

ECONOMIE DES RESSOURCES NATURELLES NON RENOUVELABLES :
UN SURVOL

par
Ahmed SOUAMES*

Working paper N° 7707

*Doctorant en sciences appliquées. Cette étude a pu être réalisée grâce à un financement du Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique de la République Algérienne auquel je veux exprimer ici toute ma gratitude. Je remercie également Messieurs E. de Souza, M. Kaluma, P. Simmons, A. Steinherr, J. Thisse et D. Weiserbs pour toute l'aide qu'ils m'ont apportée.

Juin 1977

INSTITUT DES SCIENCES ECONOMIQUES
29, rue des Wallons, B-1348 LOUVAIN-LA-NEUVE (BELGIQUE)

SOMMAIRE

0. INTRODUCTION

1. GESTION MONDIALE DES RESSOURCES

2. LES PRINCIPES DE LA GESTION OPTIMALE D'UNE RESSOURCE NON RENOUVELABLE

2.0 Gestion efficace des actifs et économie de croissance.

2.1 Particularités des ressources non renouvelables.

3. EXPLOITATION DES RESSOURCES DANS UNE ECONOMIE DE MARCHE

3.0 Cas certain.

3.1 Cas incertain.

4. ECONOMIE CENTRALISEE

4.0 Economie fermée.

4.1 Economie ouverte.

5. UTILISATION DES RESSOURCES PETROLIERES POUR LE DEVELOPPEMENT DES PAYS DE L'O.P.E.P.

5.0 Stabilité du cartel O.P.E.P.

5.1 Capacités d'absorption des pays de l'O.P.E.P. et implications

5.2 Dépendance du monde industrialisé.

6. CONCLUSION

NOTE

BIBLIOGRAPHIE

0. INTRODUCTION

Depuis la crise de l'énergie, les ressources naturelles non renouvelables retiennent une attention toute particulière. La théorie sous-jacente à leur gestion, qui connaît un certain renouveau, ne cesse de se développer.

Si cette gestion a la structure d'un puzzle, les pièces de ce dernier peuvent être considérées comme les réponses aux questions suivantes :

- a) Relativement à un objectif donné, à quel rythme faut-il exploiter la ressource ?
- b) Cela étant, quel doit-être le prix d'une telle ressource ?
- c) Comment établir l'équité entre les générations présentes et futures ?
- d) Comment prendre en compte l'incertitude et le progrès technique ?
- e) Comment les différences entre les recettes provenant des ventes de la ressource et les emplois qu'on en fait vont-elles affecter la politique d'exploitation de la ressource ?

L'objet de ce texte est d'essayer de répondre à ces questions, en présentant les grandes lignes de quelques modèles élaborés autour de cette problématique. Divisé en six sections, ce survol doit être pris comme le résumé d'une littérature partant du modèle simple de GRAY (1914) et formalisé par HOTELLING (1931) aux modèles sophistiqués de nos jours.

Pour respecter un certain globalisme, la première section étudie les "Modèles du Monde" et la controverse qu'ils ont soulevée dans les milieux socio-politiques et économiques. Vu le contenu assez faible sur le plan de la théorie économique, de ces modèles, les sections suivantes montrent l'apport de cette dernière dans la gestion des ressources et principalement dans le cadre de la croissance économique.

La deuxième section cherche à dégager les principes qu'il faut observer pour une gestion optimale des ressources.

La troisième section aborde cette dernière dans une économie décentralisée avec un marché plus ou moins concurrentiel.

La section 4 examine quelques modèles dans une économie centralisée, fermée puis ouverte.

La cinquième section est consacrée au problème d'utilisation des ressources pétrolières dans le cadre du développement des pays de l'O.P.E.P.. On y étudiera successivement la stabilité du cartel O.P.E.P., les capacités d'absorption de ses membres et leurs stratégies de production qu'elles impliquent et enfin la dépendance de ces pays vis-à-vis du monde industrialisé. La dernière section rappelle les résultats les plus importants et dessine le profil de recherche.

1. GESTION MONDIALE DES RESSOURCES

L'origine du pessimisme relatif au développement économique à long terme remonte au moins à MALTHUS. De nos jours, un mouvement de préservation des ressources naturelles prend de plus en plus forme. Les avis sont néanmoins partagés. Les pessimistes sont représentés par le "Club de Rome" dont les "Modèles du Monde" ont soulevé toute une controverse.

Voyons ce qu'ont apporté ces modèles. Ces derniers ont l'avantage d'utiliser les équations non linéaires pour représenter le processus du développement en les exprimant dans le langage de la dynamique des systèmes développés par FORRESTER (1971). Ils ont été conçus (le modèle dynamique de FORRESTER contient 43 variables et 22 relations) pour faire apparaître les interactions de 5 variables : les investissements, la population, la pollution, les ressources naturelles et l'alimentation. Les résultats auxquels ont abouti ces modèles, ne sont pas différents de ceux obtenus par la théorie classique du développement économique. Ils sont même plus dramatiques dans la mesure où ils incorporent explicitement les ressources (c'est le principal mérite du "Club de Rome") et la pollution.

Ces résultats proviennent de modèles basés sur les schémas de comportement des 100 dernières années supposant une augmentation continue de la pollution et de la croissance (matérielle) pendant 50 ans, au terme desquels l'activité économique plafonne et amorce un déclin durant 100 ans, jusqu'à atteindre le niveau où elle était au début du siècle.

Des simulations effectuées avec ces modèles, (MEADOWS, 1972) indiquent qu'une politique concertée correspondant à une croissance nulle pour la population, à une formation nette du capital qui soit nulle, à l'usage et au recyclage améliorés des biens, à l'amélioration de la productivité des ressources et à la diminution de la pollution, permettrait une croissance diminuant lentement et convergeant vers un état stationnaire soutenable pendant 100 ans ou plus.

Toutefois le résultat le plus alarmant que soutiennent FORRESTER (1971) et MEADOWS (1972) est que la croissance économique ne pourraient continuer sans entraîner dans un futur assez proche des pénuries substantielles de matières premières essentielles et conduire à un chaos économique.

Voyons maintenant comment réagissent les optimistes à ces sombres présages. Ces derniers d'appuyant, dans le domaine de la technologie, sur les réalisations du passé, s'attendent à de nouvelles matières et sources d'énergie. Ainsi NORDHAUS et TOBIN (1972) trouvent qu'il n'y a aucune raison de limiter la croissance. Ils suggèrent que l'élasticité de substitution entre les ressources et les autres facteurs de production (travail, capital) est plus grande que l'unité ou bien que le progrès technique épargnant les ressources est rapide, ou les deux : dans chaque cas, le problème de l'épuisement des ressources n'apparaît plus fondamental.

Les économistes optimistes, faisant remarquer les records stupéfiants de la croissance passée et les efficiences théoriques de la concurrence, s'attendent à ce que le mécanisme des prix marché induisent des changements technologiques appropriés et des substitutions de ressources. Dans le domaine politico-social, s'appuyant sur l'adaptation apparemment sans limite de l'humanité, ils s'attendent à ce que les politiques des gouvernements, la réorganisation sociale et des modifications de comportement prennent place de façon à alléger les problèmes tels qu'ils se présentent.

Vis-à-vis du rapport du "Club de Rome", l'école optimiste critique la méthodologie employée, les hypothèses émises et les conclusions qui en ressortent. NORDHAUS (1973) critique les "Modèles du Monde"

pour leur manque de référence à la théorie économique et aux études empiriques et pour le niveau d'aggrégation auquel on les a estimés. Il rappelle que l'aggrégation n'est généralement robuste que lorsque les micro-relations sous-jacentes sont linéaires. Quand FORRESTER (1971, p.37) conclut qu'en l'absence de ressources naturelles l'investissement serait sans effet, NORDHAUS (1973, p.1166) fait remarquer que ceci n'est valable que dans la mesure où on exclut toute possibilité de substitution.

Aux hypothèses émises par FORRESTER sur les tailles des réserves et les taux de consommation des ressources, ignorant toute possibilité de substitution, NORDHAUS (1973, p.1167) donne des contre-exemples (e.g. le cuivre est maintenant substitué par le fer ou l'aluminium). La faiblesse des "Modèles du Monde" réside dans le fait que le fonctionnement des marchés des prix et la modélisation d'un critère d'optimisation explicite de la part des agents, reçoivent une faible considération.

Dans les systèmes décrits par FORRESTER, l'agent économique agit comme une simple machine biocybernétique.

Pour NORDHAUS (1973), s'il y a un degré de substitution suffisant entre les ressources reproductibles et les ressources naturelles non renouvelables, et si le système des prix fonctionne d'une manière adéquate (notamment comme moyen incitant la production et la consommation de ressources-substituts), la catastrophe prédite par le "Club de Rome" serait évitée. Les prédictions de l'avenir du monde sont très sensibles à la spécification du modèle ; les simulations proposées indiquent que si les hypothèses émises sur la population ; le progrès technique, ou si les possibilités de substitutions sont légèrement changées, les résultats seraient tout à fait différents.

A NORDHAUS se joignent KAY et MIRRLEES (1975) en considérant essentiellement le secteur des ressources de "World 3" (une version quelque peu révisée du modèle sur lequel "The Limits to Growth" était basé). Ils modifient légèrement le modèle de "The Limits to Growth" et montrent qu'il peut être spécifié comme un modèle de HARROD-DOMAR (modèle à coefficients techniques constants), avec une contrainte sur les ressources. Ils arrivent à la même conclusion que MEADOWS par une simple manipulation mathématique du modèle. Cela n'est pas étonnant quand on sait que ce dernier modèle ignore toute possibilité de substitution. En

outre, sur le plan empirique, la croissance telle qu'elle est observée dans des situations concrètes procède plus rapidement que celle qui est escomptée pour les taux d'inputs de capital avec un ratio, capital sur output, constant. La question fondamentale qu'ils soulèvent est de savoir si les modèles de cette espèce ne pourront jamais dire quoi que ce soit de significatif sur les événements distants. Ils soutiennent que dans les cas des ressources épuisables, les modèles de prévisions dont l'horizon est de 10 ans au plus sont sans valeur.

Nous pourrions nous tourner maintenant vers la théorie économique et voir ce qu'elle peut nous apporter. C'est l'objet des sections suivantes.

2. LES PRINCIPES DE LA GESTION OPTIMALE D'UNE RESSOURCE NON RENOUVELABLE

2.0 Gestion efficace des actifs et économie de croissance

Dans ce qui suit, on suppose une économie ayant une population constante, disposant de certains actifs et observant l'avenir avec certitude. Le but de cette sous-section est de présenter le cadre général de l'analyse, c'est-à-dire le modèle de croissance d'une économie.

2.0.1 Economie décentralisée

Supposons pour chaque producteur, des rendements d'échelle non croissants, pour chaque consommateur, un pré-ordre de préférence convexe et représentable, l'absence d'inter-action, entre deux processus quelconques de production et l'indépendance de la structure des préférences d'un individu vis-à-vis de tout processus de production et du choix d'un autre individu.

