

RESSOURCES NATURELLES ET IRRÉVERSIBILITÉ¹

Jean-Paul Fitoussi, Patrick Cohendet et Jean-Alain Heraud *

Le discours sur les ressources naturelles est contradictoire, quant à la pertinence même du problème. Il n'est pas étonnant que ceux-là mêmes qui utilisent une approche cinétique de la croissance aient tendance à le nier. Leurs modèles peuvent difficilement s'accommoder de l'irréversibilité. Il n'est guère plus étonnant que d'autres, avec une belle assurance, affirment son irréductibilité et insistent sur ses conséquences dramatiques à court terme. Le caractère excessif d'une prévision est un bon moyen de séduction.

Et pourtant, la base matérielle de ces prédictions ne saurait faire oublier que nous sommes en ce domaine, comme dans tous les autres, confrontés à l'incertitude, c'est-à-dire selon Knight [12] à l'impossibilité de former une expression quantifiée du futur. Et les diverses études chiffrées dont nous disposons ne démentent pas cette affirmation. Que l'on compare par exemple, les prédictions contenues dans « The limits to growth » [14] à celles de Nordhaus [15] ou à celles d'Emile Benoît [2]. Leurs divergences flagrantes conduisent à des perceptions totalement différentes du problème. Ainsi, selon Nordhaus, les études empiriques montrent que le futur ne sera pas limité par la disponibilité de ressources importantes » [15] et que la technologie nucléaire courante et les réserves actuelles de pétrole nous permettraient d'être

1. Ce texte ne représente qu'une note rapide relative à la problématique d'une recherche qui se développe au Bureau d'Économie Théorique et Appliquée de l'Université Louis Pasteur de Strasbourg.

Affiliation au moment de la publication : * BETA, Université Louis-Pasteur, Strasbourg.

Publié dans *Revue d'Économie Politique*, 89 (3) : 379-88, 1979 © Reproduit avec l'autorisation de la Revue.

approvisionnés pendant 8 400 années. Pour Emile Benoît, ces chiffres n'apparaissent si élevés que parce que la durée des stocks est évaluée par rapport au taux actuel de consommation. Si l'on appliquait à la consommation un taux de croissance raisonnable, les différences seraient considérables. Par exemple, les réserves de charbon ne seraient que de 135 et non de 5 119 années [2].

Ces controverses ne peuvent qu'engendrer le doute quant au sérieux des chiffres utilisés. L'exigence d'une recherche empirique plus systématique est évidente. Car l'émergence même du problème des ressources naturelles ne résulte pas d'un discours théorique, mais de la constatation de la finitude de ces ressources. Et si l'horizon de cette finitude est à des millénaires, le problème ne conserve qu'une dimension métaphysique.

1. La thermodynamique, plutôt que la mécanique devrait inspirer les modèles économiques

Mais l'absence d'une connaissance empirique réellement fiable et suffisamment globale ne doit pas conduire à la paralysie. Le fait que le problème des ressources naturelles soit posé, interdit en effet que l'on puisse continuer d'analyser le processus économique en terme des catégories dominantes, car l'existence même atténuée, du problème porte en elle-même un double message :

- Le processus économique n'est pas un processus isolé auto-entretenu. Il participe d'un échange réciproque avec son « environnement » [6].
- Cet échange n'est pas régi par les lois de la mécanique, mais par celles de la thermodynamique, et notamment par la loi d'entropie : « les phénomènes réels se meuvent dans une direction définie et impliquent des changements qualitatifs. Voici la leçon de la thermodynamique, une branche particulière de la physique, si particulière que les puristes préfèrent ne pas la considérer comme faisant partie de la physique, du fait de sa texture anthropomorphe » [8].

Bref, ce que la prise de conscience du caractère épuisable des ressources naturelles met en exergue c'est l'irréversibilité du processus économique ainsi que sa forte dépendance de phénomènes qu'il ne contrôle pas. Ces préoccupations, on le sait, sont étrangères aux modèles néoclassiques de croissance ou au modèle marxiste de

