèbre article de Harold Hotelling, que la plupart des économistes reconnaissent comme le coup d'envoi de la théorie moderne des ressources naturelles.

L'article de Devarajan et Fisher ignore l'attention considérable que la recherche antérieure avait accordée aux problèmes relatifs à ce que j'appelle le *côté offre*. Les deux auteurs négligèrent l'existence d'une littérature importante et remarquable en théorie de la mine et du puits de pétrole. Cette littérature traitait de questions capitales pour les producteurs et les régions productrices, telles le rythme d'extraction, les effets de la taxation et des autres interventions de l'État sur ce taux d'extraction, l'investissement, les traits physiques et économiques des gisements, la taille des entreprises, etc. Philippe Crabbé rendit par la suite (1983) un grand service à la discipline en attirant de nouveau l'attention sur la tradition scientifique de l'offre, dont le vrai parrain fut Lewis Gray (1914).

La littérature portant sur l'offre continue à se développer de manière très raffinée et à progresser rapidement dans les revues spécialisées. Mais le premier embranchement, que j'appelle le *côté demande*, a perdu de l'importance depuis 1982. Je me sers ici de la notion du côté demande pour désigner l'étude des problèmes des demandeurs de ressources, laquelle prit son essor surtout après le renchérissement du pétrole décrété par l'OPEP en 1973. Du point de vue des techniques employées, cette sorte d'étude avait un caractère microéconomique. Mais les problèmes qu'on cherchait à résoudre étaient plutôt, par essence, d'ordre macroéconomique: le niveau de la consommation globale, le niveau et l'évolution des prix qui la déterminent, l'évolution des coûts globaux qui, à leur tour, influent sur les prix, etc. Dans leur survol de 1977, Peterson et Fisher identifièrent les sept ou huit questions majeures qui motivaient l'approche. Les problèmes de production étaient abordés du point de vue de la structure du marché et non de celui de la firme. Le détail et les bases microéconomiques étaient négligés.

Pourquoi le point de vue de la demande a-t-il connu un déclin? Sans aucun doute en raison de la chute du prix mondial du pétrole. La même raison qui avait poussé le gouvernement fédéral à déréglementer le prix de l'énergie, soit la fin de la menace au surplus des consommateurs, entraîna les spécialistes de la demande vers d'autres questions. Mais il y a plus, je crois. L'approche de la demande me paraît affligée par un malaise intellectuel. Elle fait face à un problème fondamental qui peut mieux se comprendre dans le contexte de la règle du «r pour cent» de Hotelling. Les modèles à la Hotelling cherchent à expliquer l'évolution du prix d'une ressource non renouvelable. Mais, dans des cas concrets, il faut imposer tout un éventail de modifications aux hypothèses de base avant d'obtenir une telle explication. Pour certaines raisons que je présenterai plus bas, les modifications en question sont toutefois insatisfaisantes et ne font que mettre en relief des aspects qui relèvent du côté offre.

L'étude des ressources non renouvelables a pour but de résumer les données de l'expérience par une série de «faits stylisés» d'une manière à la fois intéressante et subtile, puis d'appliquer la méthode économique à la résolution des questions qu'ils posent. Or, les faits stylisés sont présentement en pleine phase de redéfinition, et ce sont les problèmes de coût et de gestion des ressources par l'industrie, plutôt que celui de la demande globale, qui soulèvent aujourd'hui les questions les plus intéressantes et les plus profondes.

2. LES PROBLÈMES

Commençons par une analyse informelle. Tel que modifié par les théoriciens de l'économie des ressources, le modèle de Hotelling prédit que le prix des ressources non renouvelables ira croissant. Dans les modèles les plus simples, le rythme de croissance du prix est égal au taux d'intérêt de l'économie. Mais, déjà en 1963, soit dix ans avant la première hausse de prix décidée par l'OPEP, Barnett et Morse étudièrent l'histoire des prix de plusieurs ressources sur le marché américain et trouvèrent que, depuis le début du XX^e siècle et même avant, le prix des produits de la forêt avait bien augmenté, mais celui des minéraux avait, au contraire, diminué.

Tout comme Solow quelques années auparavant (1957), la raison leur en parut évidente: le changement technologique avait réduit le coût de production à un point tel que le prix pouvait diminuer même si les réserves baissaient. Il est évidemment possible d'introduire des coûts d'extraction et de transformation des minéraux dans le modèle de base et de confirmer cette prédiction. Par exemple, Slade réussit en 1982 à construire un modèle où le progrès technique permettait au prix des métaux de diminuer pendant une période prolongée avant de finir par augmenter. Ce résultat était compatible avec la mise à jour de l'étude initiale de Barnett et Morse que venait d'effectuer Barnett lui-même en 1977 et qui montrait que le prix des métaux avait, depuis peu, commencé à s'accroître.

Mais pourquoi donc observait-on en même temps une augmentation de prix dans le secteur forestier? Pouvait-on croire que le progrès technique avait été à la fois si rapide dans le secteur minier, où la ressource est non renouvelable, et si lent

dans le secteur forestier, où la ressource est renouvelable, pour ainsi produire les observations que l'on sait?

Il est toujours possible de faire intervenir le succès dans l'exploration. Mais l'exploration est elle-même assimilable à un problème de ressource non renouvelable, celle-ci étant constituée par les terrains où on s'attend à trouver un gisement. Pierre Lasserre, en 1985, trouva que le prix des terrains en Alberta avait augmenté de façon compatible avec la théorie. Il s'agissait d'une réponse à Devarajan et Fisher, qui avaient observé en 1982 que, malgré la hausse du coût d'exploration du pétrole aux États-Unis, le prix du pétrole avait continué à diminuer pendant quarante ans. On aurait pensé qu'une augmentation du coût d'exploration aurait, au contraire, entraîné une hausse du prix du pétrole.