Sur le plan statique, on peut dire que s'il existe un système de prix qui utilisé dans les maximisations de profit et d'utilité, permet des décisions compatibles, il garantit également l'utilisation efficace des actifs pour la satisfaction des préférences des consommateurs. L'efficacité ici, est l'optimalité de pareto : il n'y a pas moyen d'améliorer le bien-être d'un individu sans diminuer au moins celui d'un autre. Il doit être aussi impossible d'avoir plus d'un certain bien sans

avoir moins d'un autre. Tous les taux marginaux de substitution et de transformation devraient être égaux aux rapports des prix. Ces conditions d'efficacité ne sont valables que d'une période à l'autre (DORFMAN-SAMUELSON-SOLOW 1958, ch. 12).

Sur le plan dynamique il faut remplir des conditions additionnelles et celles-ci dépendent en grande partie du choix que fait la société pour déterminer le sentier efficace de l'accumulation du capital dans le temps. En effet, si la société désire à l'instant T avoir des stocks d'actifs dans des proportions données, il devrait y avoir un système efficace de prix qui reflète la désirabilité relative des différents stocks à cette date.

La participation des producteurs, maximisant le profit, dans le programme d'accumulation devrait exactement s'adapter au système des prix.

Si le nombre d'individus est fini, l'équilibre concurrentiel peut impliquer l'efficacité dynamique sous un horizon infini. Cependant si on suppose en outre plusieurs générations indéfiniment, alors un équilibre concurrentiel peut suivre un sentier inefficace pour la collectivité (KOOPMANS 1970 ; p. 107). Ceci dans la mesure où certains actifs ne seront jamais pleinement utilisés, chaque génération rejetant la responsabilité de l'utilisation sur la suivante. L'état, comme agent décideur, est en mesure d'éviter ce genre d'inefficacité et peut jouer, à ce titre, un rôle favorable dans l'accumulation du capital.

2.0.2 Economie centralisée

Le planificateur construit un modèle en dressant un objectif représenté par une fonction d'utilité, défini sur un horizon fini ou infini, en donnant un ensemble d'équations qui décrivent la structure présente de l'économie et en indiquant les variables de décision qui sont disponibles pour contrôler la direction du changement de l'économie. L'objectif est une croissance équilibrée ayant l'efficacité intertemporelle.

Un modèle général peut se formuler ainsi.

$$\text{Max } V(c(.)) = \int_0^T u(c) e^{-\gamma t} dt + V(k(T))$$

sous certaines contraintes portant sur la technologie en vigueur et la disponibilité des actifs dans l'économie : $k(0) = k_0$

$$\dot{k}(t) = f(k) - \delta k(t) - c(t) \quad k \geq 0, c \geq 0$$

δ et γ sont respectivement le taux de dépréciation du stock de capital par tête $k(t)$ et le taux social de préférence intertemporelle. $c(t)$ est la consommation par tête à l'instant t . $u(.)$ et $f(.)$ qui désignent respectivement la fonction d'utilité instantanée et la fonction de production par tête sont concaves par rapport à leurs arguments et satisfont les conditions suivantes

$$\begin{array}{ll} f(0) = 0 & u(0) = -\infty \\ f'(\infty) = 0 & u'(c) > 0 \\ f''(k) < 0 & u''(c) < 0 \end{array}$$

$V(k(T))$ est la valeur des actifs terminaux de l'économie. En général, le plan doit se baser sur un horizon infini par esprit intergénérationnelle. Cela nécessiterait de nombreuses informations relatives aux changements qui sont survenus dans le système économique et social, mais notre connaissance, à ce sujet, se limite aux expériences du passé. C'est pourquoi on choisit un horizon fini T . Mais alors d'autres complications surviennent car nous devons utiliser des conditions terminales, reflétant le jugement du planificateur à propos de l'économie au-delà de l'horizon T .

Il s'agit maintenant de savoir à quel taux la société désirerait escompter ses futures utilités. On pourrait songer à choisir le taux d'intérêt du marché mais SOLOW (1974, p.8) souligne qu'il y a beaucoup de raisons de croire que ce taux est plus élevé que le taux de préférence intertemporelle (e.g; en concurrence imparfaite, dans une économie avec externalités, ou dans des situations où la nature du risque est privée et non sociale). Ainsi comme l'a montré aussi MARGLIN (1963a) les taux marginaux de préférence intertemporelle des individus obtenus dans le contexte de décisions collectives d'épargne (V_5 , la consommation) peuvent

être différents de ceux obtenus, dans le cadre de décisions individuelles (unilatérales). Quelle décision prendre alors en matière d'investissement public pour rapprocher les deux taux ? Deux thèses sont avancées et préconisent d'utiliser soit la méthode du coût d'opportunité sociale (COS) soit celle de la préférence sociale à l'égard du temps (PST) (voir PESTIAU, 1976).

Si le planificateur a le souci d'une optimisation globale, ses investissements devraient être actualisés à un taux PST reflétant le choix social entre présent et futur. Utiliser simplement ce taux (évidemment faible par rapport au taux d'intérêt) serait une procédure inefficace ; elle conduirait à détourner les ressources nécessaires à l'investissement public d'occasions plus productives dans le secteur privé. Afin d'éviter le sous-investissement global de l'économie, des moyens importants doivent être mis en oeuvre, sur le plan budgétaire et fiscal, pour stimuler l'investissement privé et accroître l'investissement public (ARROW and KURZ, 1970).

La méthode du COS stipule que le taux d'actualisation social (t_0), dans une économie composée de divers secteurs, ayant chacun un taux de rendement propre, devrait être égal à la somme pondérée du taux de préférence individuelle à l'égard du temps (v_1) et du taux de rendement du capital privé (v_2), les poids étant égaux aux dérivées de l'épargne et de l'investissement par rapport au taux d'intérêt (SANDMO and DREZE ; 1974). Un usage littéral du COS peut être indésirable parce que l'affectation intertemporelle y est complètement négligée. C'est la méthode d'un équilibre partiel. Le planificateur décide de la rentabilité de tel ou tel projet en considérant les taux de rendement du marché sans envisager la possibilité que ces taux puissent être trop élevés et donc préjudiciables aux générations à venir (PESTIAU 1976).

2.1 Particularités des ressources naturelles non renouvelables.

Nous devons à présent nous poser la question de savoir ce qui distingue les ressources naturelles non renouvelables des autres biens économiques.

2.1.1 L'actif k étudié à la sous-section précédente, se déprécie dans le temps et, peut augmenter ou diminuer en valeur, dans les limites qu'imposent la technologie et la politique d'investissement du planificateur. Les ressources considérées non seulement gardent leurs propriétés physiques intactes mais encore ne peuvent être reproduites. De plus, elles ne sont pas comme certains actifs, par exemple les devises, disponibles sans coûts. Comment, gérer ces ressources ? Enonçons à cet effet, un principe fondamental mis en lumière par HOTELLING (1931) : les marchés des actifs, dans une classe de risque donnée, ont le même taux de rendement, soit comme dividende courant, soit comme gain de capital. Le taux de rendement commun est le taux d'intérêt pour cette classe de risque. Puisque la ressource a la propriété qu'elle ne donne aucun dividende tant qu'elle reste dans le sous-sol, à l'équilibre la valeur de la ressource doit croître au taux égal au taux d'intérêt. Puisque la valeur d'un gisement est aussi la valeur présente provenant des ventes futures, après déduction des frais d'extraction, les détenteurs de la ressource doivent espérer que le prix net du minerai augmente exponentiellement à un taux égal au taux d'intérêt. Le prix net est égal au prix du marché moins le coût marginal d'extraction. Le prix, à l'instant initial du plan de production peut être interprété comme le coût d'opportunité de la ressource et ce dernier est crucial pour déterminer le sentier optimal d'extraction.

Ainsi du fait qu'elles ne sont pas renouvelables et de la difficulté croissante de leur exploitation, ces ressources ont, à une période donnée, un certain prix valable pour tous les consommateurs et un prix plus élevé pour les consommateurs de la période suivante. Tout se passe comme si les générations qui suivent étaient plus riches que les précédentes et prennent ainsi à leur charge le coût de dégradation des gisements. Tant qu'elles ne sont pas extraites, ces ressources appartiennent à la communauté entière et procurent, par leur présence, une sécurité d'approvisionnement. Alors, dans un esprit de justice intergénérationnelle chaque génération qui utilise ces ressources devrait léguer à la génération suivante des moyens de production en quantité suffisante pour compenser la perte de ressources.

2.1.2 Nous pouvons nous demander s'il existe une gestion de ces ressources qui soit compatible avec un optimum de Pareto. Plusieurs raisons empêchent un optimum au sens de Pareto. D'abord les marchés des ressources sont sujets à certaines externalités du fait que parfois plusieurs firmes exploitent le même gisement. En effet, ces dernières seront contraintes d'exploiter le gisement le plus vite possible et d'effectuer des achats de machines de plus en plus perfectionnées car les conditions d'extraction de la ressource deviennent de plus en plus difficile à mesure que la réserve s'épuise.

En outre, comme il n'y a pas de marchés futurs pour ces biens, l'allocation intertemporelle des ressources dans une économie concurrentielle ne sera pas optimale. On pourrait aussi fixer, en début de période, des prix trop élevés et n'arriver jamais à épuiser les ressources.

2.1.3 Il existe pour ces ressources des substituts presque parfaits dont les coûts de production sont très élevés (pour l'instant) et qui représentent, pour les prix des ressources, des seuils à ne pas dépasser. Etant donné que les coûts d'extraction des ressources sont relativement bas par rapport aux coûts de production de leur substituts (back stop technology), leurs prix nets (prix du marché moins les coûts marginaux d'extraction) représentent une fraction importante de leurs prix de marché et sont plus grands que ceux de leurs substituts (qui sont négatifs). Donc les prix des ressources augmenteraient plus vite que les prix implicites (coûts d'extractions) de leurs substituts et les égaleraient à un certain moment.

2.1.4 Dans la gestion des biens périssables on a des problèmes de stockage à très court terme. Ils se posent à long terme pour les ressources non renouvelables et on peut dire que, pour ces dernières, les considérations de flux et les considérations de stocks jouent dans des directions opposées. Les marchés de flux peuvent être facilement instables mais les marchés de stocks (quantités de ressources non encore extraites) corrigent progressivement ce manque de stabilité (SOLOW, 1974 p.6). Si on connaît, à une certaine date, le prix de la ressource (par exemple, celui d'un substitut connu actuellement) et si les firmes estiment que les prix augmentent trop lentement, alors elles voudraient vendre le plus vite possible. Cependant comme ils ne pourront pas tout vendre, ils perdront du capital sur les stocks existants. A un certain instant, les prix nets

arrivent toutefois à augmenter au taux égal au taux d'intérêt.

2.1.5 L'épuisement des ressources non renouvelables dépend d'une part du progrès technique épargnant les ressources et d'autre part du degré de substitution de ces dernières par le travail et le capital (ou par d'autres substituts). Si un progrès technique n'est pas plausible dans ce sens, alors la demande de ces ressources devient de moins en moins élastique. S'il existe des substituts alors leur demande devient de plus en plus élastique.

