

L'économie minière ou pétrolière : deux familles résident sous le même toit

Mineral or Petroleum Economics: Two Families are Living under the Same Roof

Pierre-Noël Giraud and Carmine Nappi

Volume 70, Number 4, décembre 1994

URI: <https://id.erudit.org/iderudit/602159ar>

DOI: <https://doi.org/10.7202/602159ar>

[See table of contents](#)

Publisher(s)

HEC Montréal

ISSN

0001-771X (print)

1710-3991 (digital)

[Explore this journal](#)

Article abstract

This paper presents the work of a group of mineral or petroleum economists arguing that a significant contribution to this field of economics may be made even if you are not an Hotelling disciple. The group's publications place a greater emphasis on factors such as the demand for mineral resources and the declining trend in their intensity of use, technological change, as well as the econometric modelling of their industries and markets. Their contribution allows a better understanding of the forces structuring the organization of the resource industry and permits a more relevant discussion of the public policies affecting it. Finally, they point out that the ultimate availability of exhaustible resources cannot be known, that mineral discoveries are constantly being made and that the speed of technological change in the production and consumption of these resources is not slowing down. Given these factors, their work questions the relevance of the hypothesis that a fixed stock of exhaustible resources is available at each point in time and that the true cost of its use by the current generation is the lower level available to future generations.

Cite this article

Giraud, P.-N. & Nappi, C. (1994). L'économie minière ou pétrolière : deux familles résident sous le même toit. *L'Actualité économique*, 70(4), 477–497. <https://doi.org/10.7202/602159ar>

L'ÉCONOMIE MINIÈRE OU PÉTROLIÈRE : DEUX FAMILLES RÉSIDENT SOUS LE MÊME TOIT

Pierre-Noël GIRAUD

CERNA

École de Mines de Paris

Carmine NAPPI

École des Hautes Études Commerciales

RÉSUMÉ – Cet article fait mieux connaître les travaux d'un groupe d'économistes qui tout en ne suivant pas les traces d'Hotelling estiment non seulement faire partie de la grande famille de l'économie minière ou pétrolière, mais aussi y contribuer significativement. Leurs travaux accordent une grande importance à des facteurs tels la demande des ressources et le déclin de leur intensité d'utilisation, les changements technologiques ou encore la modélisation économétrique des industries et marchés miniers ou énergétiques. Ces travaux permettent une meilleure connaissance des forces qui déterminent l'organisation d'une industrie de ressources non renouvelables, ainsi qu'une discussion plus pertinente des politiques publiques la concernant. Enfin, en signalant que la disponibilité ultime de ces ressources ne peut être connue, que les efforts d'exploration continuent à rapporter des fruits et que le rythme des changements technologiques au niveau de la production et de la consommation ne semble pas ralentir, ces travaux ont contribué à remettre en question l'hypothèse voulant qu'il existe à chaque point dans le temps un stock fixe de ressources épuisables et que leur utilisation par la génération présente s'effectue au coût d'une consommation moindre pour les générations futures.

ABSTRACT – *Mineral or Petroleum Economics: Two Families are Living under the Same Roof.* This paper presents the work of a group of mineral or petroleum economists arguing that a significant contribution to this field of economics may be made even if you are not an Hotelling disciple. The group's publications place a greater emphasis on factors such as the demand for mineral resources and the declining trend in their intensity of use, technological change, as well as the econometric modelling of their industries and markets. Their contribution allows a better understanding of the forces structuring the organization of the resource industry and permits a more relevant discussion of the public policies affecting it. Finally, they point out that the ultimate availability of exhaustible resources cannot be known, that mineral discoveries are constantly being made and that the speed of technological change in the production and consumption of these resources is not slowing down. Given these factors, their work questions the relevance of the hypothesis that a fixed stock of exhaustible resources is available at each point in time and that the true cost of its use by the current generation is the lower level available to future generations.

INTRODUCTION

Les expressions « économie minière » et « économie pétrolière » ne font pas référence à un ensemble homogène et standardisé de connaissances acceptées et utilisées par tous les analystes des industries produisant ces ressources. Au contraire, lorsque l'appel est sonné, au moins deux groupes d'économistes manifestent leur présence. Ces derniers exercent leur profession dans des milieux de travail différents (souvent à l'intérieur d'une même université), publient les fruits de leurs recherches dans des revues ou collections qui ne se font pas concurrence, et s'adressent à des auditoires dont les intérêts semblent à première vue éloignés.

Le premier groupe s'inspire et poursuit les travaux débutés par Hotelling (1931) sur les conditions permettant l'utilisation optimale d'un stock fixe de ressources durant une période donnée. Le second s'inscrit plutôt dans la tradition des travaux de Peck (1958), Barnett et Morse (1963), Vogely (1975), Tilton (1977) ou encore d'autres recherches publiées depuis 1952 par *Resources for the Future*¹. Les membres de ce dernier groupe s'avèrent en général fort peu stimulés par le défi mathématique de résoudre des problèmes complexes d'optimisation intertemporelle. Ils préfèrent plutôt se concentrer sur l'analyse des forces qui déterminent l'organisation d'une industrie minière, pétrolière ou métallurgique, ou encore sur le fonctionnement et la modélisation des marchés nationaux ou internationaux de ces ressources.

Les travaux s'inspirant de la contribution d'Hotelling sont plus connus dans le milieu universitaire que les travaux plus empiriques, plus institutionnels ou plus intéressés par l'ensemble des forces de la concurrence. L'objectif de cet article est de mieux faire connaître la seconde approche, donc des travaux qui s'avèrent somme toute des applications à l'industrie des ressources de théories ou de cadres d'analyse développés par les différentes branches de la science économique.

1. L'ÉPUISEMENT DES RESSOURCES ET LA HAUSSE DE LEURS PRIX RÉELS:
UNE THÉORIE À LA RECHERCHE D'UN SUPPORT EMPIRIQUE?

Les travaux de Barnett et Morse sont à l'économie minière ce que les travaux de Leontief ont été à l'économie internationale. Dans les deux cas, la théorie prédominante (d'Hotelling, pour l'un, d'Heckscher-Ohlin pour l'autre) semble convaincante, ses résultats découlant directement d'hypothèses *a priori* raisonnables de rationalité des acteurs économiques. Malgré cela, les faits ne semblent pas confirmer les prévisions du modèle. Dans le but de mieux saisir l'impact des travaux de Barnett et Morse, rappelons l'essentiel de la contribution d'Hotelling.

1. *Resources for the Future* (RFF) est un organisme indépendant sans but lucratif dédié à la recherche sur le développement, la conservation et l'utilisation des ressources naturelles, ainsi qu'à la qualité de l'environnement. Le lecteur intéressé par une description sommaire des objectifs de cet organisme est référé à Peck ed. (1988, p. v).

1.1 *La thèse centrale de la théorie d'Hotelling*

La thèse centrale est que l'exploitation des ressources non renouvelables occasionne non seulement des coûts courants reflétés par le coût marginal d'extraction, mais aussi un coût d'opportunité lié à l'épuisement d'un stock fixe de ressources, l'exploitation présente réduisant par le fait même la quantité de ressources disponibles pour l'exploitation future. Ce coût d'usage de la ressource reflète la valeur présente des recettes futures auxquelles le propriétaire de la ressource en terre devra renoncer (recettes égales aux ventes moins les coûts d'extraction) si l'on exploite ce stock durant la période présente. Il peut être considéré comme une rente d'épuisabilité.