Une autre étude de l'évolution du prix des métaux, celle de Heal et Barrow (1980), a tenté d'expliquer les effets de l'arbitrage sur le marché des métaux. Elle fut peu convaincante et ne trouva d'ailleurs aucune régularité dans le comportement du prix des divers métaux. Frank et Babunovic (1985) ont eux aussi remarqué la grande variété dans l'évolution des prix des différents métaux. De son côté, Smith (1981) a montré que des modèles naïfs de séries temporelles prédisaient les prix aussi bien que des modèles plus complexes. Slade (1988) a même découvert que le comportement des prix suivait un processus stochastique du type *martingale*, où il n'y a même pas de tendance fondamentale et où tout changement est purement aléatoire. Dans Cairns (1990 a), j'ai synthétisé ces résultats dans un modèle de ressources hétérogènes où j'ai cherché à expliquer les décisions des gestionnaires de mines plutôt que la trajectoire des prix.

Même ajustée pour tenir compte des conditions de l'industrie, la règle du r pour cent est un mirage. Les prix sont endogènes, bien évidemment, et la non renouvelabilité doit jouer un rôle; mais elle ne constitue qu'un facteur parmi plusieurs. Par exemple, le développement technologique récent qui a été le plus important à toucher le marché du métal le plus étudié, le cuivre, est la mise au point de la fibre optique. Mais son avènement ne fut pas relié à la disponibilité du métal. Il paraît même futile de procéder à une modélisation quantitative de l'évolution des prix du marché pour une période longue. Il n'y a aucune régularité tirée du comportement d'un minerai ou d'un métal donné qui soit applicable aux autres minerais ou métaux, et toute explication qualitative doit tenir compte d'agrégations très compliquées et très difficiles. On en est rendu au point où cette sorte d'analyse ne nous mène plus nulle part. La seule voie concevable pour modéliser l'évolution du marché est celle qui adopte le point de vue de l'offre. Même modifié, le modèle de Hotelling n'aide ni à prédire le prix du marché ni à le comprendre.

3. LES FAITS STYLISÉS

Pourquoi un tel malaise est-il en train d'atrophier un domaine qui a connu une si grande effervescence entre 1973 et 1982? Je dirais que le problème fondamental est celui des faits stylisés eux-mêmes. Stiglitz (1975; 1976) traita la situation d'absence de coût d'exploitation comme s'il s'agissait de la situation de référence.

Mais dès 1952, aux États-Unis, la Commission Paley, qui cherchait à identifier pour le compte du gouvernement américain les maillons faibles de l'approvisionnement en matériaux stratégiques, avait observé que «l'essentiel du problème de l'approvisionnement en minéraux réside dans les coûts». Il faut donc, en premier lieu, modéliser très soigneusement les coûts d'extraction et de transformation, lesquels sont particuliers aux gisements et aux firmes individuels. En second lieu, il faut reconnaître que la question de la diminution des stocks disponibles est centrale et qu'elle doit, elle aussi, être correctement modélisée. Mais, si je puis faire ici la distinction entre la déplétion — un phénomène dynamique — et l'épuisement — un état final —, l'épuisement n'est pas un fait stylisé. L'humanité n'a jamais amené une ressource non renouvelable à l'épuisement complet. L'épuisement est une éventualité qu'il faut envisager étant donné que la terre est finie, mais s'il n'arrive pas avant, disons, un demi-siècle, la rente d'épuisement est essentiellement nulle (Kay et Mirrlees, 1974, 161-2).

Ce n'est donc pas un hasard que le modèle de Hotelling, qui est fondé sur l'épuisement et la consommation sans coût, soit celui qui soit devenu problématique². Ses notions fondamentales, l'épuisement et la règle du r pour cent modifiée, conviennent aux gisements de ressources non renouvelables, mais non pas aux marchés des ressources. Dans ce qui suit, je veux aborder les questions de l'épuisement, de l'hétérogénéité et de la déplétion, les problèmes d'agrégation, la nature de la règle du r pour cent et les asymétries d'information qui compliquent la politique des ressources. Je traiterai d'abord de l'importance du gisement dans le contexte familial où le prix est endogène et déterminé de la façon qui est habituelle dans les modèles de type Hotelling.

À cet égard, je considère toujours l'article de 1977 de Levhari et Liviatan comme le plus important après celui de Hotelling. Ces auteurs analysèrent la situation où le coût d'extraction serait une fonction croissante de la quantité accumulée de la ressource qui aurait été extraite. Ce serait comme si la ressource était de qualité variable et que la firme exploitait d'abord les réserves de meilleure qualité. Levhari et Liviatan démontrèrent que la rente aurait alors deux composantes. La première, fondée sur l'épuisabilité, grandirait au même rythme que le taux d'intérêt. La seconde serait égale à la valeur actualisée des augmentations de coût imposées dans l'avenir par la production marginale courante.

Soit, en effet, p le prix, C le coût total, MC le coût marginal, T la période terminale de la production, X la quantité extraite accumulée et r le taux d'actualisation. Alors leur équation était:

$$p_t = MC_t + (p_T - MC_T)e^{-r(T-t)} + \int_t^T (\partial C_s / \partial X_s) e^{-r(s-t)} ds. \quad (1)$$

2. Il m'apparaît que cette branche de l'économie des ressources en est réduite à être un contributeur — un contributeur important, j'insiste — à l'analyse de quelques puzzles de la théorie des jeux, tels la cohérence dynamique, la dépendance historique, etc. À l'heure actuelle, pendant que la théorie se développe et qu'elle est encore difficile à appliquer, les questions qui peuvent être posées sont simples et pas très subtiles. L'exemple idéalisé de l'épuisement d'un stock homogène permet de donner une structure intuitive à des problèmes frustrants.

Le deuxième terme du membre de droite reflète évidemment la règle de Hotelling. Mais comme, dans la réalité, la ressource ne s'épuise pas puisqu'elle peut toujours s'extraire si nous sommes prêts à accepter des coûts plus élevés, ce terme est égal à zéro et n'offre guère d'intérêt. Le troisième terme, que j'appelle l'effet de déplétion, demeure cependant. Je vais m'appuyer sur un vieil article de Herfindahl (1967), qui se situe dans la tradition de Hotelling, pour démontrer que ce terme traduit lui aussi une sorte de règle du *r* pour cent, mais attribuable plutôt à Gray (1914).