3. EXPLOITATION DES RESSOURCES DANS UNE ECONOMIE DE MARCHÉ

3.0 Cas certain

3.0.1 Concurrence parfaite

Pour illustrer le principe émis par HOTELLING (1931), considérons une firme contrôlant un gisement évalué à S_0 à l'instant initial. Soit $e(t)$ le flux d'extraction de la ressource au temps t , $C(e(t), t)$ le coût d'extraction et CM le coût marginal d'extraction. Une fois extraite, la ressource peut être vendue à un prix $p(t)$, par unité, qui ne dépend que du temps et non pas du flux d'extraction $e(t)$. Cette firme cherchera à maximiser :

$$(1) \text{Max } \int_0^{\infty} (p(t)e(t) - C(e(t), t)) e^{-rt} dt$$

Sous les contraintes $e(t) \geq 0$, $\int_0^{\infty} e(t) dt \leq S_0$. Les conditions nécessaires pour les solutions optimales de $e(t)$, soit $e^*(t)$, s'écrivent :

$$\begin{aligned} p(t) - CM(e(t), t) - \lambda e^{rt} &= 0 \text{ pour } e^*(t) > 0 \\ &\leq 0 \text{ pour } e^*(t) = 0 \end{aligned}$$

(avec $\lambda \geq 0$, sinon il n'y a pas de solution optimale).

Soit, avec r le taux d'intérêt

$$(2) p(t) = CM(e^*(t), t) + \lambda e^{rt} \text{ pour } e^*(t) > 0$$

λe^{rt} représente le coût d'opportunité d'utiliser la ressource naturelle à l'instant t plutôt qu'à une date ultérieure. Les sentiers d'exploitation

optimaux des firmes individuelles conduisent à l'offre sur le marché de $E(t) = \sum_{i=1}^n e_i^*(t)$ (3) (s'il y a n firmes). Une courbe de demande existe pour la ressource et détermine la trajectoire des prix $p(t)$ quand $E(t)$ est donnée :

$$p(t) = p(E(t), t) \quad (4) \text{ (voir SWEENEY ; 1977) .}$$

Si une allocation concurrentielle existe, elle doit satisfaire (3) et (4) et le choix de chaque firme doit résoudre le problème (1). Nous obtenons ainsi un équilibre concurrentiel. Etudions les coûts et leurs implications.

- (i) Si les coûts d'extraction sont nuls le prix de la ressource doit croître au taux égal au taux d'intérêt du marché r .
- (ii) S'il y a plusieurs gisements ayant des coûts marginaux d'extraction constants et caractérisés par des coûts différents, il faut s'intéresser dans ce cas aux gisements existants ayant les coûts d'extraction les plus bas car de tels gisements sont plus profitables à exploiter que ceux dont les coûts d'extraction sont plus élevés et dont les coûts d'opportunité sont négatifs. De plus, les prix augmenteront assez pour permettre à ces firmes d'assurer une croissance des profits, fidèlement au principe fondamental, et une telle augmentation encouragera les firmes à coûts plus élevés à retarder l'exploitation. Dans le cas de coûts constants, les prix augmenteront à un taux inférieur au taux d'intérêt.
- (iii) Dans un marché, si les coûts marginaux augmentent avec la production, la firme individuelle elle-même peut produire de manière que son profit marginal croisse exponentiellement à un taux égal au taux d'intérêt.

Soit :

$$p(t) = CM(e^*(t), t) = \lambda e^{rt} = (p(0) - CM(e^*(0), 0)) e^{rt}$$

$$\text{et } p(t) = p(0) e^{st}$$

$$\text{si } s = r$$

La firme doit augmenter suffisamment la production de manière à ce que $CM(e^*(t), t) = CM(e^*(0), 0) e^{rt}$, si $s > r$ l'augmentation de la production est plus grande. Si $s < r$ on peut être amené à baisser la production suffisamment de façon à réduire les coûts et assurer ainsi la croissance

du profit marginal. Durant la période dans laquelle la firme opère, le déclin du flux d'extraction dépend du schéma précis des prix. Une élévation rapide des prix amoindrit la décroissance requise du taux de production.

Supposons que les coûts d'extraction dépendent aussi bien de la production courante ($\dot{x}$) que de la production cumulée (x), soit

$$c(x, \dot{x}, t) = g_1(\dot{x}, t) + g_2(x)$$

$$\text{avec } g_2(x) = ax, \quad a > 0$$

Si nous retournons au problème (1), alors nous obtenons :

$$\begin{aligned} -C_x e^{-rt} = -a e^{-rt} &= \frac{d}{dt} \left| (p(t) g'_1(\dot{x}) e^{-rt} - \lambda) \right| < 0 \\ + \frac{(p(t) - g'_1(\dot{x}))}{(p(t) - g'_1(\dot{x}))} &< r \end{aligned}$$

la différence prix moins coût marginaux par rapport à la production courante augmente à un taux inférieur au taux d'intérêt.

3.0.2. Concurrence imparfaite

(a) cas du monopole

GORDON (1967) a étendu l'analyse de HOTELLING, en généralisant le modèle dans le cas d'un monopole pur avec des profits dépendant uniquement de la production courante. La firme produit un output $e^*(t)$ tel que

$$e^*_t \frac{\partial p(e^*_t)}{\partial e^*_t} = e^*_t + p(e^*_t) - CM(e^*_t, t) = \lambda e^{rt}$$

c'est-à-dire tel que le profit marginal (recette marginale moins les coûts marginaux) croît au taux égal au taux d'intérêt. En maximisant les profits, Π , mais alors dépendant aussi bien de la production courante ($\dot{x}$) que de la production cumulée (x), on ne retrouve plus le principe fondamental selon lequel le prix net croît exponentiellement au taux d'intérêt. On trouve par contre cette égalité :

$$e^{-rt} \frac{\partial \Pi}{\partial x} = \frac{d}{dt} \left| e^{-rt} \left(\frac{\partial \Pi}{\partial \dot{x}} \right) - \lambda \right|$$

ou

$$\frac{\partial \Pi}{\partial x} = \frac{\partial^2 \Pi}{\partial \dot{x} \partial t} + \frac{\partial^2 \Pi}{\partial \dot{x}^2} \frac{d^2 x}{dt^2} + \frac{\partial^2 \Pi}{\partial \dot{x} \partial x} \frac{dx}{dt} - \frac{r \partial \Pi}{\partial \dot{x}}$$

Le membre de gauche représente le profit marginal par rapport à la production cumulée. Les termes du membre de droite montrent respectivement l'effet direct et les impacts induits du temps sur la profitabilité marginale d'un flux de production plus grand. Le temps produit la variation du flux de production, augmente la production cumulée et impose des coûts dus à l'intérêt. Toutefois la firme diminuera toujours son flux de production.

(b) cas du cartel dominant

Examinons maintenant un marché (le marché mondial du pétrole) où il y a un cartel important appelé "Extracteur dominant" et un nombre de petits exploitants appelés "groupe concurrentiel" (SALANT, 1976). Comme simplification, chaque firme qui extrait le pétrole est supposée détenir un même stock de pétrole et avoir la même fonction de coût. Le cartel est comme une firme qui possède cependant plusieurs unités de stock et extrait au moindre coût. Etudions maintenant les ventes $(\bar{Q}_c, Q_m)$, du groupe concurrentiel et du cartel, et les schémas de prix qui en résultent, $P(Q_c + Q_m)$.

Chaque firme agit comme un concurrent qui prend, comme donné, le sentier des prix fixés par le cartel et choisit un sentier de ventes, qui maximise ses profits futurs escomptés. Le cartel, connaissant la courbe de demande stationnaire du consommateur, prend le sentier des ventes du groupe concurrentiel comme donné. Il choisit ensuite un sentier des prix, compatible, avec ses ventes, égales aux demandes moins les ventes du groupe concurrentiel, c'est-à-dire avec la courbe de demande qui lui est adressée et dont la valeur absolue de la pente en chaque point de la courbe est égale à $a(p)$, de manière à maximiser ses profits futurs escomptés. Son revenu marginal s'écrit :

$$M = P(Q^m + \bar{Q}^c) - Q^m a(p)$$

S'il existe une solution à ce problème, on aboutit à un équilibre de NASH - COURNOT. Pour être sûr de l'existence d'un équilibre non coopératif, faisons l'hypothèse que la courbe de demande augmente strictement avec le

prix et qu'elle possède un point d'élasticité unité. Ajoutons aussi que le prix ne peut croître à un taux supérieur au taux d'intérêt pour éliminer toute forme de spéculation.

En cas de coût marginaux nuls ou croissants, on peut tirer ces quelques conclusions.

- (i) Le groupe concurrentiel épuise son stock le premier. Jusqu'à la date de l'épuisement, son profit marginal augmente au taux d'intérêt. Ensuite, à un taux moindre, mais le cartel qui continue à opérer seul, verra son revenu marginal moins le coût marginal croître à un taux égal au taux d'intérêt jusqu'à l'épuisement de son stock.
- (ii) La formation du cartel élève les profits escomptés de chaque firme du groupe concurrentiel par un plus grand pourcentage que ceux du cartel par rapport à un marché où il n'y aurait pas de cartel.
- (iii) Ce modèle de l'extracteur dominant est intermédiaire aux modèles extrêmes de monopole pur et de la concurrence parfaite dans le sens que, étant donné le même stock mondial, le prix pratiqué reste au dessous de celui pratiqué par le monopole mais au dessus de celui pratiqué par le monopole mais au dessus de celui pratiqué en régime de concurrence parfaite et que le stock est épuisé plus rapidement qu'en régime de monopole et moins rapidement qu'en concurrence parfaite.

3.0.3. Efficacité de l'industrie des ressources

a) situons d'abord dans un marché parfait et posons nous la question de savoir si l'économie concurrentielle exploitera les ressources au taux socialement désirable.

Quand on considère les coûts d'opportunité, la condition d'efficacité revient à dire que la somme des coûts sociaux marginaux et des coûts d'opportunité est égale au prix (du marché). De plus, l'analyse de HOTELLING a montré que chaque firme doit équilibrer la somme des coûts marginaux d'extraction et des coûts d'opportunité au prix et le problème est de savoir si cette somme est équivalente à l'autre. Essayons de comparer les décisions des managers socialistes efficaces qui considèrent directement les coûts sociaux à celles des firmes dans une industrie concurrentielle. GORDON suggère que les managers socialistes minimisent les coûts de production dans une période donnée en égalant les coûts marginaux d'extraction des gisements en exploitation. Cependant l'écart entre les prix et les coûts marginaux d'extraction peut différer entre les gisements dans des cas plus

généraux impliquant des coûts d'opportunité différents. SWEENEY (1977, note 6) fait remarquer toutefois que les coûts marginaux d'extraction de la ressource de deux gisements différents ne sont pas nécessairement égaux si les deux gisements sont exploités de manière à maximiser le profit. Ceci est vrai même s'ils sont caractérisés par les mêmes fonctions de coût (et les mêmes trajectoires de prix) aussi longtemps qu'ils contiennent des quantités initiales de la ressource différentes. Ainsi SWEENEY (1977, p.128) montre qu'une extraction socialement optimale est garantie par un marché concurrentiel. Dans ce dernier, les recettes provenant de l'extraction des ressources sont escomptées au même taux d'intérêt que les rendements de l'investissement en capital, à condition que la trajectoire pour l'épargne soit choisie d'une manière optimale.

b) Voyons maintenant si le marché exploite les ressources trop vite ou trop lentement. Plusieurs forces économiques influencent le rythme d'extraction des ressources et l'écartent de son schéma idéal. SWEENEY (1977) s'est intéressé particulièrement à ce problème en étudiant les biais intertemporels associés avec différentes institutions économiques au moyen d'une fonction de l'imperfection du marché qui caractérise l'institution.