Hotelling établit alors que la valeur d'un stock de ressources laissé en terre doit augmenter au taux d'intérêt que leur propriétaire peut gagner sur des actifs alternatifs. En effet, un stock de ressources en terre constitue un actif. Par contre, contrairement à d'autres actifs, les ressources en terre ne rapportent pas de dividendes et leur seul rendement demeure le gain de capital que procure l'accroissement de leur valeur. Le propriétaire de cet actif a donc un choix à faire. S'il est rationnel, il doit laisser la ressource en terre lorsque sa valeur (c'est-à-dire la valeur présente des ventes futures découlant de l'exploitation de ce stock, une fois déduits les coûts d'extraction) s'accroît à un taux plus rapide que le taux d'intérêt, celui-ci étant le taux de rendement d'équilibre commun à tous les actifs se retrouvant dans une classe de risque donnée. Cette décision déplace le flux de production du présent vers le futur, provoque une hausse du prix courant du minerai et une diminution de son prix futur, et réduit par le fait même le rythme auquel la valeur des ressources laissées en terre s'apprécie.

Le phénomène inverse doit être observé si la valeur de la ressource en terre s'accroît à un taux moins rapide que le taux d'intérêt. Son propriétaire aura plutôt intérêt à extraire alors cette ressource, la vendre et placer les fruits de cette opération dans un actif alternatif lui rapportant le taux d'intérêt en vigueur sur le marché. Ce déplacement du flux de production du futur vers le présent provoque une diminution du prix courant et un redressement du prix futur de la ressource, causant par le fait même une appréciation de la valeur de la ressource en terre.

Dans l'article séminal de 1931, Hotelling faisait une série d'hypothèses simplificatrices, justifiées par la volonté d'isoler le phénomène qui l'intéressait : l'existence et l'évolution dans le temps d'une rente d'épuisabilité. Certaines d'entre elles sont classiques et peuvent facilement être modifiées sans risque pour la construction théorique : concurrence parfaite sur le marché des ressources et volonté des propriétaires de cette ressource de maximiser la valeur présente nette des recettes futures. D'autres par ailleurs s'avéreront fort restrictives : l'absence de changement technologique susceptible de réduire les coûts d'extraction ; la fixité du stock de ressources (pas d'efforts d'exploration et donc pas d'addition possible de nouvelles découvertes au stock connu ou anticipé) ; l'homogénéité des ressources (les coûts n'augmentent pas dans le temps à mesure que s'épuisent les gisements à plus haute teneur ou de meilleure qualité) ; enfin l'inexistence d'incertitude concernant les prix actuels et futurs.

Selon ces hypothèses, non seulement la rente d'épuisabilité doit augmenter selon une exponentielle, mais le prix de marché du minerai doit également augmenter puisque l'autre élément de ce prix, le coût marginal d'extraction, est supposé stable. Même en admettant un progrès technique temporairement plus rapide dans les mines que dans le reste de l'économie, le prix doit finir par augmenter puisqu'il paraît irréaliste de supposer que l'accroissement de la productivité des facteurs dans l'extraction minière est structurellement et en permanence supérieur à ce qu'il est dans le reste de l'économie. La théorie d'Hotelling a donc donné des fondements théoriques à la thèse selon laquelle, parce que les ressources minières sont épuisables, le prix de marché des minerais doivent tendanciellement augmenter.

1.2 Coût décroissant des ressources : les travaux de Barnett et Morse

Malgré la clarté et l'intérêt de ces propositions théoriques, elles ne semblent pas être supportées par les faits. En effet, l'organisme *Resources for the Future* publiait dès 1963 une étude de Harold Barnett et Chandler Morse suggérant que malgré l'exploitation substantielle des ressources agricoles, minières et forestières aux États-Unis entre la fin du siècle dernier et l'année 1957, les coûts réels unitaires (mesurés en unités de capital et de main-d'œuvre nécessaires par unité d'output) avaient fortement diminué. Le tableau 1 nous informe que cette baisse s'est avérée particulièrement prononcée dans le cas des minerais, leur indice passant de 210 pour la période 1870-1900 à 47 en 1957.

TABLEAU 1

COÛTS RÉELS DANS LES INDUSTRIES EXTRACTIVES (1929 = 100)

A- Coûts unitaires réels (unités de capital et de main-d'oeuvre par unité d'output)

Années	Ensemble des industries extractives	Agriculture	Minerais	Foresterie
1870-1900	124	132	210	59
1919	122	114	164	106
1957	60	61	47	90

B- Coûts unitaires réels en termes relatifs (par rapport aux industries non extractives dans l'économie)

1870-1900	99	97	157	37
1919	103	97	139	84
1957	87	89	68	130

SOURCE: Barnett (1979): 166-172.

Barnett (1979) a complété ses calculs pour la période 1957-1970. Sa conclusion est demeurée inchangée : les coûts unitaires réels de production des industries extractives ont continué leur chute. De plus, les coûts unitaires réels relatifs ont diminué pour l'ensemble des industries extractives (la baisse a été plus rapide là que dans les industries non extractives), la diminution s'avérant particulièrement forte dans le cas des minerais. La seule exception à cette tendance générale est l'industrie forestière dont la production représente environ 10 % du total de l'industrie extractive : ses coûts relatifs ont augmenté car ses coûts absolus ont diminué moins vite depuis 1919 qu'ailleurs dans l'économie. Ces résultats ont été confirmés par d'autres chercheurs (Mikesell, 1979 ; Smith, 1979 ; Simon, 1981 ; Fisher, 1981). De plus, la diminution tendancielle des coûts réels s'est continuée au cours des récentes années non seulement aux États-Unis mais aussi ailleurs dans le monde². Cette baisse au niveau des coûts de production est reflétée au niveau des prix réels (sauf dans le cas de monopoles ou de cartels)³. Ainsi, une publication récente du *U.S. Bureau of Mines* (1993) montre que les prix réels de 44 minerais et métaux ont soit diminué, soit manifesté une assez forte stabilité au cours de la période 1900-1991, les seules exceptions notables demeurant l'étain, le lithium (depuis 1973), le mercure et le tantale.

Ces résultats mettent-ils en cause la théorie d'Hotelling ? Sur le fond non, mais ils mettent en doute le caractère opératoire de sa version initiale simplifiée et des conséquences qu'on peut en tirer sur l'évolution du prix. Ils montrent en effet très clairement que :

- l'hypothèse d'absence de progrès technique est trop grossièrement simplificatrice.
- l'hypothèse d'un stock homogène connu de ressources doit également être levée. En effet, la baisse du coût relatif des minerais s'explique non seulement par les progrès techniques dans l'extraction, mais aussi dans certains cas et pour certaines périodes, par la découverte de gisements plus riches que ceux qui étaient exploités auparavant.
- La rente d'épuisabilité, même si elle existe en théorie et croît alors au taux d'intérêt, est dans la réalité, quand on est très loin de la date d'épuisement, tellement faible qu'elle n'influence en aucune manière, par rapport aux deux phénomènes cités ci-dessus, l'évolution des prix.

Un exemple pratique illustrera ce dernier point. Considérons quelques instants le cas du pétrole, seule ressource dont on pense avoir une idée (à un facteur de 2 ou 3 près) du volume des réserves restant à exploiter à un prix inférieur à celui où les utilisateurs de cette ressource favoriseront des produits ou

2. Ainsi, l'utilisation de plus en plus répandue du procédé hydrométallurgique a permis aux producteurs de cuivre de réduire leurs coûts de production de 20 à 40 % au cours des années 80 (Jolly, 1988). Un accroissement continu de la productivité énergétique a conduit au même résultat dans le cas de l'aluminium (Anthony Bird, 1993).