Supposons qu'il y ait *n* firmes et que chacune possède un gisement dont le coût marginal d'extraction est une constante *c_i* et le coût fixe, nul. Le prix est une donnée pour les firmes, mais il est endogène au marché. Posant *c₁* < *c₂* < ... < *c_n*, Herfindahl montra que la solution d'équilibre consiste à exploiter les gisements dans l'ordre 1, 2, ..., *n*. Intuitivement, les économies de coût constituent une épargne, qu'il vaut mieux réaliser le plus tôt possible. Le prix s'ajuste optimalement de manière que l'ordre d'exploitation indiqué soit effectivement observé. Pendant la période d'exploitation du gisement *i* (et implicitement pendant les autres périodes), la rente *p* - *c_i* croît exponentiellement au taux d'actualisation *r*. Quand ce gisement est épuisé, disons à la période *T_i*, le gisement suivant, *i* + 1, commence à être exploité. La trajectoire du prix a la forme d'une suite de segments en forme de coquilles d'équation:

$$P_i - c_i = \lambda_i e^{rt}. \tag{2}$$

La continuité de cette trajectoire est assurée en *T_i* par la contrainte:

$$\lambda_i - \lambda_{i+1} = (c_{i+1} - c_i) e^{-rT_i}, \tag{3}$$

mais elle n'y est pas différentiable.

Considérons maintenant un continuum de ces gisements, chacun de taille très petite. Intuitivement, notre résultat signifie que:

$$-d\lambda = e^{-rt} dc, \tag{4}$$

c'est-à-dire:

$$\begin{aligned} -d\lambda/dt &= e^{-rt} dc/dt = e^{-rt} (dc/dX)(dX/dt) \\ &= e^{-rt} (dc/dX)q = e^{-rt} \partial C/\partial X, \end{aligned} \tag{5}$$

C = *cq* étant le coût total. Si on impose à λ (6) la condition naturelle de transversalité de s'annuler à l'infini, on peut enfin écrire:

$$\lambda = \int_t^\infty (-d\lambda/dt) dt = \int_t^\infty e^{-rs} (\partial C/\partial X) ds, \tag{7}$$

ou, compte tenu que *p* = *c* + λe^{rt} (8) pour chaque gisement en tout temps:

$$p = c + \int_t^\infty e^{-r(s-t)} (\partial C/\partial X) ds. \tag{9}$$

Ce résultat reproduit exactement celui de Levhari et Liviatan pour l'effet de déplétion dans le cas envisagé. En d'autres mots, l'effet de déplétion est la manifestation ou, à vrai dire, la limite (dans le cas un peu «surréaliste» où il y a un

continuum de gisements) d'une règle du r pour cent applicable à chaque gisement (ou à chaque grain de minerai!). Mais il faut insister sur le fait que la règle joue ici au niveau du gisement, et non du marché. Il s'agit d'une règle du type «micro-micro».

Cette observation importe pour l'interprétation correcte de la règle du r pour cent. Rappelez-vous que, dans le modèle de Hotelling, on anticipe que le prix va augmenter et que le fait qu'en réalité le prix ne semble pas augmenter est à l'origine des modifications que l'on a proposées pour le rescaper. La découverte par Slade que, pour plusieurs métaux, la trajectoire du prix suit une martingale démontre bien que la règle de Hotelling n'aide pas à prédire le prix du marché. Et si la trajectoire du prix est vraiment mieux caractérisée par une martingale, alors il vaudrait mieux, dans le cas de certitude, modéliser le prix comme étant constant.

C'est d'ailleurs ce que firent Gray en 1914 et Scott en 1967 dans leurs articles fondamentaux sur la théorie de la mine. Leurs modèles présentent bien, et avec beaucoup de pertinence, une règle du r pour cent. Toutefois, ce n'est pas le prix, mais plutôt la production, qui s'ajuste à la déplétion du gisement. Gray et Scott trouvèrent que la quantité produite irait diminuant pendant la période d'exploitation de la mine, de façon que l'écart entre le prix (paramétriquement constant) et le coût marginal croîtrait au taux d'actualisation.

Cela veut dire que la règle du r pour cent se manifeste par des ajustements physiques à la production de chaque gisement. Il faut également souligner que l'interprétation de Solow (1974) est toujours valable, selon laquelle la mine est un bien qui doit avoir un rendement compensatoire, en toute compatibilité avec l'équilibre du marché des biens. C'est au niveau du gisement que les décisions économiques sont prises. Ce n'est pas l'augmentation du prix qui importe en elle-même, mais bien toute une gamme de considérations liées au gisement. Même dans un contexte d'équilibre partiel, lorsque les modèles classiques associent changements du prix et changements du coût d'extraction à la marge, ils se trouvent à relier deux variables endogènes. Ils n'expliquent pas la trajectoire du prix. Dans les modèles de cette nature, tels ceux de Gray ou de Scott, rien n'empêche de traiter le coût marginal comme la variable dépendante, d'autant plus que sa détermination comprend beaucoup de degrés de liberté qui ont un intérêt pour les économistes des ressources naturelles. Par exemple, si la concentration du métal dans la mine n'est pas uniforme et que le minerai ne peut être extrait que sous une forme contenant plusieurs niveaux de concentration à la fois, alors on démontre qu'il n'y a pas de divergence entre le prix et le coût marginal: on a $p = MC$ (Cairns, 1986a). À la marge, la valeur d'une unité de la ressource est nulle. Il y a toujours une rente de non renouvelabilité, mais la rente est une rente différentielle, ou ricardienne³.

Je suis convaincu que l'hétérogénéité, phénomène très varié et très compliqué, est un fait stylisé qui est capital pour la compréhension des marchés des ressources

3. Pour une analyse des rentes ricardiennes associées aux ressources naturelles, voir Jean-Thomas Bernard (1990).

non renouvelables. L'importance de l'hétérogénéité en tant que phénomène physique lui vient de ce qu'elle fait du coût marginal une variable de décision du gestionnaire de la mine et, partant, endogène. Dans cette optique, même la quantité des réserves est déterminée par le gestionnaire; elle n'est pas fixe.