- (i) Si on taxe les revenus provenant de l'extraction des ressources et qu'une fraction donnée des revenus soit exempte de taxe, alors cela aura la même conséquence que celle subie en augmentant le prix, c'est-à-dire qu'on va exploiter les ressources trop vite.
- (ii) La même conséquence est subie si on tient compte des externalités causées par l'usage de la ressource (pollution par exemple), en imposant à l'usager une taxe égale au coût marginal de l'externalité.
- (iii) En cas de monopole, on peut produire trop vite ou trop lentement et cela dépend du taux de croissance de la demande de la ressource.

c) Si on estime que le taux d'épuisement des ressources est trop élevé et si les décisions sont prises par une ou plusieurs firmes privées, le programme d'extraction socialement optimal devrait intégrer des mesures fiscales appropriées aboutissant à la régulation du flux d'extraction et de la confiscation de la rente. Dans la littérature ce problème n'a guère été abordé. Le travail de SIMONS (1976) fait exception et mérite d'être cité. SIMONS considère le cas où plusieurs stocks d'une ressource donnée sont exploités par des intérêts commerciaux en situation

de concurrence parfaite puis en situation de monopole. Dans chaque cas, l'objectif du privé est de maximiser la somme des différences actualisées entre les profits réalisés et les redevances à payer. L'objectif du gouvernement est de maximiser le surplus du consommateur en fixant à chaque instant une redevance dont le privé doit s'acquitter.

- (i) En cas de concurrence parfaite, l'analyse ne contient pas de surprise et la politique fiscale devrait être utilisée pour éviter exactement la déviation qu'il y a entre les coûts marginaux sociaux et privés en fixant une redevance (royalty) égale au coût d'opportunité de la ressource tel qu'il apparaît dans l'analyse de HOTELLING.
- (ii) En cas de monopole, il montre que si la fonction de revenu est concave elle implique que la date d'épuisement sociale et celle d'épuisement privée jusqu'auxquelles on extrait encore la ressource coïncident, sauf pour le cas possible où l'horizon social optimal est infini mais où l'horizon privé est fini. Dans ce dernier cas, un objectif de taxation peut être justifié pour modifier l'horizon utilisé par le monopole. Un seul instrument fiscal suffit dans la mesure où la courbe de demande pour la ressource (utilisée par la compagnie) constitue un indicateur véritable de l'évaluation sociale de la ressource. Si le gouvernement estime que cette courbe est incorrecte au sens social, alors il utilisera plus un instrument. Il utilisera en général une redevance et une taxe sur le revenu mais il y a une indétermination de base entre la redevance à l'instant initial et le coût d'opportunité (SIMMONS, 1976, p.7).

3.1 Cas incertain

3.1.1 Dans les marchés de ressources règne une grande incertitude due à l'absence presque totale des marchés futurs. Le marché ne suffit plus pour déterminer les prix à cause de l'ignorance qu'on a des actions et des préférences futures des agents économiques et de l'information technique future. Une théorie correcte de la politique sociale optimale aura à prendre en compte l'incertitude et le progrès technique. L'incertitude agit de plusieurs façons.

D'abord, elle oblige les compagnies, qui ont des concessions à l'étranger, à exploiter les gisements le plus vite possible de peur d'être nationalisées. Elles craignent aussi qu'il y ait encore un autre produit qui vienne concurrencer la ressource et cette incertitude est de nature à accélérer la production (DASGUPTA et HEAL 1974).

En outre, comme le coût d'opportunité de l'extraction future dépend de la demande future et des coûts, la question portant sur le degré

de prévision devient très importante avec une demande future et des coûts incertains ; il y a vraisemblablement un biais vers un rapide épuisement du fait des compagnies ayant une aversion pour le risque.

Si les producteurs surestiment les prix futurs (comparés au prix d'équilibre) alors ils offriront moins que l'offre d'équilibre et ceci élèvera les prix. S'ils sousestiment les prix futurs, alors ils offriront moins qu'il ne faudrait.

En supposant l'élasticité de la demande constante dans le temps KAY et MIRRLEES (1975) montrent que pour une réserve de 250 années de consommation courante on peut espérer prédire les prix assez correctement pendant les 130 premières années car le coût d'opportunité est très petit par rapport au coût d'extraction pendant cette période. Cependant leur résultat est dû au fait que l'élasticité est supposée constante (voir note 1).

L'effet de l'incapacité d'être assuré contre une mauvaise estimation des prix futurs dépend des attitudes des échangeurs vis-à-vis du risque. Si les vendeurs ont une aversion pour le risque, alors ils introduiront un biais systématique en faveur de la vente immédiate. Dans une période où les prix sont en baisse, la tendance se renforce ; dans une période où les autres facteurs font monter les prix, alors l'aversion pour le risque tendra à modérer l'augmentation et diminuer le désir auquel les échangeurs sont préparés à tenir les stocks de façon à miser sur une augmentation des prix (PEARCE and ROSE, 1975).

3.1.2 Etudions maintenant les implications de l'absence des marchés futurs pour l'allocation intertemporelle des ressources naturelles et la croissance de l'économie (STIGLITZ ; 1974). Considérons une économie utilisant le travail, le capital et une ressource existant en quantité limitée et ayant une fonction de production du type de COBB-DOUGLAS incorporant un progrès technique neutre de HICKS. Supposons en outre que l'économie agit comme s'il y avait un individu représentatif qui formerait les espérances des prix futurs et étudions la stabilité à long terme et l'équilibre à court terme de cette économie.

(i) Stabilité à long terme

La demande visant à tenir des stocks de ressources dépend du taux espéré du changement du prix de la ressource. Supposons que l'économie évolue sur un sentier d'équilibre le long duquel les espérances des prix futurs sont réalisées et où les marchés sont en équilibre à chaque instant. Est-ce que cette séquence d'équilibres instantanés peut converger vers un état stable ? Les marchés des ressources sont plus instables que les marchés des biens de capital car ils sont sujets à la spéculation ; sans un ensemble complet de marchés futurs s'étendant à l'infini (SHELL-STIGLITZ; 1967) ont montré qu'il n'y a pas de mécanisme économique garantissant un prix initial de la ressource tel que l'économie converge vers une croissance équilibrée.

(ii) Equilibre à court terme

L'analyse de ce point suppose qu'à chaque instant l'économie est en équilibre, en particulier que le marché du capital est en équilibre tel que le taux de rendement du fait de garder les ressources soit égal au taux de rendement du capital. L'argument dans ce modèle est qu'il est invraisemblable que les taux espérés de rendement sur les deux marchés (du capital et des ressources) diffèrent pour longtemps, mais que de petits changements dans le prix espéré, de la prochaine période d'une ressource naturelle peut entraîner des changements extrêmement grands dans le prix courant, pour que l'équilibre soit rétabli.

Supposons que non seulement il y ait des marchés concurrentiels pour les flux de ressources naturelles mais aussi pour les réserves ou stocks. Nous pouvons nous demander quelle est la valeur d'un puits de pétrole, par exemple (STIGLITZ; 1974, p. 535).

Il est clair que le prix du stock d'une unité de pétrole ne peut dévier longtemps du prix du flux, et augmentent tous les deux au taux égal au taux d'intérêt. Il y a cependant une circonstance dans laquelle les deux prix peuvent différer : s'il y a des effets de retard dans l'exploitation d'un gisement. Supposons, par exemple, que obtenir un certain flux nécessite quelque investissement I produisant un flux de 1 dollar la première année et e^{-at} dollars les années successives. Nous pouvons dire alors qu'une augmentation du taux espéré des prix des ressources conduira à une réduction de l'investissement dans la capacité d'extraction, mais l'offre de la ressource déclinera seulement graduellement. Cette augmenta-

tion conduira donc à une augmentation du prix du stock (du gisement non investi par exemple) mais à un changement relativement faible dans le prix du flux et à un changement relativement faible dans le taux d'intérêt du marché. Pour restaurer l'équilibre du marché du capital, le prix du stock des ressources d'élève immédiatement. L'augmentation espérée du prix du stock est égale au taux d'intérêt.

4. ECONOMIE CENTRALISEE

4.0 Economie fermée

Cette sous-section examine des modèles de croissance économique qui tiennent compte du fait que la quantité d'une ressource déterminée est limitée. En traitant la ressource comme un facteur essentiel à la production SOLOW (1974), STIGLITZ (1974), BECKMANN (1974) DASGUPTA et HEAL (1974) supposent nuls les coûts d'extraction, tandis que les travaux de SUZUKI (1976), SOLOW et WAN (1976) et de HEAL (1976) considèrent des coûts d'extraction croissant au fur et à mesure que la réserve s'épuise. Sans considération des coûts, VOUSDEN (1973) ne traite pas la ressource comme essentielle.

4.0.1 La ressource comme facteur essentiel et extraite sans coûts

Considérons une économie fermée qui cherche à optimiser le modèle général exposé à la section 2.0.2 mais en tenant compte qu'elle dispose d'une ressource en quantité limitée. De plus, sa fonction de production est du type COBB-DOUGLAS, utilisant le travail, le capital et la ressource comme facteurs, et incorporant un progrès technique neutre de HICKS. La disponibilité limitée de cette ressource et son importance technologique agissent comme une contrainte sur la croissance potentielle de cette économie. Ce qui est clair, c'est que les caractéristiques de la politique optimale d'épuisement de la ressource dépendent crucialement du fait que cette dernière est essentielle ou non à la production des biens finals. Dans cette terminologie, un facteur est essentiel si la production ne peut avoir lieu en son absence. A la limite, la ressource n'est pas par hypothèse un facteur essentiel. L'élasticité de la demande de la ressource, comme input, par rapport au prix peut être faible, mais certainement pas nulle. En fait, même pour les produits énergétiques, l'élasticité de la demande

est élevée après un temps d'ajustement suffisant. On peut affirmer (SOLOW 1974) que l'importance des possibilités de substitutions entre les facteurs de production peut être directement reliée à la capacité de soutenir en permanence un certain niveau de consommation par tête. En faisant des hypothèses assez fortes NORDHAUS et TOBIN (1972), i.e. en supposant que l'élasticité de substitution entre les ressources naturelles et le composé travail-capital excède l'unité ou qu'un rapide progrès technique épargne les ressources ou les deux en même temps, arrivent à la conclusion que le problème de l'épuisement des ressources n'apparaît plus fondamental. Néanmoins l'hypothèse que l'élasticité de l'output par rapport au capital est plus grande que l'élasticité de l'output de cette économie par rapport aux ressources (SOLOW; 1974), est suffisante pour assurer un niveau constant de consommation à une population constante. Ce niveau dépend évidemment positivement des stocks initiaux de la ressource et du capital.