3. Lesquels, de plus, ont eu tendance à disparaître dans les années 80, cf. ci-dessous.

une technologie alternatifs (ce que Nordhaus appelle une *backstop technology*). Si l'on suppose un horizon d'épuisement d'environ 50 ans (en présumant une consommation croissante), un prix limite de 50 \$/bl (au-dessus de ce prix les substituts augmentent très vite leur part de marché), un coût marginal d'extraction pour le pétrole dit « conventionnel » de 20 \$/bl, et un taux de rendement interne moyen de 17 % (le taux de rentabilité jugé « normal » dans l'industrie pétrolière compte tenu du degré élevé de risque affectant les investissements dans cette industrie), la rente d'épuisabilité ne serait que de 1 cent par baril. Il est vrai que l'adoption par les entreprises pétrolières d'un taux de rendement interne plus faible de 5 % ferait grimper la rente d'épuisabilité à 2,60 \$/baril. Par contre, cette dernière reculerait à 60 cents si l'horizon d'épuisement est repoussé à 80 ans, hypothèse aussi probable que la première. Une rente de 60 cents/bl croissant à 5 % par an est à l'évidence un facteur secondaire, voire négligeable par rapport aux autres dans l'évolution des prix du pétrole.

Et encore le pétrole est-il un cas particulier! Pour les autres ressources, nous sommes loin d'avoir simplement une idée des réserves ultimes, surtout si l'on considère aussi les effets de changements technologiques non seulement sur l'offre mais aussi sur la demande de ces ressources. Si leur horizon d'épuisement dépasse 100 ans, ou si le stock prétendument fixe de ces ressources s'apparente en pratique plutôt à un flux, alors leur rente d'épuisabilité peut être considérée comme nulle.

1.3 *La rationalité des acteurs en avenir incertain*

Mais il y a une objection plus profonde, c'est la validité des hypothèses d'information parfaite (ou probabilisable) des acteurs et en particulier des propriétaires des ressources en terre. Ceux-ci sont censés surveiller le prix de marché de la ressource en terre (donc le prix de vente du minerai moins le coût d'extraction marginal) et vérifier qu'il croît bien au taux d'intérêt. Mais à un instant t quelconque, le niveau absolu de la rente d'épuisabilité dépend de la date T d'épuisement du stock de la ressource exploitable à un coût inférieur à celui du substitut. Si T est fondamentalement incertain (au sens de Knight), les détenteurs de la ressource en terre ne peuvent pas savoir quoi faire, face, par exemple, à un ralentissement de son prix qui ne croît donc plus au taux d'intérêt! En effet, si T n'a pas varié, ils doivent réagir au ralentissement des prix en restreignant leur offre de ressource, comme indiqué ci-dessus. Mais si T s'est en réalité significativement éloigné, ils doivent au contraire accroître cette offre pour profiter d'une rente d'épuisabilité qui est alors, malgré le ralentissement de la croissance de son prix, surévaluée par le marché! Or dans la réalité, T varie en permanence, et de façon incertaine, sous l'effet de très nombreux facteurs.

Faire l'hypothèse que les détenteurs de ressources maximisent leur revenu intertemporel sur des dizaines d'années en avenir probabilisable pour expliquer leur comportement en matière d'offre de ressources est pour le moins héroïque. Reprenons par exemple le cas du pétrole et examinons le comportement de

l'Arabie Saoudite et plus généralement des producteurs à bas coût et à réserves longues du Golfe arabo-persique. Ces producteurs bénéficient actuellement de rentes différentielles sans commune mesure (elles peuvent atteindre plus de 10 \$/bl) avec la rente d'épuisabilité qu'ils seraient censés maximiser dans le temps (on a vu que dans le meilleur des cas elle oscillait autour d'un dollar par baril et probablement moins). Ceci vient de ce que, pour des raisons complexes, ils laissent produire une frange de concurrents aux coûts nettement plus élevés que les leurs. Dans ces conditions, leur comportement n'est-il pas beaucoup mieux représenté par un modèle d'oligopole de Stackelberg avec frange compétitive agissant comme si leurs ressources étaient infinies (nous parlons des producteurs du Golfe), que par un modèle de maximisation intertemporelle de la valeur en terre de leurs ressources ? (Giraud, P.N., 1994).

1.4 Les développements récents : hypothèses plus réalistes et pluralité des prévisions théoriques

Très peu connue et citée au cours des trois premières décennies suivant sa publication, la théorie d'Hotelling a repris depuis lors du service, ressuscitée par les discussions entourant le cri d'alarme lancé par le Club de Rome ainsi que par les nouveaux problèmes économiques posés par la « crise énergétique ». C'est ainsi, par exemple, qu'au milieu des années 70 on a beaucoup discuté, dans les milieux de l'OPEP, d'une formule dite de Taïeb qui consistait à faire croître le prix réel du pétrole au taux de la croissance économique mondiale. On reconnaît là l'influence directe d'une version simplifiée et à vrai dire caricaturale de la théorie d'Hotelling, puisque c'est la rente et non le prix qui doit croître exponentiellement.

À l'occasion de ce regain d'actualité, des économistes parmi les plus brillants de la profession se sont attachés à compléter les travaux d'Hotelling en adoptant des hypothèses moins restrictives et donc plus réalistes que celles rappelées ci-dessus. Plusieurs de ces modèles ont été recensés par Bohi et Toman (1984) et Fisher (1981, chap. 2). Ainsi, beaucoup d'entre eux supposent dorénavant un stock hétérogène de ressources. Certains ont introduit le phénomène de l'exploration et donc d'additions continues au stock de réserves. D'autres ont tenté d'intégrer le changement technologique, l'incertitude ainsi que des conditions de marché non concurrentielles. Ainsi ont été étudiés non seulement le cas du monopole mais aussi celui de l'oligopole où l'on retrouve une firme dominante (ou un cartel) et une frange concurrentielle, toutes les deux caractérisées par des coûts d'exploitation fort différents. Un des résultats les plus intéressants dans cette voie a été de mettre en évidence, grâce en particulier à des modèles de théorie des jeux, les dimensions stratégiques du comportement des entreprises minières et pétrolières opérant dans une dynamique oligopolistique (Salant, 1976 ; Lewis et Schamalensee, 1982 ; Gaudet et Hung, 1987). Mais ces travaux relèvent en fait beaucoup plus de la « nouvelle économie industrielle » que de la filiation d'Hotelling, et les hypothèses de non-renouvelabilité de la ressource

passent en réalité au second plan dans les résultats comparés à celles qui sont faites sur les structures de marché, les comportements stratégiques et la nature des jeux qui permettent de les modéliser.

À mesure que des hypothèses plus réalistes sont adoptées et intégrées dans les théories sur l'offre des ressources (particulièrement l'introduction de l'exploration et des changements technologiques), ces dernières n'anticipent plus nécessairement une valeur croissante des ressources en terre. Or, comme le souligne Tilton (1991, p.136), il est réconfortant de réaliser que les théories modernes sur l'offre de ressources non renouvelables ne sont plus en conflit avec les études empiriques disponibles. Par contre :

« On the other hand, the theories have become so versatile that they can anticipate almost any type of observable behaviour and hence are of little value in predicting the future or in assessing the threat of resources depletion ».

2. LA DYNAMIQUE D'ÉVOLUTION DES INDUSTRIES DES RESSOURCES ET LE FONCTIONNEMENT DE LEURS MARCHÉS: DES ÉTUDES EMPIRIQUES À LA RECHERCHE D'UN SUPPORT THÉORIQUE?