Considérons d'abord la forme la plus simple d'hétérogénéité traitée dans la littérature, soit le phénomène observé que la qualité diminue au fur et à mesure que les réserves sont exploitées. On distingue, à vrai dire, deux effets de déplétion. Le premier fut remarqué par John Stuart Mill (1848, tome 1, chapitre 12), qui fit observer que, dans une mine, la qualité des réserves diminue à cause de sa profondeur. Il s'agit d'un effet de déplétion au niveau du gisement lui-même. Le second fut remarqué par W. Stanley Jevons (1865), qui s'arrêta au fait que le stock total qui reste à la disposition de la société diminue. Cette fois-ci, l'effet de déplétion envisagé est global. Dans les sociétés avancées, c'est lui qui motive les analyses comme celle de Jevons lui-même, celle de la Commission Paley, ou encore celles, plus naïves comme on vient de le voir, du côté demande.

Ce second effet de déplétion, identifié par Jevons et modélisé de façon moderne par Levhari et Liviatan, est assez subtil, en raison principalement des autres formes d'hétérogénéité, mais aussi d'autres facteurs. Par exemple, en 1959, Herfindahl proposa le *Gedankenexperiment* suivant. Pensez à la qualité moyenne (ou marginale) des réserves exploitées en 1870 et à celle des réserves exploitées en 1957. Essayez alors d'envisager les différences dans le coût d'exploitation de ces deux niveaux de qualité, en supposant que les deux eussent été exploités côte à côte à chacune des deux dates. Il ne fait alors aucun doute que la différence relative de coût aurait été plus élevée en 1870 qu'en 1957, d'autant plus que le progrès technique n'est pas neutre et qu'il est endogène à long terme. On peut ainsi relever beaucoup d'exemples où la qualité relative (mesurée par le coût relatif) de deux points d'origine d'une ressource s'est modifiée à cause du progrès technologique. En somme, l'effet de Jevons se traduit par une baisse de qualité de la ressource, mais le prix (ou sa tendance) peut très bien rester stable au lieu d'augmenter, à cause du progrès technologique, de la substitution ou de l'exploration, qui ont tous pour effet de stabiliser le coût de production.

Les technologies de l'avenir sont impossibles à prévoir ou à modéliser, mais certaines pratiques d'agrégation dans les modèles du côté demande sont contraires aux concepts pourtant bien simples du côté offre⁴. Un exemple frappant est l'usage de l'effet de stock pour modéliser l'effet de Jevons. On envisage ici, comme dans les modèles de Pindyck (1978, 1980, 1982, 1985), que les coûts globaux d'une industrie extractive soient une fonction (décroissante) des stocks non épuisés qui restent à la disposition de la société. Ce point de vue emploie l'analogie avec le fait que la pression dans un puits de pétrole est une fonction (croissante) de la quantité

4. Une autre grande contorsion consiste à supposer que les courbes de demande agrégée sont asymptotiques à l'axe des prix, comme c'est le cas, par exemple, quand l'élasticité-prix de la demande est constante (Stiglitz, 1976). Ainsi que l'a déjà noté Georgescu-Roegen, de telles courbes n'aident en rien à expliquer les faits stylisés, puisqu'elles sont contraires aux lois de la physique.

de pétrole (et de gaz naturel) qui reste dans le réservoir et qui n'est pas encore épuisée. L'effet de stock tente, en d'autres mots, d'utiliser l'effet de Mill pour décrire l'effet de Jevons. Smith (1981) et Livernois et Uhler (1987) ont dénoncé une telle pratique parce qu'elle entraîne de très sérieux biais d'agrégation.

Pour quelle raison avancerait-on que le coût d'extraction est une fonction décroissante du niveau des réserves? Comme je viens de le mentionner, dans le cas du puits de pétrole cela découle de la pression des réserves qui restent dans le réservoir; Davidson, en 1963, a analysé cet effet du point de vue de l'offre. Dans le cas de la mine, deux considérations ressortent. Premièrement, comme Mill l'a observé, le coût augmente avec la profondeur et donc, *grosso modo*, avec la déplétion. Mais, à part cet effet de profondeur, l'effet de stock n'a rien à voir avec la mine. Deuxièmement, à la taille du gisement sont associées des économies d'échelle considérables. Le coût d'extraction dépend de la technique choisie, du type d'investissement qui est réalisé. Or, l'estimation de la taille et de la configuration des réserves — non pas des réserves non épuisées après un certain temps, mais de celles qui sont présentes au moment de l'investissement — joue un rôle important dans l'orientation de ce choix.

Ainsi, l'affirmation que le coût d'exploitation d'un gisement particulier augmente avec la quantité extraite accumulée est juste. Dans le cas certain, cette quantité accumulée est simplement le complément de la quantité de stocks non épuisés. Mais, dans le cas de l'incertain, il faut tenir compte de l'activité d'exploration. Une forme d'exploration qui est très importante en proportion du budget total d'exploration des entreprises extractives est l'exploration sur place. Pendant l'exploitation du gisement, on ne sait pas exactement combien de minerai il contient et, au moment où l'on procède à la décision d'investir, on ne dispose que d'une estimation de la quantité présente. Cette estimation est habituellement conservatrice et on finit presque toujours par trouver plus de réserves qu'on avait initialement prédit.

Mais, pour maintenir la cohérence de l'analyse d'une année à l'autre, comment doit-on traiter ces additions aux réserves? Doit-on ajuster les fonctions de coût de façon à les inclure? Et, dans l'affirmative, comment? En tout cas, l'effet de stock suppose que chaque unité de réserves est de la même qualité que toutes les autres, ce qui contredit le fait stylisé de l'hétérogénéité. Ce problème conceptuel n'existe pas au niveau du gisement si on modélise le coût d'extraction comme une fonction croissante de la production accumulée comme l'ont fait Levhari et Liviatan.