Cherchons maintenant à déterminer les conditions garantissant une croissance équilibrée et à décrire le sentier de croissance optimale de l'économie. Nous nous intéressons au taux optimal d'extraction et au taux d'épargne optimal, en présence des ressources naturelles épuisables, tenant compte de trois forces économiques ; le changement dans la technologie, la substitution capital-ressources et les rendements d'échelle. De plus, la population est supposée croître à un taux constant. Puisque les ressources sont limitées, les inputs ressources doivent éventuellement décroître, mais à quel taux ? on peut utiliser la condition fondamentale d'efficacité, développée par DORFMAN-SAMUELSON-SOLOW (1958, chap. 12), c'est-à-dire que le rendement du capital doit être le même que le taux de changement du produit marginal de la ressource (voir note 2).

Tenant compte de cette condition on peut dégager les propositions suivantes (STIGLITZ ; 1974) :

Proposition 1

Un sentier sur lequel la consommation croît à un taux constant doit asymptotiquement avoir un taux d'épargne constant, un taux de changement d'inputs des ressources naturelles et un rapport flux-stock des ressources constants.

Proposition 2

Une croissance régulière efficace implique un taux d'épargne asymptotique plus petit que la part de capital (voir note 3).

Proposition 3

Si le taux de croissance de la population est positif, une condition nécessaire et suffisante pour soutenir un niveau constant de consommation par tête est que le rapport du taux de changement technique sur le taux de croissance de la population doit être plus grand ou égal à la part des ressources.

Proposition 4

Si le taux d'accroissement de la population et le taux de changement technique sont nuls, il y a au moins un sentier efficace le long duquel le taux de variation de la consommation est nul. Le taux d'épargne est égal à la part des ressources naturelles.

Proposition 5

Une condition nécessaire et suffisante pour un niveau constant de consommation avec aucun changement technique et pas de croissance est que la part des ressources naturelles soit plus faible que la part du capital.

Supposons maintenant que cette économie produise m outputs y_k ($k = 1, m$) à partir des inputs productibles x_{ik} ($i = 1, m$; $k = 1, m$) ayant une part γ_{ik} dans la production de y_k , et de n ressources non renouvelables q_{jk} ($j = 1, n$; $k = 1, m$) ayant une part δ_{jk} et dont les stocks s'élèvent à R_j à l'instant initial. La consommation c_k s'écrit

$$y_k = \sum_{i=1}^m x_{ik}$$

et l'utilité $u(c_1, c_2, \dots, c_m)$. Cherchons alors le taux optimal d'exploitation des ressources. Si γ est le taux social d'escompte on obtient :

$$\frac{\dot{q}_j}{q_j} = -\gamma + \frac{\sum_{k=1}^m \sum_{l=1}^m u_{c_k} c_{k1} \left[1 - \sum_{i=1}^m \gamma_{ik} \right] \delta_{jk} y_k \dot{y}_1}{\sum_{k=1}^m u_{c_k} \delta_{jk} y_k}$$

$$+ \frac{\sum_{k=1}^m u_{ck} y_k \dot{y}_k}{\sum_{k=1}^m \delta_{yk} u_{ck} y_k} \quad \text{avec} \quad \sum_{k=1}^m q_{jk} = q_j$$

en utilisant l'Hamiltonien $H(t)$

$$H(t) = e^{-\gamma t} \left[u(c_1, c_2, \dots, c_m) - \sum_{j=1}^n \lambda_j \left(\sum_{k=1}^m q_{jk} \right) \right]$$

$$\dot{\lambda}_j = \gamma \lambda_j ; \lambda_j = \frac{u_{ck} \delta_{jk} y_k}{q_{jk}} ; x_{ik} = \gamma_{ik} y_k$$

on obtient $\frac{\dot{q}_j}{q_j} = -\gamma$ comme BECKMANN (1974) si on pose $u(c_1, c_2, \dots, c_m) = \sum_{i=1}^m a_i \log c_i$

et alors $q_j(t) = \gamma R_j e^{-\gamma t}$ ou en temps discret

$$q_j(t+1) = \left(1 - \frac{1}{1+\gamma}\right) R_j(t) = \frac{\gamma}{1+\gamma} R_j(t)$$

$$\text{avec} \quad R_j(t+1) = R_j(t) - q_j(t+1)$$

Nous voyons que le résultat de BECKMANN est particulier et ne reste valable pour toute fonction d'utilité choisie que dans le cas où $\dot{y}_k = 0$. Son résultat signifie que la productivité marginale doit être plus grande ou égale au taux d'utilisation des ressources. Quand le changement technique augmente, le taux d'extraction des ressources, dans un état stationnaire, augmente aussi et ce résultat se retrouve chez DASGUPTA et HEAL (1974). Ils trouvent que la ressource considérée est exploitée plus rapidement qu'en l'absence de progrès technique, en supposant que la date de la découverte d'une ressource de substitution est incertaine et à laquelle ils attachent une distribution de probabilité ; en fait, leur problème probabiliste se réduit à un problème déterministe équivalent où le taux d'escompte est supérieur à celui du cas certain.

4.0.2 La ressource comme facteur essentiel et extraite avec des coûts croissants

Reconsidérons la même économie et voyons si la prise en compte de ressources substitués et de la qualité différentielle des gisements donne des résultats différents de ceux obtenus précédemment.

a) Supposons d'abord que l'économie dispose d'une seule ressource qui devient de plus en plus difficile à extraire au fur et à mesure que la réserve s'épuise. Comme il n'est pas plausible de considérer, en même temps, des coûts d'extraction nuls et un changement technique constant, prenons une fonction de production de l'économie du type suivant :

$$Y_t = R_t^\beta K_t^{\alpha_1} E_t^{\alpha_2} L_t^{\alpha_3} e^{\lambda t}, \quad \alpha_i > 0, \quad \sum_{i=1}^3 \alpha_i = 1, \quad \beta > 0$$

où R, K, E, L et λ représentent respectivement le stock de ressources, le stock de capital, la quantité de ressources utilisée, le travail et le taux de changement technique. L'introduction du facteur R_t^β dans la fonction de production reflète la difficulté croissante d'extraction d'un gisement (ou le recours à des gisements de mauvaise qualité nécessitant des techniques plus coûteuses). La condition d'efficacité de DORFMAN-SAMUELSON-SOLOW (1958, chap. 12) est maintenant différente et s'écrit : le rendement du capital doit être égal au taux de changement du produit marginal de la ressource plus le rapport du rendement marginal de la réserve sur celui de la quantité de ressource utilisée : on arrive à la proposition suivante (SUZUKI ; 1976). 531).

Proposition

Un taux de croissance de la consommation par tête est possible si et seulement si, le rapport du taux de changement technique λ sur le taux de croissance positif de la population est plus grand que la part de la ressource α_2 .

Supposons maintenant qu'on fasse de la recherche à côté et considérons une fonction de production du type suivant :

$$Y_t = Z_t^\beta K_t^{\alpha_1} E_t^{\alpha_2} L_t^{\alpha_3}$$

où Z_t représente la somme cumulée des investissements consentis à la recherche. Une proposition particulière qu'on peut tirer de cette analyse et que si la population reste constante, une condition nécessaire et suffisante pour que la consommation puisse connaître un taux de croissance constant est que $\beta > \alpha_2 + \alpha_3$ (SUZUKI, 1976, p.535).

b) Considérons enfin une économie qui dispose de deux gisements de qualité différente, c'est-à-dire ayant des coûts d'extraction différents. Si les coûts sont constants et qu'on veut maximiser la consommation sur deux périodes, il apparaît qu'il n'est pas optimal d'exploiter le gisement de mauvaise qualité pendant la première période avant d'avoir épuisé l'autre gisement, et ce sans faire intervenir le taux d'escompte (SOLOW et WAN, 1976).

Supposons maintenant que le gisement de mauvaise qualité est inépuisable et ayant un coût d'extraction constant β et que l'autre a des coûts croissant avec la production cumulée, jusqu'à β où on l'abandonne en commençant à exploiter le premier. Maximisons maintenant deux indices d'utilités collectives, l'un tenant compte du gisement de bonne qualité et l'autre du gisement inépuisable (HEAL, 1976). On trouve que le prix net, qui chez HOTELLING augmente à un taux égal au taux d'intérêt, décroît ici dans le temps jusqu'au moment où il devient et reste nul. Cet instant se produit quand le coût d'extraction du gisement de bonne qualité atteint β .

4.0.3. La ressource est importante mais pas essentielle

Jusqu'à présent, nous avons considéré les ressources comme essentielles. En réalité, beaucoup de ressources qu'on considère aujourd'hui comme essentielles ne l'étaient pas dans le passé ou n'étaient même pas utilisées. Considérons une économie, ayant une population constante, aucun progrès technique et une production fixée par le reste de l'économie d'un bien étant considéré comme un parfait substitut d'une ressource rare non renouvelable. De manière à cerner les traits essentiels particuliers à la ressource, cette dernière représente le seul facteur de production considéré explicitement dans cette économie. Comme la réserve de la ressource représente une source pour la consommation future, la fonction d'utilité collective dépend exclusivement d'un bien de consommation et de l'état de cette réserve, traduisant ainsi le désir de la collectivité de conserver la ressource (VOUDSEN, 1973).

Interrogeons nous alors sur le choix d'un rythme optimal d'exploitation de la ressource et la durée de temps pendant laquelle la production continue. Il existe des solutions optimales quand on choisit un taux social de préférence intertemporel positif. L'exploitation baisserait alors

progressivement avec le temps en se maintenant au niveau qui maximiserait l'utilité moyenne de l'extraction (VOUSDEN 1973, KOOPMANS 1974).

Quand le désir de conserver les ressources est assez fort, alors l'épuisement des ressources n'est plus nécessaire dans un programme optimal d'exploitation. De plus, la durée optimale d'extraction, en cas d'épuisement, est plus ou moins grande selon que la production fixée par le reste de l'économie (indépendant de la ressource) est plus ou moins petite.

Malgré le contenu assez pauvre de son modèle sur le plan économique, VOUSDEN montre par cette remarque que les pays fortement industrialisés et donc dépendant des ressources rares considérablement, doivent les utiliser à un taux minimal. Si actuellement on n'observe pas une telle situation dans ces pays, la situation opposée existe dans certains pays non industrialisés, à vocation agricole et exploitant les ressources à un rythme très rapide. Les ressources en question appartiennent à toutes les générations présentes et à venir. Quand on dispose d'une certaine réserve, comment l'exploiter dans un esprit de justice intergénérationnelle ?

Le seul critère qui semble raisonnable est de maximiser la consommation par tête, constante pour les générations présentes et futures. Cependant cela exige, comme le montre SOLOW (1974, Symposium), un stock de capital assez grand pour assurer un mode de vie décent, sinon il perpétue la pauvreté.

4.1 Economie ouverte

4.1.1 La ressource n'est pas essentielle

Reprenant les hypothèses de son modèle, et considérant une économie ouverte, VOUSDEN (1974) formule un modèle d'une économie à deux secteurs, l'un pour les ressources et l'autre pour les biens manufacturés. Choissant une fonction d'utilité dépendant de la consommation de ces deux biens sous contrainte d'une balance équilibrée à chaque instant, son but est de déterminer le volume optimal d'exportation (ou d'importation) de la ressource et la variation de ce commerce dans le temps, et le schéma de spécialisation dans la production et dans la consommation dans le pays

en question.