Une deuxième réaction a été de suggérer que puisque l'horizon d'épuisement de la plupart des ressources peut dépasser une centaine d'années (et même plus) lorsque on tient compte :

- de l'ensemble des matériaux susceptibles d'offrir les mêmes services que les minerais, le pétrole ou les métaux ;
- ainsi que des changements technologiques capables dans le passé et certainement dans un futur prévisible de compenser la hausse à long terme des coûts causée par la plus faible teneur des gisements, banalisant par le fait même la valeur de la rente d'épuisabilité ;

il ne s'avère plus nécessaire alors, du point de vue de l'analyse économique, de considérer les entreprises minières, pétrolières ou métallurgiques différemment des autres entreprises. Les mêmes théories, concepts ou grilles d'analyse développées en économie de l'entreprise, en économie des finances publiques, en organisation industrielle, en économie internationale et dans les diverses branches de la micro et macro-économie, peuvent s'appliquer autant à l'industrie des ressources qu'à celle de l'audio-visuel ou de l'aéronautique. Tout en étant fort différente des autres industries du point de vue des institutions, de la technologie, du degré de concurrence observable, ou encore du fonctionnement des marchés où leurs produits sont transigés, l'industrie des ressources minières et énergétiques ne mérite pas un statut particulier.

Faire ressortir ces différences institutionnelles et technologiques, analyser plus en détail l'évolution et la dynamique des diverses industries composant le secteur des ressources, effectuer une analyse comparée des politiques minière et

pétrolière, saisir le processus de détermination des prix et simuler le fonctionnement de ces marchés grâce à la construction de modèles économétriques, circonscrire l'impact du secteur des ressources sur diverses variables macro-économiques, expliquer la surprenante évolution de la consommation de la plupart des ressources au cours des vingt dernières années, ou encore comprendre les mécanismes par lesquels le changement technologique affecte l'équilibre des marchés et le comportement de ses principaux acteurs, voilà autant d'objectifs retenus par la seconde famille d'économie minière ou d'économie pétrolière. Nous présentons au cours des pages suivantes quelques unes de ses principales contributions.

2.1 *Les évolutions de la demande de ressources minières et pétrolières*

La seconde famille d'économie minière ou pétrolière a beaucoup développé l'analyse de la demande tandis que la première s'est essentiellement concentrée sur l'offre. Cet intérêt a débuté avec les travaux de Malenbaum (1978) suggérant que l'intensité d'utilisation d'un minerai ou du pétrole (IU, ou leur consommation en volume par dollar constant du produit intérieur brut) est reliée au niveau de développement économique d'un pays tel que reflété par son revenu *per capita*. Cette relation n'est pas linéaire. En effet, une fois que le développement économique a permis aux consommateurs de satisfaire leur demande pour une résidence, une voiture, des ponts, des ports, des écoles ou des hôpitaux, ces derniers commencent à dépenser une partie croissante de leurs revenus en services ou encore en produits manufacturés plus intensifs en capital humain qu'en ressources minières ou énergétiques. Malenbaum fait aussi intervenir le phénomène de la substitution entre les divers matériaux ainsi que le changement technologique pour expliquer que la valeur de IU pour le pétrole et la plupart des minerais et métaux atteint un sommet puis décroît dans les économies très développées, présentant ainsi une forme de U inversé.

Cette approche comporte certaines limites. Ainsi, il n'est pas certain que la relation entre IU et le revenu *per capita* soit stable dans le temps. De plus, elle suppose que des pays actuellement peu développés vont adopter plus tard au fur et à mesure de leur développement économique le même profil de consommation que celui des pays à revenus *per capita* plus élevés. Mais le plus important problème demeure son hypothèse que le revenu *per capita* capte l'influence de variables aussi diversifiées que :

- l'importance croissante du secteur tertiaire par rapport aux autres secteurs plus énergivores ou consommant plus de minerais et métaux ;
- les développements technologiques qui permettent la fabrication des mêmes produits avec moins de ressources minières ou pétrolières⁴;

4. Pensons aux procédés d'électro-galvanisation ou de l'électro-déposition qui assurent la même résistance à la corrosion que la technique du trempage mais en consommant beaucoup moins de zinc ou d'étain. Un autre exemple demeure la réduction dans la poids des cannettes d'aluminium grâce à l'utilisation d'alliages plus performants. Signalons enfin la miniaturisation ou les changements de design qui permettent d'importantes économies de ressources de base.

- la substitution au sens large : intra-métaux et inter-matériaux, tout en accordant une place importante aux métaux recyclés ;
- les changements dans les goûts des consommateurs⁵ ;
- les politiques gouvernementales concernant l'utilisation de produits recyclés ou encore des normes de sécurité.

Ces lacunes ont été en grande partie dépassées par les travaux ultérieurs de Roberts (1988), Nappi (1989), Tilton (1990), Suslick et Harris (1988), Furtado et Suslick (1993), etc. Ces derniers ont permis de mieux structurer les variables indépendantes susceptibles d'influencer la valeur de IU⁶, d'illustrer et de quantifier l'importance de chacune d'elle, et d'ainsi mieux comprendre les facteurs du ralentissement caractérisant la demande de pétrole et celle de la plupart des minerais et métaux depuis le milieu des années soixante-dix⁷. Enfin, en adoptant une vision élargie des substitutions, le chercheur est sorti du monde des minerais et métaux pour investir un monde de concurrence beaucoup plus vaste, non seulement entre matériaux ou entre énergies mais entre matériaux-énergies-capital-travail. En conséquence, il est apparu que contrairement à une vision de substitution par seuil (par exemple : la *backstop technology*) implicite ou explicite dans la première famille d'économie minière, les substitutions étaient un processus dynamique, pratiquement continu et réversible. Aucun matériau n'est définitivement battu dans aucun usage, les nouveaux matériaux ne l'emportent pas systématiquement sur les anciens, et les aciers actuels sont aussi nouveaux que les matériaux composites et les céramiques techniques. En bref, la seconde famille a beaucoup développé l'analyse des déterminants de la compétition entre matériaux et du contenu matériel de la croissance économique, ainsi que

5. Ainsi, l'augmentation du nombre de repas pris au restaurant affecte la consommation de contenants et de diverses formes d'emballage.

6. Ils ont détaillé et illustré (pour l'industrie automobile et celle des contenants et emballages) le processus par lequel des changements dans les prix relatifs des ressources minières et énergétiques provoquent éventuellement des changements technologiques et déclenchent après un certain seuil les forces de la substitution, modifiant ainsi la composition des produits par type de matériaux (CPM). De plus, ces travaux ont montré comment des changements dans les préférences des consommateurs ou des modifications dans la dotation en facteurs de production provoquent des déplacements intersectoriels (favorisant les services au détriment du manufacturier) et intra-sectoriels (croissance à l'intérieur du secteur manufacturier d'activités intensives en capital humain au détriment d'activités plus reliées à l'industrie lourde). Ces déplacements d'activités affectent la composition du revenu national par types de produits (CRP). Les valeurs de CPM et de CRP déterminent le niveau de l'intensité d'utilisation d'un minerai, d'un métal ou du pétrole (IU). Cette mesure de productivité, associée au revenu national et donc à la conjoncture économique, déterminent ensemble l'évolution de la demande des ressources à l'étude.

7. Contrairement aux périodes précédentes où la croissance économique compensait la diminution tendancielle de IU (notons que cette valeur augmentait pour certains métaux tels l'aluminium et le nickel), tel n'a plus été le cas après les deux chocs pétroliers. La plus faible croissance économique combinée à une diminution plus rapide de IU (explicable par les prix élevés des ressources minières et énergétiques au cours de la période 1975-1985, ce qui a accéléré leur remplacement par d'autres matériaux ou d'autres facteurs de production) ont résulté en un taux de croissance de la consommation de ces ressources inférieur à celui du produit intérieur brut.

l'analyse des relations croissance-technologie-demande, alors que la première s'est essentiellement concentrée sur l'offre.