L'exploration ailleurs que dans les gisements déjà découverts joue également un rôle clé dans l'effet de déplétion. À en croire l'étude déjà citée de Barnett et Morse (1963), ce rôle serait peut-être même plus important que celui du changement technologique. De leur côté, Devarajan et Fisher (1982) ont essayé, sans beaucoup de succès, de développer un modèle où l'exploration ne serait pas neutre, en ce sens que la firme chercherait non seulement à refaire le plein de ses réserves, mais à en trouver qui seraient de meilleure qualité. Enfin, Allais (1957) et Eckbo, Jacoby et Smith (1978), parmi d'autres, ont trouvé que, dans une région d'exploration donnée, une forte proportion des réserves sont situées dans les quatre ou cinq gisements les

plus grands. Il est donc déjà très difficile de modéliser l'effet de déplétion au sens global, ou même régional. L'usage d'une technique qui traite toutes les unités de réserves comme si elles étaient identiques ne va certainement pas aider, parce qu'elle n'est pas conforme aux contraintes naturelles auxquelles la firme est confrontée.

Toutes les considérations de la présente section sont reliées à un autre fait stylisé: l'importance des décisions d'investissement de la firme. L'exploration est l'une d'entre elles, et une bonne connaissance des incitations à faire de l'exploration est essentielle. L'information produite par l'exploration ne porte pas seulement sur la localisation d'un gisement, mais elle peut prendre plusieurs formes. L'une de ces formes, très importante, a trait aux caractéristiques des gisements déjà découverts. Les entreprises font de l'exploration sur place afin de planifier leurs investissements et leurs taux d'extraction. Cela veut dire qu'il n'y a d'incitation à se constituer des réserves prouvées que pour suffire à la production prévue, c'est-à-dire pour satisfaire au taux choisi d'utilisation de la capacité, dans les vingt-cinq années suivantes tout au plus. S'en constituer plus serait une perte d'argent; il s'agit ici d'une simple conséquence de la procédure d'actualisation de bénéfices lointains et une manifestation de la règle du *r* pour cent. C'est là une des raisons de l'importance de l'exploration sur place.

Une autre sorte d'investissement est l'investissement dans la capacité d'extraction. La quantité des réserves et leur configuration sont des données cruciales, car l'exploitation des économies d'échelle dépend de l'existence d'une quantité de minerai suffisante pour justifier l'investissement pendant quinze à vingt ans. En toute rationalité, la décision est prise par application de la méthode de la valeur ajoutée nette, élargie pour inclure une analyse de la sensibilité des bénéfices aux divers paramètres du calcul, y compris aux prix futurs. On remarque, encore une fois, le rôle joué par le taux d'actualisation et la règle du *r* pour cent au niveau du gisement.

L'investissement enrichit le problème de la mine d'une nouvelle dimension, celle de la capacité de production. Celle-ci comporte un coût et influe sur le plan d'extraction en le rendant plus régulier que le prédisent les modèles de Gray et de Scott (voir Campbell, 1981). Cet effet de régularisation peut masquer le jeu de la règle du *r* pour cent, dont l'influence devient plus subtile. Miller et Upton (1985), par exemple, ont tenté d'en vérifier la portée en scrutant les opérations de la firme, mais les résultats de leur test ne sont pas incompatibles avec une règle simple de marge ajoutée (*markup*), pratique qui est caractéristique, entre autres, des oligopoles miniers (Cairns, 1986a). Si la teneur du gisement en minerai est variable, la concentration marginale sera choisie de façon à couvrir le coût marginal et les quasi-rentes du capital (Cairns, 1990b). La différence entre le prix et le coût marginal paiera la capacité. La règle du *r* pour cent est encore camouflée par les conditions physiques du gisement, dont la non renouvelabilité (sa valeur) est compensée par des rentes ricardiennes. Les effets sur l'équilibre du marché aussi sont compliqués (Cairns et Lasserre, 1991).

4. LE CONFLIT DÛ AUX ASYMÉTRIES D'INFORMATION

Les théoriciens distinguent deux sortes de rentes: les quasi-rentes du capital et les rentes ricardiennes liées à la productivité de la ressource. En pratique, cependant, les deux sont confondues parce que le propriétaire de la mine n'est pas capable de savoir tout ce que sait la firme exploitante. Ce problème est aussi celui de la taxation minière, et c'est pourquoi toute taxation crée une distorsion des incitations de l'entreprise. Les asymétries d'information affligent le propriétaire privé comme le propriétaire public. Le problème de ce dernier est toutefois plus subtil, car le gouvernement poursuit bien d'autres objectifs que celui de maximiser les rentes des ressources qu'il possède. Les asymétries d'information sont à l'origine d'un conflit qu'Innis essaya de résoudre pendant les années trente.

L'importance primordiale de l'investissement en tant que fait stylisé donne à penser qu'ici comme ailleurs en microéconomie les asymétries d'information et le conflit sur le partage des rentes comptent parmi les phénomènes qu'on ne saurait se passer d'analyser. Comme ailleurs en théorie de la firme, il ne suffit pas de conceptualiser le problème de l'exploitation des ressources comme un problème d'optimisation néo-classique. La firme n'est pas une «boîte noire». Il y a conflit sur le partage des rentes, et la manière dont on s'y prend pour résoudre ce conflit rétroagit sur le montant total des rentes réalisées.

On se rappellera que c'est justement la notion d'asymétrie d'information qui a poussé le gouvernement fédéral à établir Pétro-Canada en 1975. Les grandes entreprises de l'industrie avaient trompé le gouvernement sur le niveau de leurs réserves et avaient fait valoir la nécessité de politiques qui leur seraient avantageuses. C'est ainsi qu'à la faveur de la crise pétrolière le gouvernement décida qu'il lui fallait une entreprise-témoin pour lui servir de «fenêtre sur l'industrie pétrolière».

La nouvelle littérature en organisation industrielle nous invite à fonder nos jugements en matière de politique économique sur un éventail de considérations. L'évaluation des politiques est devenue très compliquée, même dans le cas des services publics traditionnels (électricité, téléphone, gaz, etc.). Braeutigam (1989) présente la perspective du côté demande (selon ma terminologie) sur la détermination du prix de l'électricité ou du téléphone, où l'on maximise les bénéfices nets de façon néo-classique. Baron (1989), quant à lui, passe en revue certaines questions qui relèvent du côté offre et portent sur la mise en oeuvre de mécanismes permettant de soutirer optimalement des renseignements de nature privée sur la firme. Le mécanisme optimal dépend alors du niveau des rentes de la firme et de la pondération accordée aux intérêts des divers intervenants (entreprise et consommateurs).