Comment le sentier optimal de production et de consommation dans un modèle intertemporel central est relié aux niveaux de production et de consommation dans le mode statique concurrentiel ? Pour des horizons de plans suffisamment courts et des avoirs de ressources suffisamment grands, la solution optimale pour le modèle central coïncide avec la solution pour le modèle statique concurrentiel, alors que pour des horizons de temps plus longs et des avoirs de ressources initiaux plus faibles, le niveau optimal de la production extractive sera plus petit que l'optimum statique et déclinera avec le temps jusqu'à ce que la ressource soit épuisée.

Plus particulièrement, il est montré que la séquence des politiques optimales dépend des termes de l'échange et les propriétés de sa fonction de bien-être social. Dans le contexte de son modèle, VOUSDEN conclut qu'une politique de tarif optimum n'a pas de rapport intéressant, mais cela n'est pas vrai en général. En effet VOUSDEN propose que l'élasticité de la courbe d'offre de l'étranger est infinie, donnant ainsi une valeur nulle au tarif optimum sur les ressources.

4.1.2 La ressource est essentielle

SIMONS (1976) étudie, dans le cadre d'un équilibre général, un modèle très simple, reflétant une économie à deux secteurs, décrite ci-dessus, la balance des paiements équilibrée (à chaque instant) et le capital pleinement employé. Il a supposé les rendements d'échelle constants dans le secteur de consommation pour simplifier l'analyse, mais des rendements décroissants dans l'industrie extractive de la ressource pour prendre en compte les facteurs de production omis, l'accessibilité et la qualité décroissantes de la ressource. Avec ce modèle portons maintenant l'attention sur la date à laquelle on cesse d'utiliser la ressource et sur le processus d'accumulation du capital après cette date. Considérons les instants où cette économie continue à exploiter les ressources en imposant une élasticité constante à la fonction de bien-être. Nous obtenons la formule classique exprimant le fait que la productivité marginale par rapport à la ressource est égale au prix de la ressource vendue ou achetée de l'extérieur et, ainsi, en ayant ce prix constant, nous pouvons déduire le taux d'input dans le secteur de consommation tel que la productivité marginale du capital

est fixée. La date à laquelle l'épuisement des ressources domestiques a lieu est déterminée grâce aux valeurs possibles de la productivité du capital dans le secteur des ressources, lequel par stricte concavité, à un stock de capital nul. Quand le pays ne produit plus de ressources, le stock de capital de l'autre secteur croît ou décroît selon la valeur initiale du prix de la ressource à l'étranger et de sa fonction qui intervient dans l'équation de ce stock, sous des rendements d'échelle constants de la fonction de production.

En tout cas, l'extraction domestique optimale est à l'intersection de la courbe du coût marginal d'extraction et de la courbe de demande à un certain temps t . A un instant plus lointain t' dû à l'accumulation du capital dans le secteur de l'output final, la courbe de demande se trouve à gauche de la précédente au temps t ; de plus, les coûts ont augmenté et l'extraction optimale montre alors une extraction réduite (voir figure 1). Eventuellement, cette phase se termine quand la demande domestique des ressources extraites devient négligeable et le coût d'opportunité de la ressource égal à son prix quand elle est achetée de l'extérieur.

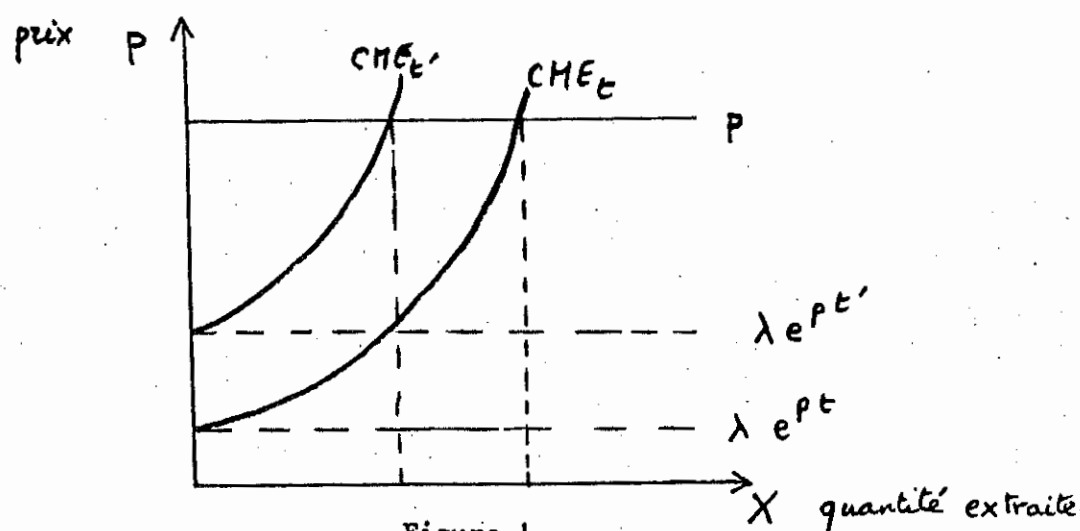


Figure 1

CME_t = coût marginal d'extraction à l'instant t .

ρ = taux social d'excompte.

5. UTILISATION DES RESSOURCES PETROLIERES POUR LE DEVELOPPEMENT DES PAYS DE L'O.P.E.P.

5.0 Stabilité du cartel O.P.E.P.

Peut-on considérer les pays de l'O.P.E.P. comme un seul bloc ? Pour BASEVI et STEINHERR (1976) la stabilité du cartel O.P.E.P. est pour le moins assurée à court terme par le fait que la plupart de ses membres ont une balance des paiements largement excédentaire et des surplus dans leur budget de gouvernement. Pourtant, que ces membres de l'O.P.E.P. viennent à s'engager dans de vastes programmes de développement et alors la stabilité de l'O.P.E.P. se maintiendrait difficilement à moyen terme.

D'après les auteurs, deux éléments jouent contre la stabilité de l'O.P.E.P. à long terme. D'abord les coûts d'extraction des réserves des différents pays ne seront pas affectés de la même façon par l'épuisement.

De plus, une composante importante du coût d'extraction perçu représente la valeur des opportunités futures décidée par la production courante. Cependant, cette quantité est déterminée entièrement par les espérances des demandes et des coûts futurs, qui dans les conditions courantes ne se forment pas aisément. De ce fait, il y a lieu de prévoir que les pays n'auront pas les mêmes espérances de coûts et de demandes.

SCHMALENSEE (1976) a étudié les implications de la théorie de l'exploitation des ressources non renouvelables dans un monde divisé en deux, les pays exportateurs de pétrole (O.P.E.P.) et les pays importateurs de pétrole (O.P.I.P.) et exportant aux premiers des machines. Dans une économie où n'existe que deux biens, les machines et le pétrole, il considère le problème du choix du rythme optimal de production en vue de maximiser la valeur présente des futurs profits ou utilités ou rendements économiques du développement. Une importante conclusion qui ressort de l'analyse de l'auteur est que la même stratégie d'extraction du pétrole doit être adoptée quel que soit l'objectif poursuivi parmi les objectifs précités, dans l'hypothèse que le prix réel du pétrole et le taux d'intérêt mondial sont exogènes au modèle. On doit cependant ne pas tirer de cette remarque des conclusions trop hâtives. Ceci implique que des différences dans les fonctionnelles d'objectif parmi les pays de l'O.P.E.P. ne devraient pas elles-

mêmes les empêcher d'arriver à un accord sur une politique commune du prix du pétrole.

Mais ceci n'indique nullement que cet accord viendra aisément, pas plus qu'il n'en nécessite de compromis pour un cartel de firmes capitalistes. Quand le prix réel du pétrole ou le taux d'intérêt mondial ne sont pas exogènes du modèle, alors des différences dans les fonctionnelles d'objectif des pays de l'O.P.E.P. peuvent aboutir à un éclatement du cartel.

En observant les différences sur les plans démographique et économique des pays membres de l'O.P.E.P. et considérant un groupe de producteurs autre que l'O.P.E.P., EZZATI (1976) cherche à étudier les conditions de stabilité du cartel. Les pays de l'O.P.E.P. qui ont une capacité d'absorption limitée peuvent exercer une pression sur les prix de façon à les faire monter et ceux qui ont une forte capacité d'absorption et qui ont tendance à faire baisser les prix (ce n'est pourtant pas ce qu'on constate). Donc les prix de l'O.P.E.P. seront fortement influencés par la capacité des pays individuels d'absorber les recettes pétrolières.

La demande de pétrole qui s'adresse à l'O.P.E.P. est la demande mondiale moins l'offre des pays ne faisant pas partie de l'O.P.E.P. (appelés groupe concurrentiel). Produire plus que cette demande est de nature à diminuer la stabilité de l'O.P.E.P. en faisant baisser les prix. Produire moins à un prix donné renforce la stabilité de l'O.P.E.P. La stabilité future de l'O.P.E.P. dépend du fait que le cartel est tel qu'il approche un monopole en éliminant certaines différences entre les membres et unifiant leurs buts. Un moyen d'arriver à cela se fait par un programme de prératonnement de production ou alors par l'établissement d'un fonds commun O.P.E.P. qui accorderait des prêts (à taux d'intérêt très faibles) aux membres de manière à les décourager de produire plus que leur ration et de prévenir l'O.P.E.P. dans son ensemble d'une production qui excéderait la demande.

EZZATI présente un modèle dynamique multisectoriel et utilisant la programmation linéaire pour optimiser un objectif, étant ici les fonctions de bien-être social pondérées pour les différents membres de l'O.P.E.P., tenant ainsi compte de leurs différences et similitudes dans un cadre intégré. La principale conclusion qui ressort de cette étude est que l'O.P.E.P., en tant que cartel, sera stable jusqu'en 1980 si le prix du

pétrole du golf persique est maintenu à 11.00 dollars (en dollars U.S. constants 1973) à cette date. A ce prix, l'offre d'exportation de pétrole brut de l'O.P.E.P. sera inférieure à ce qu'il est demandé par les pays importateurs de pétrole et le besoin des recettes pétrolières ne sera pas assez élevé pour créer un marché de surplus pour le pétrole brut. De plus, l'O.P.E.P. sera en position (de force) pour exercer une pression sur les prix pour les faire monter plus haut que 11.00 dollars constants 1973. Cette conclusion a été tirée dans l'hypothèse que les pays membres de l'O.P.E.P. essaient de maximiser la valeur présente des consommations futures et qu'ils évitent des dépenses militaires excessives.

5.1 Capacités d'absorption des pays de l'O.P.E.P. et implications

HNAYILICZA et PINDYCK (1976) établissent un modèle en tenant compte que l'O.P.E.P. est divisé en deux, les pays qui ont un besoin pressant de devises et les autres beaucoup moins. Chez les premiers, le taux d'escompte est plus élevé que chez les seconds, et les auteurs en tiennent compte dans l'actualisation de l'objectif étant, ici, la somme des profits futurs. Leur approche est de chercher une solution pour le cartel ainsi divisé en deux, basée sur la théorie des jeux coopératifs de NASH. Ainsi ils trouvent des trajectoires pour les prix et les parts de production allouées, en supposant que le cartel maximise une somme pondérée des objectifs des deux groupes.

Ils montrent que la plupart des négociations politiques confrontant un cartel divisé en deux passent par l'allocation des parts de production dans le temps, puisque la stratégie des prix est conséquente de la stratégie de production.