2.2 *La courbe d'offre cumulative des ressources non renouvelables*

Du côté de l'offre, la seconde famille propose un concept intégrateur : celui de la courbe d'offre cumulative (Tilton et Skinner, 1987 ; Tilton, 1991). Cette courbe donne la quantité totale d'un minerai ou de pétrole qui, compte tenu des connaissances géologiques et de la technologie présente, peut être économiquement extraite à différents prix sur un horizon infini de temps. Elle diffère de la courbe d'offre traditionnelle qui présente plutôt le flux des quantités de minerais ou de pétrole que les producteurs sont prêts à offrir sur un marché à différents prix possibles et pour une période de temps donnée. La construction d'une courbe d'offre cumulative (COC) nécessite donc l'hypothèse que tous les facteurs susceptibles d'exercer une influence sur l'offre d'un minerai à l'exception de son prix demeurent inchangés à leur niveau actuel. Ceci inclut le bagage présent de connaissances géologiques et technologiques. Cette hypothèse assure une pente positive à la COC (puisque l'accroissement graduel des prix permet l'exploitation d'une façon économique de gisements de plus en plus faibles en teneur ou localisés de plus en plus loin du marché) mais pas nécessairement constante. En effet, même si dans certains cas une légère hausse des prix assure un accroissement appréciable de l'output cumulatif, le même résultat exige ailleurs une hausse appréciable de ce facteur. Ceci peut donner lieu à une courbe caractérisée par des paliers et même dans certains cas des discontinuités.

D'après ce concept d'offre cumulative, l'évolution dans le temps du coût des ressources principales va être fonction de trois ensembles de facteurs. En premier lieu, on retrouve les facteurs géologiques (le nombre, la distribution et la nature des gisements exploitables et exploités) qui façonnent la forme de COC. Le deuxième ensemble de facteurs déterminant l'évolution du coût des ressources regroupe les facteurs de demande tels le taux de croissance de la population, celui des revenus *per capita*, les substitutions de matériaux ou encore les modifications dans les goûts des consommateurs. Cet ensemble de variables détermine à quelle vitesse la société force les producteurs de minerais ou de pétrole à se déplacer sur la courbe d'offre cumulative. Enfin, nous retrouvons les facteurs technologiques qui englobent non seulement les améliorations continues au niveau des technologies d'exploration, d'extraction et de transformation mais aussi les percées possibles au niveau des connaissances géologiques (permettant dans ce dernier cas une exploration et une exploitation plus extensive et plus intensive des gisements miniers). Même si un accroissement du coût des principaux facteurs de production peut provoquer un déplacement complet de la COC vers le haut, la réduction de coûts provoquée par les améliorations continues au niveau technologique et géologique ont plutôt causé au cours de ce siècle son déplacement continu vers le bas.

La baisse observée depuis plusieurs décennies déjà dans les prix et les coûts des ressources non renouvelables devient explicable si on utilise le concept de l'offre cumulative. En effet, même sans tenir compte du ralentissement de la demande des ressources minières et pétrolières observée chez les principaux pays membres de l'OCDE, cette baisse peut être expliquée par le fait que la réduction dans les coûts causée par les facteurs technologiques a plus que compensé la hausse des coûts résultant de l'exploration et l'exploitation de gisements de moins en moins riches en teneur ou localisés de plus en plus loin des marchés ou des infrastructures de transport. Tel n'est pas toujours le cas. Pour certains minerais tel l'étain, les améliorations dans les technologies d'exploration et d'exploitation se sont avérées moins importantes et l'accroissement des disponibilités minières peut nécessiter une hausse appréciable des prix.

Il est intéressant d'ouvrir ici une parenthèse et de considérer le cas des ressources dites « renouvelables ». La situation y est différente car les coûts d'acquisition (et donc l'épuisement) dépendent ici non pas de l'exploitation cumulative des ressources mais plutôt de deux variables distinctes : le taux d'exploitation et le rythme de dégradation du système reproductif. En effet, étant donné que les ressources renouvelables de meilleure qualité sont exploitées en premier, la courbe d'offre de ces ressources va emprunter une pente ascendante dès le dépassement d'un certain taux d'exploitation. De plus, la mauvaise utilisation de la ressource (par exemple la surpêche ou la surconsommation de l'eau) peut freiner et même endommager le taux de reproduction de la ressource, provoquant par le fait même un déplacement de la courbe d'offre vers le haut et vers la gauche. Nous pouvons donc facilement avoir le cas où le coût d'acquisition (et l'épuisement) des ressources dites renouvelables augmente plus rapidement que celui des ressources dites non renouvelables. Tilton et Skinner (1987, pp. 22-23) résument ainsi cette possibilité :

« The important point is that the costs of acquiring sustainable resources can rise either because their rate of exploitation is increasing or because their replenishment system is being weakened. Conversely, the costs of acquiring nonsustainable resources need not rise, despite their upward sloping cumulative supply curves, since new technology and other factors are shifting these curves downward over time... This raises the possibility that the prevailing emphasis on the exhaustion of minerals, energy and other nonsustainable resources may be misplaced and that shortages of sustainable resources such as water and soil may pose a more immediate and pressing challenge to the welfare of society, at least in many regions of the world »

Malgré l'intérêt de ce concept et les hypothèses nouvelles qu'il permet de soulever, est-il possible de connaître la forme de cette courbe pour les principaux minerais ou sources de pétrole ? La construction de la courbe d'offre cumulative demande de l'information détaillée sur le nombre et l'importance des gisements miniers ou pétroliers qui seraient économiquement exploitables à divers prix possibles, sous les hypothèses que la technologie actuelle et le coût des inputs demeurent inchangés. L'information disponible permet déjà de cons-

truire la partie inférieure de COC. Sa construction complète exige plus d'information sur les gisements sous-économiques, c'est-à-dire les gisements pour l'instant non rentables mais qui pourraient le devenir dans un avenir rapproché suite à une hausse des prix ou une réduction significative de leurs coûts d'exploitation.

2.3 L'organisation industrielle et le marché des ressources : un intérêt commun, deux visions divergentes

Nous avons noté plus haut que la formulation des conditions d'optimisation intertemporelle assurant un profil efficace d'extraction d'une ressource minière ou pétrolière a été effectuée non seulement dans un cadre concurrentiel mais aussi des contextes de marchés imparfaits. Ainsi, Stiglitz et Dasgupta (1982) ont démontré que le prix de monopole de la ressource ne s'avère pas un bon indicateur de sa rareté pour la société puisque ce prix reflète, en plus de la rente de rareté de la ressource telle qu'évaluée pour le monopoleur, le coût marginal d'extraction ainsi que la rente inhérente au pouvoir de monopole. D'autres ont fait ressortir les stratégies susceptibles d'être adoptées par des entreprises opérant dans une dynamique oligopolistique (Salant, 1976 ; Gilbert, 1978 ; Ulph et Folie, 1980 ; Griffin, 1985). Dans ce dernier cas, une attention particulière a été accordée à la relation entre une firme dominante (souvent un cartel caractérisé par des faibles coûts d'extraction et d'importantes réserves) et un ensemble d'autres firmes minières composant la frange concurrentielle. L'essentiel de ces travaux a porté sur l'impact des écarts des coûts d'exploitation entre la frange et le cartel sur la trajectoire des prix d'équilibre entre le moment présent et la date prévue d'épuisement de la ressource.