Le problème que je désire soulever ici est celui de savoir comment nous devrions évaluer, comme économistes des ressources naturelles, les effets du Programme énergétique national (le PEN), qui regroupait un ensemble de mesures dont la visibilité dépassait tout ce qu'on avait vu depuis longtemps au Canada⁵. Le PEN fut

5. On trouvera dans André Plourde (1990) des renseignements détaillés sur la politique canadienne en matière de ressources énergétiques non renouvelables, ainsi qu'une analyse de la question.

attaqué de toutes parts parce qu'il imposait des réglementations au moment même où on entrait dans l'ère de la déréglementation. Pouvons-nous, comme spécialistes du domaine, nous démarquer des intérêts divergents des partisans libéraux à défendre le PEN et des partisans conservateurs à l'attaquer, et de la propulsion des consommateurs et des gouvernements à le soutenir dans l'est et à le condamner dans l'ouest du pays? Pouvons-nous plutôt réfléchir à la question sous la dictée des principes de notre discipline?

La première mesure du PEN consistait à fixer le prix du baril de brut à 75 pour cent du prix mondial. Comme économistes, nous n'aimons pas les distorsions engendrées par un prix incorrect. J'ai d'ailleurs moi-même critiqué, comme bien d'autres, cette mesure. Pourquoi donc? Nous pensions que le prix mondial continuerait à grimper et qu'un prix trop bas induirait les marchés en erreur sur la rareté véritable de la ressource. Nos attentes étaient-elles rationnelles? Étaient-elles, par exemple, fondées sur le meilleur modèle économique qui fût disponible à l'époque? Morris Adelman fit des prédictions qui incorporaient les théories courantes sur le fonctionnement des cartels, l'information géologique sur la disponibilité du pétrole, etc. Elles se sont avérées justes. Mais, même après que le prix du pétrole eût commencé à chuter, la plupart des analystes professionnels ont continué à prédire qu'il poursuivrait sa hausse au rythme annuel de 2 pour cent en termes réels dans l'avenir prévisible. Et ils le font encore aujourd'hui, tout en continuant d'ajuster chaque année le nouveau point de départ de la prévision pour leur erreur de l'année précédente. La chute du prix fut sans aucun doute renforcée par la récession de 1982, dont la profondeur et les coûts n'étaient certes pas prévisibles. Mais, indépendamment de la récession, le meilleur modèle économique disponible prédisait toujours une baisse de prix. Les événements me convainquent donc qu'on aurait mieux fait, entre 1980 et 1983, de maintenir le contrôle du prix plutôt que de le laisser suivre la trajectoire instable du prix mondial.

Par ailleurs, la présence dans le PEN de mesures de subvention à l'exploration (le Programme d'encouragements pétroliers, ou PEP), ainsi que le texte même du Programme, démontraient clairement que le gouvernement ne s'attendait pas du tout à voir le prix diminuer. Ainsi, la décision de contrôler le prix était la bonne, mais pour la mauvaise raison. Doit-on juger la décision ou sa motivation⁶? Quant aux subventions du PEP, elles furent trop généreuses et, surtout, trop peu flexibles. Pourtant, selon nos théories de l'exploration, une telle approche est une façon efficace de s'accaparer des rentes en partageant le risque avec l'entreprise privée. Les subventions plus généreuses pour l'exploration des terres éloignées furent critiquées par le gouvernement albertain, mais, à en croire la meilleure information publiée, les coûts marginaux des nouvelles découvertes en Alberta connaissaient en même temps de fortes augmentations (Uhler, 1976, 1978).

6. Cette question devrait rendre perplexes tous ceux qui, parmi nous, n'ont pas vendu de pétrole à découvert.

On s'est beaucoup plaint des taxes. Mais la discussion a porté encore bien plus sur la juridiction que sur l'efficacité. Dans les débats sur l'efficacité économique, il ne suffit pas de montrer que l'introduction d'une taxe modifie le plan d'extraction. Il faut également savoir comment la mesure fiscale va modifier la rente totale (ou la valeur actualisée de la ressource) et son partage entre les intervenants. C'est là le défi que Bradley, Helliwell et Livernois ont lancé en 1981. L'introduction non pas d'une, mais de plusieurs nouvelles taxes ne fut pas sans concordance avec l'analyse en gestation de Helliwell (1982), qui inspira la révision de mes propres idées (Cairns, 1985). Cette analyse aboutissait en effet à la conclusion que la meilleure réaction au problème d'asymétrie d'information consistait à imposer plusieurs taxes différentes. Mais, dix ans plus tard, en 1990, on n'a toujours pas mis au point de mécanisme efficace de taxation qui soit approprié au contexte⁷. Durant le PEN, le gouvernement assumait la plus grande partie du risque de fluctuation des revenus et les recettes fiscales étaient très sensibles aux conditions changeantes de l'industrie.

Toutefois, les entreprises d'exploration quittèrent temporairement le Canada. Le gouvernement fédéral n'avait vraisemblablement pas prévu cette réaction de l'industrie. Les subventions du PEP coûtèrent trop cher, mirent quelques banques en danger et détruisirent Dome Petroleum, entre autres. Si le gouvernement avait pu anticiper le résultat de sa politique, il l'aurait sans doute conçue autrement. De quels défauts le Programme a-t-il donc souffert en tant qu'exercice de politique économique? Le plus important, à mon sens, fut que le gouvernement n'avait pas apprécié l'intensité du conflit entre le principal et l'agent. Il était évidemment conscient du problème, puisqu'il avait exprimé le besoin d'avoir «une fenêtre sur l'industrie». Mais le paradigme économique à l'époque était celui de la boîte noire, et non pas celui qui s'est progressivement développé depuis: plus contractuel et prêt à reconnaître l'importance de l'information privée. Le sentiment général est aujourd'hui qu'il faut accorder à ceux qui détiennent l'information privée les rentes qui lui sont inhérentes. Mais, il y a dix ans, le gouvernement ne put deviner ce qu'il fallait faire pour maintenir les incitations. Même s'ils étaient généreux et concordaient avec la théorie économique, les paiements du PEP étaient rigides et les subventions, mal réparties. Peut-être que les encouragements pétroliers auraient dû être liés aux rentes anticipées et, partant, au prix mondial de la ressource. Force est de constater que plusieurs vieilles idées des économistes sur le fonctionnement du marché sont maintenant tombées en désuétude. La réaction aux asymétries d'information dans la théorie de l'utilisation optimale des ressources en est un exemple frappant.