De plus, la stratégie de production qui est optimale est une stratégie draconienne ; les pays n'ayant pas un besoin immédiat de devises ne produiraient rien pendant les 10 ou 12 premières années. Si les membres de l'O.P.E.P. trouvent cette politique inacceptable et voudraient ainsi avoir des parts fixées constantes, alors les pertes seraient significatives pour les deux groupes et particulièrement pour les pays ayant un besoin urgent de devises.

Une politique de compromis pourrait être adoptée dans laquelle le deuxième groupe réduirait la production plus que les pays de l'autre

catégorie mais ensuite augmenterait sa production après 10 ou 15 ans. De manière à étudier les considérations à long terme des prix du pétrole, CREMER et WEITZMAN (1976) ont élaboré un modèle dynamique du type familier de la théorie du capital. Un trait distinct de leur approche est que tous les agents économiques (y compris le "groupe concurrentiel") agissent comme des individus rationnels qui maximisent leurs profits. Cependant le taux d'escompte pratiqué par le groupe concurrentiel est de 8% alors que celui pratiqué par l'O.P.E.P. est de 5%. Bien que l'incertitude soit ignorée dans le modèle, les auteurs affirment que ce dernier est fondamentalement valide, donnant des conclusions relativement robustes, étant donné le cadre de travail du modèle et les variations raisonnables des données.

Le modèle décide une séquence des prix pour toutes les périodes futures. Le groupe concurrentiel prend ces prix comme donnés et considérant les coûts d'extraction (étant égaux aux différences des fonctions de production cumulée de deux périodes successives), produit de manière à maximiser ses profits futurs escomptés. La différence entre la demande totale et la production du groupe concurrentiel est la demande à laquelle doit faire face l'O.P.E.P. Ce dernier choisit les prix de manière à maximiser ses profits futurs escomptés. Le résultat le plus intéressant de cette étude est que pour les vingt premières années, l'O.P.E.P. produira moins qu'un tiers de la production mondiale. Sa part commence à grandir en 1995 et à partir de cette date l'O.P.E.P. aura éventuellement le monopole absolu.

5.2 Dépendance du monde industrialisé

Dans la plupart des pays sous-développés l'exportation des matières premières représente une part considérable de leurs exportations, en général, vers les pays développés et ils reçoivent en échange des biens d'équipement nécessaires à leurs programmes de développement. Il est évident que ces derniers affectent l'épuisement des réserves et le prix des ressources, d'autant plus que le monde développé, avec sa structure actuelle dépend des ressources dans une très large mesure. Le problème de gestion des ressources pour ces pays doit être envisagé dans le cadre d'une économie ouverte.

Un modèle, donnant des solutions économiques intéressantes, devrait inclure dans ses variables les termes de l'échange, l'investissement étranger, les mouvements de capitaux entre les pays, etc. FARHAT (1975) a étudié le problème des ressources épuisables en s'intéressant plus particulièrement aux économies sous-développées (O.P.E.P.) commerçant avec le reste du monde. La relation entre les programmes de développement et les sentiers optimaux des prix des ressources était considérée, aussi bien que la consommation, l'importation, l'exportation, etc. Les approches soit par maximisation du bien-être, soit du profit soit du surplus du consommateur étaient adoptées et la relation entre ces approches établie.

Il a montré en général, que le prix de la ressource à l'intérieur du pays doit augmenter si la consommation du pays augmente. Quand l'élasticité de la demande de l'étranger est égale en valeur absolue à l'unité, le prix de la ressource à l'extérieur devrait rester constant.

Si l'élasticité est inférieure à l'unité, les prix de la ressource, en croissant, satisfont la maximisation du profit mais non la maximisation du bien-être à moins que l'investissement ne soit considéré à l'étranger. Dans ce cas, puisque le développement requiert du capital investi dans le pays, ce dernier sera obligé de violer la maximisation du profit s'il désire maintenir le développement de son économie.

Son étude n'est pas complète dans la mesure où il ne s'est pas intéressé aux conditions de production propres aux économies sous-développées et aux conditions de demande particulières à ces ressources.

Dans un monde économique divisé en deux blocs l'O.P.E.P. et l'O.P.I.P., BASEVI et STEINHERR (1976) cherchent à expliquer la hausse du prix du pétrole en 1974 et les arrangements possibles à apporter pour le meilleur commerce entre les deux blocs. La hausse du prix en 1974 ne serait pas explicable à long terme par le fait que la demande de pétrole par le bloc O.P.I.P. est inélastique au point d'équilibre de libre échange, ce qui n'est vrai qu'à court terme. Une explication valable serait de dire, qu'avant 1974, l'échange n'était pas conduit au point de libre échange (point de concours des deux courbes d'offre de l'O.P.E.P. et de l'O.P.I.P. dans le plan machines-pétrole), les compagnies pétrolières étant les moyens des pays importateurs d'exploiter leurs termes de l'échange vu

que ces dernières avaient moins de raison que l'O.P.E.P. de conserver les réserves de pétrole plus longtemps.

Sur le plan des arrangements, le fait de diminuer la taxe sur la consommation domestique de pétrole profiterait à l'O.P.E.P. et diminuerait le bien être de l'O.P.I.P.

Deux solutions avantageuses aux deux blocs seraient soit de faire un transfert initial de machines de O.P.I.P. à O.P.E.P. et de s'aligner sur les termes de libre échange, soit de faire un transfert initial de pétrole de O.P.E.P. à O.P.I.P. et de s'aligner sur le tarif optimum (étant en fait le point de tangence de la courbe d'offre de l'O.P.I.P. avec une courbe d'indifférence de l'O.P.E.P.). La première solution est meilleure que la seconde car elle maintient l'O.P.E.P. au niveau d'utilité atteint au point du tarif optimum et améliore l'utilité de l'O.P.I.P. dont elle jouit au point de libre échange. La seconde, par contre, donne seulement aux deux blocs une région où cet avantage mutuel est possible.

6. CONCLUSION

Pourquoi cet intérêt soudain dans la littérature économique à propos des ressources rares non renouvelables ? Le modèle de croissance qui a prévalu jusqu'à ces dernières années supposait qu'il n'y avait pas de limite à l'offre des facteurs de production autres que le travail. C'est un modèle à deux facteurs dans lequel la production dépend exclusivement du capital et du travail. La terre et les ressources naturelles, le troisième facteur considéré par les classiques, avaient été généralement soustraites de l'analyse économique, dont il était supposé d'une manière tacite que le capital était le substitut presque parfait. Ce n'est qu'avec les "Modèles du Monde" du "Club de Rome" qu'on a commencé à considérer explicitement les ressources naturelles dans les modèles de croissance. Pourtant l'origine de la théorie de la gestion des ressources naturelles remonte à 1914 avec L.C. GRAY. Avec HOTELLING, en 1931, la théorie recevait un traitement complet. Que dit cette théorie ? Elle dit que s'il existait un marché des ressources et s'il était parfait, le prix net (au coût d'opportunité) de la ressource, égal au prix (du marché) moins le coût marginal d'extraction, augmente exponentiellement au taux d'intérêt du marché. Ceci est une condition nécessaire à l'efficacité et donc pour

l'optimum social. Une autre condition reste à remplir pour l'optimum intertemporel : le marché doit escompter les futurs profits au même taux que la société voudrait escompter le bien-être des futures générations.

Dans le cadre d'un marché oligopolistique comparativement au schéma concurrentiel, il y a une sous-exploitation de la ressource, dont la demande est inélastique. A ce niveau, le comportement des producteurs qui consiste à maximiser le profit conduit à la divergence du coût marginal social et du prix.

Les marchés des ressources sont sujets à une grande incertitude. En outre le coût d'opportunité de l'extraction future, dépendant des conditions de la demande future et des coûts d'extraction, la question du degré de prévision devient très importante avec une demande future et des coûts incertains ; il y a vraisemblablement un biais vers un rapide épuisement du fait des compagnies ayant l'aversion pour le risque. C'est pourquoi les gouvernements prennent des mesures fiscales, d'une part pour réduire les taux d'extraction et, d'autre part pour liquider la divergence qui existe entre le coût marginal social et le prix. Si nous nous situons dans une économie centralisée, avec les ressources rares non renouvelables, comme facteurs de production, nous pouvons voir que les taux d'épuisement des ressources dépendent du degré de substitution des autres facteurs avec les ressources.

Dans cette économie, fermée on peut dire que si l'élasticité de l'output aux ressources est plus petite que l'élasticité de l'output par rapport au capital, alors une population constante peut maintenir un niveau positif constant de consommation par tête.

Dans le cadre d'une économie ouverte, et particulièrement pour les pays membres de l'O.P.E.P., on a vu qu'il est important de savoir quel objectif optimiser. Néanmoins, pour une large classe d'objectifs, le prix relatif de la ressource et le taux d'intérêt mondial étant exogènes, il est optimal d'adopter la stratégie consistant à maximiser la valeur actualisée des profits futurs provenant de la vente.

Beaucoup de choses restent à dire sur la gestion des ressources rares non renouvelables dans les pays sous développés (O.P.E.P.) et celle-ci n'a reçu aucun traitement particulier malgré le fait que ces pays détiennent une part considérable des réserves mondiales de ces ressources.

Si on considère un de ces pays, commerçant avec le monde extérieur et désireux de se développer au moyen d'une ressource rare, il faut tenir compte des conditions de production propres à une économie sous développée et des conditions de demande particulières à la ressource auxquelles ce pays sera soumis).

Une direction importante et utile de futures recherches est de concevoir un système de jeux différentiels qui conduirait à construire un jeu de stratégies dans lequel il y a deux groupes en conflit, l'O.P.E.P. et l'O.P.I.P.. Chaque groupe essaierait d'adopter certaines stratégies de manière à optimiser une fonctionnelle d'objectif particulière, en considérant quelques règles précises qui doivent être observées en cours de jeu et décider du résultat si le jeu a une solution.

NOTES

1. Soit X_t la demande d'une ressource non renouvelable.

$$\text{Soit } X_t = (1 + Qe^{it})^{-\epsilon}$$

Pour une telle ressource, il est plus raisonnable de dire que son élasticité ϵ (par rapport au prix) s'écrit : $\epsilon = \epsilon_0 e^{bt}$ avec $b > 0$ et ϵ_0 très proche de zéro. En effet cette demande est inélastique à court terme et devient de plus en plus élastique, en supposant que des substituts existent.

Dans le cas où $\epsilon_0 = 10^{-5}$, Q représente une part importante du prix. Il est bon de signaler que lorsque le prix du pétrole a augmenté, (1974) la demande n'a pas diminué pour autant.