L'organisation industrielle des ressources ainsi que les stratégies adoptées par les entreprises membres ont aussi intéressé les analystes de la « seconde famille » sauf que la dynamique des monopoles ou des oligopoles leur semble une préoccupation peu pertinente dans la mesure que leurs travaux (Civettini, 1992 ; de Sa, 1992 ; Labys, 1980 ; Nappi, 1985, 1990, 1994 ; Radetzki, 1984) suggèrent que le degré de concurrence a substantiellement augmenté dans les principales industries de ressources minières ou énergétiques au cours du dernier quart de siècle. En effet, contrairement au milieu des années soixante lorsque les industries internationales de l'acier, aluminium, cuivre, nickel, pétrole, plomb ou zinc étaient dominées par un petit groupe de producteurs capables de coordonner leur politique de prix et de production (poursuivant donc une stratégie relativement homogène), où ces producteurs faisaient face à une demande passablement inélastique au prix (les consommateurs pouvant peu compter sur des substituts tels d'autres métaux primaires, les nouveaux matériaux, les métaux recyclés ou encore, dans le cas de marchés nationaux, les importations) et où l'élasticité-prix de l'offre en provenance des autres producteurs s'avérait assez faible, la situation s'est profondément modifiée.

Ainsi, non seulement le nombre de producteurs a augmenté par un facteur oscillant entre 4 et 10, mais de plus leur composition s'est complètement modifiée. On retrouve aujourd'hui, côtoyant les entreprises privées désireuses de maximiser leur profit, des entreprises sous influence gouvernementale à objectifs multiples dont la maximisation des entrées en devises nécessaires au financement des importations, l'utilisation des ressources minières ou pétrolières locales, ou encore la recherche du plus grand impact possible sur le marché national ou régional de l'emploi. De plus, au niveau des entreprises privées, le modèle de la firme totalement intégrée tend à s'estomper au profit d'entreprises de tailles différentes et opérant surtout en amont ou en aval de la filière de production. Dans la mesure où ces groupes de firmes poursuivent des stratégies différentes, ceci handicape leur habilité de coordination et réduit la capacité pour un groupe d'entreprises d'exercer une influence substantielle et prolongée sur le niveau des prix par une modification de leur rythme de production.

Parallèlement à cette dilution du pouvoir de marché des grandes entreprises du milieu des années 60, une hausse substantielle de l'élasticité-prix de la demande a aussi été observée. Ceci s'explique non seulement par la hausse spectaculaire des importations (en concurrence avec la production nationale), mais aussi par l'introduction de nouvelles technologies permettant une utilisation plus prononcée du métal secondaire. Cette source alternative d'approvisionnement représente aujourd'hui entre 30 et 55 % des approvisionnements totaux, sa part de marché s'avérant particulièrement impressionnante pour l'acier, le cuivre et le plomb. En plus des importations et du métal secondaire, les consommateurs peuvent compter sur de nombreux substituts allant des polymères à des matériaux nouveaux tels les céramiques industrielles ou les produits composites. Cette hausse de l'élasticité-prix de la demande a réduit l'importance de la marge bénéficiaire des entreprises productrices et affaibli leur capacité de financer leur croissance. Notons enfin que la découverte continuelle de nouveaux gisements, leur exploitation par de nouvelles entreprises (souvent des agences gouvernementales) et l'introduction de technologies de plus en plus flexibles, ont provoqué un accroissement de l'élasticité-prix de l'offre, ce qui n'est pas de nature à augmenter la capacité d'un petit nombre de producteurs d'exercer une influence substantielle et prolongée sur leurs marchés d'opération.

Étant donné ce plus grand degré de concurrence, l'industrie des minerais et du pétrole a progressivement abandonné l'utilisation des prix de liste ou des prix officiels (situation où le prix s'avère une variable fort stable puisque l'ajustement à une situation de déséquilibre s'effectue plutôt en modifiant les volumes de production ou encore en faisant varier le niveau des stocks) et plutôt adopté les prix fixés sur des bourses de commerce telles le *London Metal Exchange*, le *Commodity Exchange* de New York ou encore la bourse de commerce de Rotterdam. Le comportement des firmes s'est modifié non seulement au niveau de leur politique de prix mais aussi en ce qui concerne leur politique de recherche et développement. Ainsi, un examen de leurs prises de brevets

révèle un plus grand engouement pour la recherche devant mener au développement de nouveaux produits par opposition à une politique de R & D axée trop spécifiquement sur les procédés de production.

La seconde famille d'économie minière et pétrolière a fait porter ses travaux non seulement sur la concurrence mais aussi sur d'autres aspects de l'organisation industrielle tels les déterminants de l'intégration verticale dans les industries de ressources minières (Hennart, 1988), les coûts de transaction et les contrats à long terme (Joskow, 1985) ou encore le rôle des politiques gouvernementales (politique minière, commerciale, du taux de change, de l'environnement, etc.) sur la structure, le comportement et les performances des agents de production. Ce lien entre « politiques publiques » et « compétitivité des entreprises » a été examiné en détail pour les industries de l'aluminium, cuivre, étain, plomb, zinc et matériaux avancés (Peck, Landsberg, Tilton: 1992). En général, on peut affirmer que la majorité de ces travaux répondent assez bien au désir exprimé par Coase (1972, p. 60):

«... what one would expect to learn from a study of industrial organization would be how industry is organized now, and how this differs from what it was in earlier periods; what forces were operative in bringing about this organization of industry, and how these forces have been changing over time; what the effects would be of proposals to change, through legal actions of various kinds, the forms of industrial organization.»

2.4 Les marchés des ressources et leur modélisation

Nous avons souligné à quelques reprises l'intérêt de la seconde famille d'économie minière et pétrolière pour des travaux plus empiriques, portant sur l'analyse du fonctionnement réel des industries et marchés des ressources, plus focalisés sur la réglementation et ses effets sur la demande, l'offre et les prix de ces ressources. Il n'est donc pas surprenant de constater que cet intérêt a donné naissance à des centaines d'efforts de modélisation de ces marchés dans le but de simuler l'adoption de certaines politiques gouvernementales, effectuer des prévisions pour un ensemble de variables endogènes, ou encore estimer la sensibilité de la demande et de l'offre d'une ressource à des variations de prix, de revenus ou de toute autre force exerçant à court et à long terme une influence sur ces marchés. L'expression « centaines d'efforts » ne s'avère pas une exagération puisqu'une bibliographie relativement récente effectuée par Labys (1987) a répertorié plus de 4000 de ces modèles. Cet ensemble imposant est composé surtout mais pas exclusivement de modèles économétriques, les autres approches présentes étant l'analyse input-output, les modèles de programmation linéaire, quadratique, récursive ou encore hybride, les modèles d'optimisation, ou encore ceux portant sur la dynamique des systèmes.

Les modèles économétriques couvrent non seulement les industries minières, métallurgiques et énergétiques, mais aussi les industries agricoles. Ils s'intéressent à la modélisation de la demande et les diverses formes de la substitution,

celle de l'offre et le processus de dissémination des nouvelles technologies, ou encore aux fonctions d'exportation et d'importation de ces matières premières et à l'impact des barrières tarifaires et surtout non tarifaires sur leur flux commerciaux. Au niveau des fonctions d'inventaires, la plupart de ces modèles tiennent compte non seulement des nombreux agents qui en détiennent mais aussi des raisons diverses évoquées par chacun d'eux pour justifier une telle détention. Les fonctions de prix couvrent les diverses formes d'ajustement (par les stocks, les flux, les stocks-flux) et accordent une attention particulière au rôle des anticipations.