5. CONCLUSION

Depuis 1983, on a observé un déclin de la branche de l'économie des ressources non renouvelables qui vise à relier l'épuisement des stocks globaux à la consommation agrégée. La chute du prix des matières énergétiques, et surtout du pétrole, en est la cause immédiate et manifeste. Mais, au-delà, il y a aussi un problème plus fondamental: l'épuisabilité des stocks globaux n'est pas un fait stylisé.

7. Pour des suggestions prometteuses, voir toutefois Pierre Lasserre (1990).

Aujourd'hui, les économistes des ressources non renouvelables doivent être plus attentifs aux questions relatives au coût de la gestion des ressources naturelles qu'ils le furent pendant la floraison d'études basées sur les idées de Hotelling. Les modèles issus de cette période, où dominait le côté demande, peuvent être maintenant considérés comme naïfs et peu subtils parce qu'ils ont négligé plusieurs aspects importants de la ressource elle-même et qu'ils se sont appuyés sur des faits stylisés à caractère primitif.

Pour trouver des faits stylisés plus raffinés, il faut emprunter la voie tracée par Lewis Gray, celle du côté offre. J'en ai suggéré quelques-uns pour l'étude des ressources non renouvelables. Premièrement, l'hétérogénéité, phénomène central qui doit remplacer l'épuisement comme objet d'analyse. Deuxièmement, les nombreux biais d'agrégation, qu'il faut affronter lorsqu'on veut étudier l'équilibre du marché; il est futile de prédire l'évolution du prix d'une ressource non renouvelable avec les techniques qui sont à la disposition de l'économiste. Troisièmement, l'investissement, dont l'importance est capitale et qui doit recevoir plus d'attention.

En ce qui concerne la politique des ressources, ici comme ailleurs en microéconomie les problèmes soulevés par les contrats et l'information privée sont fondamentaux. Pour être complète, l'analyse doit reconnaître les conflits inhérents à la production. Devant les questions de politique, nous devons faire preuve, en tant qu'économistes, d'une grande modestie.

BIBLIOGRAPHIE

- ALLAIS, MAURICE (1957), «Method of Appraising Economic Prospects of Mining Exploration over Large Territories», *Management Science* 34, July, 285-347.
- BARNETT, HAROLD (1979), «Scarcity and Growth Revisited», dans *Scarcity and Growth Reconsidered*, V. KERRY SMITH, éd., Johns Hopkins University Press, Baltimore, 163-217.
- BARNETT, HAROLD et CHANDLER MORSE (1963), *Scarcity and Growth: The Economics of Natural Resource Availability*, Johns Hopkins University Press, Baltimore.
- BARON, DAVID P. (1989), «Design of Regulatory Mechanisms and Institutions», dans *Handbook of Industrial Organization*, Tome II, éd. RICHARD SCHMALENSEE et ROBERT WILLIG, North-Holland, Amsterdam, 1347-1448.
- BERNARD, JEAN-THOMAS (1990), «Taxation des ressources naturelles et rentes hydro-électriques au Canada», *L'Actualité économique*, vol. 66, n° 4.
- BRADLEY, PAUL G., JOHN F. HELLIWELL et JOHN P. LIVERNOIS (1981), «Efficient Taxation of Resource Income: The Case of Copper Mining in British Columbia», *Resources Policy* 7, 3, 161-70.

- BRAEUTIGAM, RONALD R. (1989), «Optimal Policies for Natural Monopolies», dans *Handbook of Industrial Organization*, Tome II, éds. RICHARD SCHMALENSEE et ROBERT WILLIG, North-Holland, Amsterdam, 1289-1346.
- CAIRNS, ROBERT D. (1985), «Reform of Exhaustible Resource Taxation», *Analyse de Politiques* XI, 4, 649-58.
- CAIRNS, ROBERT D. (1986a), «More on Depletion in the Nickel Industry», *Journal of Environmental Economics and Management* 13, 93-8.
- CAIRNS, ROBERT D. (1986b), «A Model of Exhaustible Resource Exploitation with Ricardian Rent», *Journal of Environmental Economics and Management* 13, 313-24.
- CAIRNS, ROBERT D. (1990a), «Metal Prices, Geological Influences and Rationality», *Resources and Energy*, 12, 143-71.
- CAIRNS, ROBERT D. (1990b), «A Contribution to the Theory of Depletable Resource Scarcity and its Measures», *Economic Inquiry*, XXVIII, 744-55.
- CAIRNS, ROBERT D. et PIERRE LASSERRE (1991), «Investment in a Multi-Deposit Non-Renewable Resource Industry», à paraître, *Journal of Environmental Economics and Management*.
- CAMPBELL, HARRY F. (1980), «The Effect of Capital Intensity on the Optimal Rate of Extraction of a Mineral Deposit», *Revue Canadienne d'Économique*, XIII, 2, 349-56.
- CRABBÉ, PHILIPPE J. (1983), «The Contribution of L.C. Gray to the Economic Theory of Exhaustible Natural Resources and Its Roots in the History of Economic Thought», *Journal of Environmental Economics and Management* 10, 195-220.
- DAVIDSON, PAUL (1963), «Public Policy Problems of the Domestic Crude Oil Industry», *American Economic Review*, LV, 85-107.
- DEVARAJAN, SHANTAYANAN et ANTHONY C. FISHER (1981), «Hotelling's Economics of Exhaustible Resources: Fifty Years Later», *Journal of Economic Literature* XIX, 3, 65-73.
- DEVARAJAN, SHANTAYANAN et ANTHONY C. FISHER (1982), «Exploration and Scarcity», *Journal of Political Economy* 90, 1279-90.
- ECKBO, PAUL L., HENRY D. JACOBY et JAMES L. SMITH (1978), «Oil Supply Forecasting: A Disaggregated Process Approach», *Bell Journal of Economics*, Spring, 218-35.
- FRANK, JEFF et MARK BABUNOVIC (1984), «An Investment Model of Natural Resource Markets», *Economica* 51, 83-95.
- GRAY, LEWIS C. (1914), «Rent under the Assumption of Exhaustibility», *Quarterly Journal of Economics*, 28, 466-89.
- HEAL, GEOFFREY et MICHAEL BARROW (1980), «The Relationship between Interest Rates and Metal Price Movements», *Review of Economic Studies* XLVII, 161-81.
- HELLIWELL, JOHN F. (1982), «Comment», dans *Tax Policy Options for the 1980s*, WAYNE THIRSK ET JOHN WHALLEY, éds., Fondation canadienne d'études fiscales, Toronto.