2. Cette condition peut résulter d'un problème du type suivant :

$$\text{Max } \int_0^\infty e^{-\gamma t} u(C(t)) dt \text{ sous les contraintes}$$

$$\dot{X}(t) = -q(t) ; X(0) = X_0$$

$$\dot{K}(t) = F(K, q) - C(t) ; K(0) = K_0.$$

Avec $C(t)$, $K(t)$, $X(t)$, $Q(t)$, à l'instant t , la consommation, le stock de capital, l'état de la réserve de la ressource et la quantité de ressource utilisée. F est la fonction de production en vigueur dans cette économie. L'Hamiltonien s'écrit avec $X(t) \geq 0$, $q(t) \geq 0$.

$$H(t) = e^{-\gamma t} (U(C(t)) - \lambda_1 q(t) + \lambda_2 (F(K, q) - C(t)) + \dot{\gamma}_1 X(t) + \dot{\gamma}_2 q(t))$$

$$1) \dot{\lambda}_1 = \gamma \lambda_1 - \gamma_1 \quad 2) \dot{\lambda}_2 = \gamma \lambda_2 - \lambda_2 F_K$$

$$3) \frac{\partial H}{\partial q} = -\lambda_1 + \gamma_2 + \lambda_2 F_q = 0$$

$$4) \frac{\partial H}{\partial C} = U'(C) - \lambda_2 = 0$$

Si les contraintes ne sont pas liantes : avec $q > 0$ et $X > 0 \rightarrow$ de 3) $\lambda_1 = \lambda_2 F_q$.

$$\dot{\lambda}_1 = \dot{\lambda}_2 F_q + \lambda_2 \frac{\partial F_q}{\partial t} = \lambda_2 ((\gamma - F_K) F_q + \frac{\partial F_q}{\partial t}) = \gamma F_q \lambda_2$$

d'où
$$F_K = \frac{\frac{\partial F}{\partial t} q}{F_q} .$$

3. Quand on considère une fonction de production ne tenant compte que du capital et du travail, une croissance régulière efficace est obtenue en égalant le taux d'épargne à la part de capital.

Soit en effet, à maximiser $\int_0^{\infty} u((1-s)F(K,L)) dt$
sous les contraintes

$$\dot{K}(t) = sF(K,L) - \delta K(t), \quad K(0) = K_0$$

avec $K, s, F(K,L), \delta$, le stock de capital, le taux d'épargne, une fonction de production du type COBB-DOUGLAS et le taux de dépréciation du capital.

L'Hamiltonien s'écrit :

$$H(t) = u((1-s) F(K,L)) + \lambda (sF(K,L) - \delta K)$$

$$1) \quad \dot{\lambda}(t) = -(1-s)F_K u_{(1-s)F} - \lambda (sF_K - \delta)$$

$$2) \quad \frac{\partial H(t)}{\partial s(t)} = -F(K,L) u_{(1-s)F} + \lambda F(K,L) = 0,$$

$$\lambda = u_{(1-s)F} = \frac{\partial u((1-s) F(K,L))}{\partial ((1-s) F(K,L))}$$

avec $\dot{K}(t) = 0$ et $\dot{\lambda}(t) = 0$.

$$s(t) = \frac{K\delta}{F(K,L)} \text{ et } -(1-s)F_K - sF_K + \frac{sF}{K} = 0$$

$$s = \frac{KF_K}{F(K,L)} = \text{part du capital.}$$

BIBLIOGRAPHIE

- ARROW, K.J. and KURZ, M. Public Investment, The Rate of Return and Optimal Fiscal Policy (Baltimore : John Hopkins Press), 1970.
- BASEVI, G. and STEINHERR, A. "The 1974 increase in Oil Price : Optimum Tariff or Transfer Problem ?" Weltwirtschaftliches Archiv, Band 112, 1976, Heft 2.
- BECKMANN, M.J. "A Note on the Optimal Rates of Resource Exhaustion" Review of Economic Studies, (Symposium 1974) 121-122.
- BLAQUIERE, A., GERARD, F. and LEITMANN, G. Quantitative and Qualitative Games (New York : Academic Press), 1969.
- BURT, O.R. and CUMMINGS, R.G. "Production and Investment in Natural Resource Industries". The American Economic Review, 60 (September 1970), 576-590.
- CREIER, J. and WEITZMAN, M.L. "O.P.E.C. and the Monopoly Price of World Oil". European Economic Review, 8 (1976), 155-164.
- DASGUPTA, P. and HEAL, G. "The Optimal Depletion of Exhaustible Resource". Review of Economic Studies (Symposium, 1974) 3-28.
- DAY, R.H. "On Global Development" Social System Research Institute University of Wisconsin, Workshop Series (November, 1975).
- DELAUNAY, J. Halte à la croissance. (Paris, Fayard, Coll. Ecologie, 1972.
- DORFMAN, R., SAMUELSON, P.A. and SOLOW, R.M. Linear Programming and Economic Analysis (New York ; Rand Corp), 1958.
- EZZATI, A. "Future O.P.E.C. Price and Production Strategies as affected by its Capacity to Absorb Oil Revenues" European Economic Review 8 (1976), 107-138.
- FARHAT, M.L.F. "Optimal Depletion of the Non-Renewable Resources with Special Reference to the Oil Resources" Ph.D. Thesis, University of Southampton (1975).
- FORRESTER, J. World Dynamics Cambridge, Mass : Wright-Allen Press), March 1971.
- FORRESTER, N.B. The Life Cycle of Economic Development (Cambridge, Mass-Allen Press) 1973.
- GARNAUT, R. and ROSS, A.C. "Uncertainty, Risk A Version and the Taxing of Natural Resource Projects". The Economic Journal (June 1975), 272-287.
- GORDON, R.L. "A Reinterpretation of the Pure Theory of Exhaustion" Journal of Political Economy 75 (June 1967), 274-286.
- GRAY, L.C. "Rent Under Assumption of Exhaustibility" Quarterly Journal of Economics, 78 (May 1914), 68-69.

- HANSON, D.A. "Second Best Pricing Policies for an Exhaustible Resource" American Economic Review 67 (February 1977), 351-354.
- HEAL, G.M. The Theory of Economic Planning (Amsterdam : North-Holland), 1973.
- "The Depletion of Exhaustible Resources" University of Sussex, Economic Seminar Paper Series 73/03.
- "Economic Aspects of Natural Resource Depletion" in D. Pearce and J. Rose (eds) Economics of the Natural Resource Depletion (London : Macmillan); 1975.
- "The Relation Ship Between Price and Extraction Cost for a Resource with a Backstop Technology" The Bell Journal of Economics, 7 (Autumn 1976), 371-378.
- HERFINDAL, O.C. "Some Fundamentals of Mineral Economics" Land. Econ, 31 (May 1955), 131-138.
- "Depletion and Economic Theory" Paper presented to the annual meeting of the Council of Economics, American Institute of Mining, Metallurgical and Petroleum Engineers, March 1965.
- HNYILICZA, E. and PINCYCK, R.S. "Pricing for a Two-Part Exhaustible Resource Cartel : The Case of O.P.E.C.". European Economic Review B (1976), 139-154.
- HOTELLING, H. "The Economics of Exhaustible Resources" Journal of Political Economy 39(April 1931), 137-75.
- INGHAM, A. and SIMONS, P. "Natural Resources and Growing Population" Review of Economic Studies 42(April, 1975), 191-206.
- JOHNSON, H.G. "The Efficiency and Welfare Implication of the International Corporation" in Durning (ed), International Investment, (London : Pe,guin), 1972.
- KAY, J.A. and MIRRLEES, J.A. "The Desirability in Natural Resource Depletion" in D. PEARCE and J. ROSE (eds) The Economics of Natural Resource Depletion (London Macmillan) 1975.
- KOOPMANS, J.C. Trois essais sur la science économique contemporaine (Paris : Dunod), 1970.
- "Proof for a Case where Discounting Advances the Doomsday". Review of Economic Studies (Symposium 1974), 117-120.
- KUHN, H.W. and SZEGO, G.P. Differential Games and Related Topics (Amsterdam North-Holland), 1971.
- MANNE, A.S. "Eta : A Model for Energy Technology Assesment". The Bell Journal of Economics, 7(Autumn 1976), 379-406.
- MARGLIN, S.A. "The Social Rate of Discount and the Optimal Rate of Investment". Quarterly Journal of Economics 77(February

1963a), 95-111.

- "The Opportunity Costs of Public Investment" Quarterly Journal of Economics 77 (May 1963 (b)), 274-289.
- MEADOWS, D.H. and MEADOWS, D.L. The Limits to Growth London : Earth Island), 1972.
- NORDHAUS, W.D. and TOBIN J. "Is Economic Growth Obsolete ?" in (New York : National Bureau of Economic Research) 1972, 1-24.
- OWAIS-RIKABI-SUCCARI "International Petroleum Market Policy Confrontation of the Common Market and the Arab Countries". Ph. D. Thesis, Louvain 1968.
- PEARCE, D.W. and ROSE, J. (Eds) The Economics of Natural Resource Depletion (London : the Macmillan Press), 1975.
- PESTIAU, P. "Choix du taux d'actualisation" in Annales de l'Economie Publique, sociale et coopérative. (Avril-Juin 1976), 137-143.
- SALANT, S.W. "Exhaustible Resources and Industrial Structure : A Nash-Cournot Approach to the World Oil Market." Journal of political Economy, 84 (October 1976), 10-79-93.
- SANDMO, A. and DREZE, J.H. "Discount Rate for Public Investment in Closed and Open Economies", Economica, 38 (1971) 395-412.
- SCHMALENSEE, R. "Resource Exploitation and the Behaviour of the Oil Cartel" European Economic Review 7 (1976) 139-154.
- SHELL, K. and STIGLITZ, J.E. "The Allocation of Investment in a Dynamic Economy" Quarterly Journal of Economy 11 (1967) 592-609.
- SHERBINY, N.A. and TESSLER, M.A. (Eds) Arab Oil Impact on the Arab Countries and Global Implications. (New York : Praeger Publisher), 1976.
- SIDWICK, H. "The Principles of Political Economy" 3rd Edition, (London : Macmillan Press), 1924.
- SIMMONS, P. Optimal Taxation and Natural Resources working paper 7602. Université catholique de Louvain.
- SOLOW, R.M. "The Economics of Resources or the Resources of Economics", American Economic Review (May, 1974) 1-14.
- "Intergenerational Equity" Review of Economic Studies (Symposium 1974),
- SOLOW, R.M. and WAN, F.Y. "Extraction Costs in the Theory of Exhaustible Resources. The Bell Journal of Economics, 7 (Autumn 1976) 359-370.

- STIGLITZ, J.E. "Growth with Exhaustible Resources : Efficient and Optimal Growth Paths" Review of Economic Studies (Symposium 1974), 123-137.
- "Growth with Exhaustible Resources the Competiting Economy" Review of Economic Studies (Symposium 1974) 139-152.
- SUZUKI, H. "On the Possibility of Steadily Growing per Capita Consumption in an Economy with a Wasting and non-replenishable Resource". Review of Economic Studies, 43 (October, 1976), 527-535.
- SWEENEY, J.L. "Economics of Depletable Resources : Market Forces and Intertemporal Bias" Review of Economic Studies, 44 (February 1977), 125-141.
- VAN LONG, N. "International Borrowing for Resource Exhaustion". International Economic Review, 15 (February, 1974), 168-183.
- VOUSDEN, N. "Basic Theoretical Issues of Resource Depletion". Journal of Economic Theory, 6 (April 1973), 126-143.
- "International Trade and Exhaustible Resources : A Theoretical Model". International Economic Review, 15 (February, 1974), 149-167.
- WAN, H.Y. Economic Growth (New York : Harcourt, Brace, Jovanovitch), 1971.