De nombreux modèles économétriques ont aussi été construits pour l'analyse des marchés de ressources minières ou énergétiques dans leur ensemble, et non seulement pour l'étude des comportements de quelques uns des agents économiques (producteurs, consommateurs) opérant sur de tels marchés. Dans un tel cas, ils ont voulu étudier le coût et les effets d'une politique de stabilisation des prix ou des revenus (le Programme Intégré de la CNUCED ; les stocks régulateurs et l'entente internationale de l'étain ; les quotas de production et les ententes sur le café et le cacao ; les fonds régulateurs ; etc.) sur les recettes des producteurs et des exportateurs, le niveau des prix et les revenus nets d'opération des agences publiques chargées de la gestion de tels programmes. D'autres modèles ont abordé le problème des effets macro-économiques découlant des exportations des ressources primaires ; une attention particulière a alors été accordée à l'impact de ces flux sur la croissance économique des pays en développement (en particulier le « syndrome hollandais ») et les entrées en devises étrangères (Daniel, 1992 ; Bomsel, 1992). Leur mise sur pied a aussi été stimulée par la capacité ou plutôt la volonté de prévision des modèles économétriques. Une grande variété de méthodes basées sur l'analyse de séries chronologiques ont alors été utilisées allant des modèles autorégressifs (vectoriels ou de moyennes mobiles) aux modèles dynamiques à équations multiples et à résolution simultanée, ou encore aux modèles de régression spectrale. Signalons enfin la construction de modèles économétriques dans le but d'analyser l'interaction entre les conditions du marché international, la structure des marchés, le pouvoir de négociation des principaux agents économiques, la performance économique de l'industrie et la formation des prix⁸.

CONCLUSION

Le but de cet article était de mieux faire connaître les travaux d'un groupe d'économistes qui tout en ne suivant pas les traces d'Hotelling estiment cependant non seulement faire partie de la grande famille de l'économie minière et

8. La mise sur pied de ces modèles n'est pas exempte de problèmes. Ainsi, les données statistiques disponibles ne couvrent pas toujours la même réalité que celle désirée par la théorie économique. On ne s'assure pas toujours que les hypothèses de stabilité, continuité et réversibilité des fonctions de demande et d'offre sont respectées. La spécification des variables et la forme de la relation empirique résultent trop souvent non pas de la théorie économique mais plutôt d'un processus d'« essai-et-erreur ». Le lecteur intéressé est référé à Vogely (1975).

pétrolière mais aussi y contribuer significativement. Nous avons fait ressortir quatre domaines où leurs travaux se distinguent nettement de ceux effectués par l'école plus orthodoxe : la demande des ressources et le déclin de leur intensité d'utilisation ; la courbe d'offre cumulative des ressources non renouvelables et son déplacement continu vers le bas sous l'effet combiné des changements technologiques et des nouvelles percées géologiques ; les raisons d'une plus grande concurrence dans les industries des ressources minières et énergétiques ; la modélisation économétrique de ces industries et marchés.

Les différences ne s'arrêtent pas là. Les recherches entreprises par le deuxième groupe mentionné s'avèrent aussi plus multidisciplinaires, faisant intervenir à côté des facteurs économiques les variables politiques (Giraud, 1992, 1994 ; Moran, 1974, 1987, 1992) et celles de gestion (Kalyon, 1987 ; Jackson et Richardson, 1989 ; Wojcieckowski et Richardson, 1987). De plus, leurs travaux laissent en général de côté l'hypothèse que les acteurs industriels sont substantiellement rationnels⁹ et adoptent plutôt l'hypothèse de rationalité limitée. Les acteurs industriels semblent alors beaucoup plus guidés par l'objectif de capter des rentes différentielles d'origine naturelle et des quasi-rentes temporaires d'origine technique que par une optimisation intertemporelle longue de la rente d'épuisabilité. Enfin, leurs travaux sur les questions environnementales font, plus que tous les autres, ressortir que le facteur limitant peut être moins l'épuisement des ressources naturelles que la saturation des capacités naturelles d'absorption des déchets.

Ces travaux revêtent non seulement une importance dans la connaissance de l'industrie et la discussion des politiques publiques la concernant, mais de plus ils affectent tout le débat sur l'épuisabilité des ressources dites non renouvelables. En effet, en montrant que la disponibilité ultime de ces ressources ne peut être connue, que les efforts d'exploration continuent à rapporter des fruits et que le rythme des changements technologiques au niveau de la production et de la consommation ne semble pas ralentir, ces travaux ont contribué à remettre en question l'hypothèse voulant qu'il existe à chaque point dans le temps un stock fixe de ressources et que leur utilisation par la génération présente s'effectue au coût d'une consommation moindre pour les générations futures. Quelles sont les conséquences pour les professeurs d'économie des ressources naturelles ou encore les propriétaires de ces facteurs de production si on n'anticipe plus que le prix réel par unité des ressources en terre va augmenter au taux d'intérêt réel ? La réponse fournie par Arnold C. Harberger (1993, p. 11) devant l'assemblée annuelle de l'*American Economic Association* mérite d'être citée :

9. Au sens de H. Simon : les acteurs industriels sont substantiellement rationnels lorsqu'ils optimisent une fonction d'utilité après avoir « probabilisé » tous les états futurs possibles du monde et les réactions des autres acteurs.

« Does this mean we should stop teaching the beautiful, clean, neat, simple theorem that we all learned ? I think not. Rather, we should teach it as a door-opener, to be followed by a demonstration of its massive failure to explain the facts of the last century or so, to be followed in turn by an explanation of some of the more plausible reasons for this massive failure. The theorem itself implies that if prices are not expected to rise at the required rate, there is no point in holding inventories of minerals in the ground. Under those circumstances one should extract rather than hold, the speed of extraction being governed more by considerations of extraction costs than, as the theorem states, by the benefits of holding per se. This is what we tend to observe. All this makes more sense when one builds in the facts that the available amounts of exhaustible resources are not known, that mineral discoveries are constantly being made and that technological substitutions often trigger dramatic drops in mineral prices »

BIBLIOGRAPHIE

- BARNETT, H.J. (1979), « Scarcity and Growth Revisited », in SMITH, V.K. (éd.), *Scarcity and Growth Reconsidered*, Resources for the Future (by the Johns Hopkins University Press), Washington, D.C. : 163-217.
- BARNETT, H.J., et C. MORSE (1963), *Scarcity and Growth: the Economics of Natural Resource Availability*, Resources for the Future (by the Johns Hopkins University Press), Washington, D.C., 288 p.
- BIRD, A. (1993), « Changing Patterns in Aluminium Production Costs : History and Prospects », *Natural Resources Forum*, Vol. 17, No. 2, mai : 151-155.
- BOHI, D.R., et M.A. TOMAN (1984), *Analysing Nonrenewable Resource Supply*, Resources for the Future, Washington, D.C., 159 p.
- BOMSEL, O. (1992), « The Political Economy of Rent in Mining Countries », in J.E. TILTON (éd.), *Mineral Wealth and Economic Development*, Resources for the Future, Washington, D.C. : 81-121.
- CIVETTINI, S. (1992), « Les groupes stratégiques et l'évolution de la concurrence au sein d'une industrie : le cas de l'industrie américaine de l'acier », Rapport théorique de Ph.D., École des Hautes Études Commerciales, Montréal, 100 p.
- COASE, R.H. (1972), « Industrial Organization : a Proposal for Research », in V.R. FUCHS (éd.), *Policy Issues and Research Opportunities in Industrial Organization*, National Bureau of Economic Research, New York.
- DANIEL, P. (1992), « Economic Policy in Mineral-Exporting Countries : What Have We Learned ? », in J.E. TILTON (éd.), *Mineral Wealth and Economic Development*, Resources for the Future, Washington : 81-121.
- DE SA, P. (1992), *Industrie minière mondiale : Leçons d'une Crise*, Ministère de l'Industrie et du Commerce Extérieur, Observatoire des Matières Premières, Paris, 244 p.
- FISHER, A.C. (1981), *Resource and Environmental Economics*, Cambridge University Press, Cambridge, 284 p.