- HERFINDAHL, ORRIS C. (1959), *Copper Costs and Prices*, Johns Hopkins University Press, Baltimore.
- HERFINDAHL, ORRIS C. (1967), «Depletion and Economic Theory», dans *Extractive Resources and Taxation*, M. GAFFNEY, éd., University of Wisconsin Press, Madison, 63-90.
- HOTELLING, HAROLD (1931), «The Economics of Exhaustible Resources», *Journal of Political Economy*, 39, 137-75.
- INNIS, HAROLD A. (1929) «The Teaching of Economic History in Canada», réimprimé dans *Essays in Canadian Economic History*, Mary Q. Innis, éd., University of Toronto Press, 1956, 3-16.
- JEVONS, W. STANLEY (1865), *The Coal Question*.
- KAY, JOHN et JAMES MIRRLEES (1974), «The Desirability of Natural Resource Depletion», dans *The Economics of Natural Resource Depletion*, D. W. PEARCE et J. ROSE, éd., Macmillan, Londres.
- LASSERRE, PIERRE (1985), «Discovery Costs as a Measure of Rent», *Revue Canadienne d'Économie* XVIII, 3, 474-83.
- LASSERRE, PIERRE (1990), «La fiscalité des ressources non renouvelables: anciennes et nouvelles questions», *L'Actualité économique*, vol. 66, n° 4.
- LAVHARI, DAVID et NISSAN LIVIATAN (1977), «Notes on Hotelling's Economics of Exhaustible Resources», *Revue Canadienne d'économie* X, 177-92.
- LIVRINOIS, JOHN P. et RUSSEL S. UHLER (1987), «Extraction Costs and the Economics of Non-Renewable Resources», *Journal of Political Economy* 95, 1, 195-203.
- MILL, JOHN STUART (1848), *Principles of Political Economy*.
- MILLER, MERTON H. et CHARLES W. UPTON (1985), «A Test of the Hotelling Valuation Principle», *Journal of Political Economy*, 93, 1, 1-25.
- PETERSON FREDERICK M. et ANTHONY C. FISHER (1977), «The Exploitation of Extractive Resources: A Survey» *Economic Journal* 87, 681-721.
- PINDYCK, ROBERT S. (1978), «The Optimal Exploration and Production of Non-Renewable Resources», *Journal of Political Economy*, 86, 5, 641-61.
- PINDYCK, ROBERT S. (1980) «Uncertainty and Exhaustible Resource Markets», *Journal of Political Economy*, 88, 6, 1203-25.
- PINDYCK, ROBERT S. (1982), «Jointly Produced Exhaustible Resources», *Journal of Environmental Economics and Management* 9, 271-303.
- PINDYCK, ROBERT S. (1985) «The Measurement of Monopoly Power in Dynamic Markets», *Journal of Law and Economics* XXVII, avril, 193-222.
- PLOURDE, ANDRÉ (1990), «Les enjeux de la politique énergétique canadienne au cours des années 80», *L'Actualité économique*, vol. 66, n° 4.
- SCOTT, ANTHONY (1967), «Theory of the Mine Under Conditions of Certainty», dans *Extractive Resources and Taxation*, MASON M. GAFFNEY, éd., University of Wisconsin Press, Madison, 25-62.

- SLADE, MARGARET E. (1982), «Trends in Natural Resource Commodity Prices: An Analysis of the Time Domain», *Journal of Environmental Economics and Management* 9, 122-37.
- SLADE, MARGARET E. (1988), «Grade Selection Under Uncertainty: Least Cost Last and Other Anomalies», *Journal of Environmental Economics and Management* 15, June, 189-205.
- SMITH, JAMES L. (1981), «Comment: New Theories of Exploration for Energy Resources», dans *The Economics of Exploration for Energy Resources*, JAMES B. RAMSEY, éd., JAI Press, Greenwich, Conn., 219-23.
- SMITH, V. KERRY (1981), «The Empirical Relevance of Hotelling's Model for Natural Resources», *Resources and Energy* 3, 105-7.
- SOLOW, ROBERT M. (1957), «Technical Change and the Aggregate Production Function», *Review of Economics and Statistics*.
- SOLOW, ROBERT M. (1974), «The Economics of Resources or the Resources of Economics», *American Economic Review* LXIV, 2, May, 1-14
- STIGLITZ, JOSEPH E. (1975), «The Efficiency of Market Prices in Long-Run Allocations in the Oil Industry», dans *Studies in Energy Tax Policy*, G. BRANNON, éd., Ballinger, Cambridge, Mass., 55-93.
- STIGLITZ, JOSEPH E. (1976), «Monopoly and the Rate of Extraction of Exhaustible Resources», *American Economic Review* 66, 4, September, 655-61.
- UHLER, RUSSEL S. (1976), «Costs and Supply in Petroleum Exploration: The Case of Alberta», *Revue Canadienne d'Économique*, IX, 1, 72-90.
- UHLER, RUSSEL S. (1978), «The Rate of Petroleum Exploration and Extraction», dans *Advances in the Economics of Energy and Resources*, Tome II, R.S. PINDYCK, éd., JAI Press, Greenwich, Conn., 93-118.