- FURTADO, A.T., et S.B. SUSLICK (1993), « Forecasting of Petroleum Consumption in Brazil Using the Intensity of Energy Technique », *Energy Policy*, septembre : 958-968.
- GAUDET, G., et N.M. HUNG (1987), « Théorie économique des ressources non-renouvelables : quelques éléments de synthèse », A. AYOUB et J. PERCEBOIS (éds), *Pétrole : Marchés et Stratégies*, Economica, Paris : 137-148.
- GILBERT, R. (1978), « Dominant Firm Pricing Policy in a Market for an Exhaustible Resource », *The Bell Journal of Economics*, vol. 9 : 385-395.
- GIRAUD, P.N. (1992), « La logique de formation des prix des énergies primaires », *Économies et Sociétés*, (Série Économie de l'Énergie), No. 5, janvier-février : 39-68.
- GIRAUD, P.N. (1994), « Economics, Politics and Uncertainty in the Formation of Oil Prices », *Energy Journal* (à être publié).
- GRIFFIN, J.M. (1985), « OPEC Behavior : a Test of Alternative Hypotheses », *The American Economic Review*, vol. 75, No. 5, décembre : 954-963.
- HARBERGER, A.C. (1993), « The Search for Relevance in Economics », *American Economic Association Papers and Proceedings*, Richard T. Ely Lecture, mai : 1-16.
- HENNART, J.F. (1988), « Upstream Vertical Integration in the Aluminium and Tin Industries », *Journal of Economic Behavior and Organization*, vol. 9, No. 3 : 281-299.
- HOTELLING, H. (1931), « The Economics of Exhaustible Resources », *Journal of Political Economy*, vol. 39, avril : 137-175.
- JACKSON, L.M., et P.R. RICHARDSON (éds) (1989), *Marketing of Nonferrous Metals*, Proceedings No. 19, Centre for Resource Studies, Queen's University, Kingston, Ontario, 126 p.
- JOLLY, J.L.W. (1988), « Competitiveness in the U.S. Copper Mining Industry », *Minerals and Materials*, U.S. Bureau of Mines, avril-mai : 22-28.
- JOSKOW, P.L. (1985), « Vertical Integration and Long-Term Contracts : the Case of Coal-Burning Electric Generating Plants », *Journal of Law, Economics and Organization*, vol. 1 : 33-80.
- KALYMON, B.S. (1987), *Flow-Through Share Financing*, Working Paper No. 39, Centre for Resources Studies, Queen's University, Kingston, Ontario, 60 p.
- LABYS, W.C. (1980), *Market Structure, Bargaining Power and Resource Price Formation*, Lexington Books, Lexington, Mass., 239 p.
- LABYS, W.C. (1987), *Primary Commodity Markets and Models : an International Bibliography*, Avebury, Brookfield, 290 p.
- LEWIS, T., et R. SCHMALENSEE (1982), « Cartel Deception in Nonrenewable Resource Markets », *The Bell Journal of Economics*, vol. 13 : 263-271.
- MALENBAUM, W. (1978), *World Demand for Raw Materials in 1985 and 2000*, McGraw-Hill, New York, 126 p.

- MIKESELL, R.F. (1979), *New Patterns of World Mineral Development*, British-North American Committee, C.D. Howe Research Institute, Montréal, Annexes B et C : 80-95.
- MORAN, T.H. (1974), *Multinational Corporations and the Politics of Dependence: Copper in Chile*, Princeton University Press, Princeton, N.J., 289 p.
- MORAN, T.H. (1987), «Managing an Oligopoly of Would-Be Sovereigns: the Dynamics of Joint Control and Self-Control in the International Oil Industry: Past, Present and Future», *International Organization*, vol. 41, No. 4, (automne): 575-607.
- MORAN, T.H. (1992), «Mining Companies, Economic Nationalism, and Third World Development in the 1990's», in J.E. TILTON (éd.), *Mineral Wealth and Economic Development*, Resources for the Future, Washington, D.C. : 19-38.
- NAPPI, C. (1985), «Pricing Behaviour and Market Power in North American Non-Ferrous Metal Industries», *Resources Policy*, vol. 11, No. 3, septembre : 213-224.
- NAPPI, C. (1989), *Metals Demand and the Canadian Metal Industry: Structural Changes and Policy Implications*, Centre for Resource Studies, Queen's University, Kingston, Ontario, 135 p.
- NAPPI, C. (1990), *Le Cuivre*, Collection Cyclope Les Grands Marchés Internationaux, Economica, 118 p.
- NAPPI, C. (1994), *L'Aluminium*, Collection Cyclope Les Grands Marchés Internationaux, Economica, 116 p.
- PECK, M.J. (1958), *Competitiveness in the Aluminum Industry: 1945-1958*, Harvard University Press, Cambridge, Mass.
- PECK, M.J. éditeur, (1988), *The World Aluminum Industry in a Changing Energy Era*, Resources for the Future, Washington, D.C., 231 p.
- PECK, M.J. ; H.H. LANDSBERG et J.E. TILTON, eds (1992), *Competitiveness in Metals: the Impact of Public Policy*, Mining Journal Books Ltd., Londres, 310 p.
- RADETZKI, M. (1984), «Strategic Metal Markets: Prospects for Producer Cartels», *Resources Policy*, vol. 10, No. 4 : 227-240.
- ROBERTS, M.C. (1988), «What Caused the Slack Demand for Metals after 1974 ?», *Resources Policy*, vol. 14, No. 3 : 231-246.
- SALANT S. (1976), «Exhaustible Resources and Industrial Structure : a Nash-Cournot Approach to the World Oil Market», *Journal of Political Economy*, vol. 84 : 1079-1093.
- SIMON, J.L. (1981), *The Ultimate Resource*, Princeton University Press, Princeton, N.J., 415 p.
- SMITH, V.K., éditeur (1979), *Scarcity and Growth Reconsidered*, Resources for the Future (by the Johns Hopkins University Press), Washington, D.C., 298 p.

- STIGLITZ, J.E., et P. DASGUPTA (1982), « Market Structure and Resource Depletion: a Contribution to the Theory of Intertemporal Monopolistic Competition », *Journal of Economic Theory*, vol. 28 : 128-164.
- SUSLICK, S.B., et D.P. HARRIS (1990), « Long-Range Metal Consumption Forecasts Using Innovative Methods: the Case of Aluminium in Brazil to the Year 2000 », *Resources Policy*, vol. 16, No. 3, septembre : 184-199.
- TILTON, J.E. (1977), *The Future of Nonfuel Minerals*, The Brookings Institution, Washington, D.C., 113 p.
- TILTON, J.E., et B.J. SKINNER (1987), « The Meaning of Resources », in D.J. McLAREN et B.J. SKINNER (éds), *Resources and World Development*, Wiley and Sons, Dahlem Konferenzer, Chichester : 13-27.
- TILTON, J.E., éditeur, (1990), *World Metal Demand: Trends and Prospects*, Resources for the Future, Washington, D.C., 341 p.
- TILTON, J.E. (1991), « The Changing View of Resource Availability », *Economic Geology*, monograph 8 : 133-138.
- ULPH, A., et G.M. FOLIE (1980), « Exhaustible Resources and Cartel: an Intertemporal Nash-Cournot Model », *Canadian Journal of Economics*, vol. 13 : 645-658.
- U.S. BUREAU OF MINES (1993), *Metal Prices in the United States through 1991*, Branch of Metals and of Industrial Minerals, Washington, D.C., 202 p.
- VOGELY, W.A., éditeur (1975), *Mineral Materials Modeling: a State-of-the-Art Review*, Resources for the Future, Washington, D.C., 404 p.
- WOJCIECHOWSKI, M.J., et P.R. RICHARDSON (1987), *Innovation in the Mineral Industry: Opportunities and Strategies for Canada*, Technical Paper No. 7, Centre for Resources Studies, Queen's University, Kingston, Ontario, 268 p.