reproduction. Pourtant, la nature était au cœur de la problématique des auteurs classiques. Et c'est à « l'observation » du rôle de la « terre » dans le processus économique que l'on doit les premiers outils de l'analyse économique moderne. Pourquoi la nature a-t-elle été rejetée hors des frontières de notre discipline et pratiquement oubliée pendant plus d'un siècle² ? La question du statut épistémologique de la science économique qui voulait se constituer à l'image de la mécanique newtonnienne – n'est probablement pas étrangère à cet oubli. Mais, entre temps et jusqu'au regain d'intérêt récent donné sous l'impulsion des membres de l'association « Resources for the future » et de quelques économistes tels que N. Georgescu-Roegen, K. Boulding, H. Daly, une étape importante a été franchie dans l'évolution des systèmes économiques développés : l'arrivée à l'âge mûr des sociétés issues de la révolution industrielle. Le niveau atteint par la production de biens matériels est tel que des problèmes très nouveaux viennent d'être perçus. Ces problèmes sont relatifs à la régulation « externe » du système, et se posent à la fois au stade des ressources matérielles et à celui des environnements variés que fournit la nature.

2. Fonds et stock naturels

Aujourd'hui, les économistes s'accordent à trouver que les ressources matérielles extraites de la nature ainsi que les déchets que nous y accumulons ont une dimension de stock. Quant aux divers environnements dont nous profitons et que nous dégradons (ou modifions qualitativement) ils ont une dimension de *fonds*. Bien que cela ne soit pas l'avis de tous les spécialistes de l'économie des ressources naturelles³, deux théories distinctes des actifs naturels doivent être développées.

- La première concerne les biens environnementaux tels le soleil, la Terre au sens de Ricardo, les forêts exploitées de manière non destructive; ces biens fournissent un flux continu de « services » au sens de N. Georgescu-Roegen, flux qui a la double propriété de ne pas épuiser sa source et d'interdire toute consommation

2. Quelques voix se sont cependant élevées sans trouver beaucoup d'échos [10, 11, 13].

3. En particulier, Anthony Scott in *Natural resources, the economics of conservation*, MacClelland and Stewart Ltd., 1973. « La distinction entre les deux types peut être importante dans le développement de moyens de préservation des ressources-stocks, mais elle est tout à fait hors de propos pour la compréhension du rôle présent des ressources dans l'économie ».

anticipée : aucune génération ne peut utiliser la plus infime partie de l'énergie solaire qui échoira aux générations ultérieures.

- La deuxième catégorie de richesses naturelles est celle qui regroupe tous les stocks du genre des dépôts minéraux. On peut y assimiler certains fonds lorsqu'ils sont exploités au-delà de leur capacité d'autorégénération, lorsqu'ils sont irréversiblement consommés (forêts définitivement dégradées en steppes, par exemple). Le seul fonds qui ne pourra jamais être utilisé à la manière d'un stock est le soleil.

La particularité des stocks naturels est de pouvoir faire l'objet d'une politique de gestion intertemporelle. La thermodynamique et ses extensions économiques développées par N. Georgescu-Roegen, nous apprennent de plus que, quels que soient les efforts de recyclage d'énergie ou de matière, il existe une limite absolue à leur utilisation.

Les deux types d'actifs naturels jouent un important rôle de facteurs de production à côté du travail humain et des actifs reproductibles (capital), mais ils ne peuvent en aucun cas être mêlés en une catégorie unique vu leur nature fondamentalement différente. Pourtant toute l'analyse classique regardait les ressources naturelles comme des *fonds indestructibles* : la terre ricardienne en est l'exemple-type ; même les mines et les carrières y sont assimilées, le principe d'analyse qui s'y applique est, selon Ricardo : « précisément le même que celui que nous avons posé par rapport à la terre, il serait inutile de nous y arrêter davantage » [16]. La vision classique des rapports entre l'homme et son milieu implique ainsi nécessairement que l'évolution du système global soit *réversible*. Ce dernier admet comme principale variable de contrôle, la *population*.

La théorie classique qui s'exprime en termes de fonds inépuisables, retraçait partiellement une réalité indéniable : les sociétés nouvellement industrielles de l'époque reposaient beaucoup plus que les contemporaines sur des fonds et essentiellement la terre. Pour ne prendre qu'un exemple, les textiles au lieu de provenir du stock de pétrole provenaient indirectement des pâturages et donc du soleil et de la terre. On pouvait ainsi pousser jusqu'aux limites « écologiques » (au sens d'un système stable) et s'y maintenir, *mais en respectant finalement les rythmes imposés par la nature*. Pour aller au-delà, les sociétés en croissance explosive ont substitué de plus en plus aux anciens modes de production des processus basés sur l'exploitation de *stocks* ; ce qui leur a permis d'imposer leur *rythme propre*, beaucoup plus rapide que

celui de la nature. La révolution néolithique fut en grande partie basée sur des processus écologiques : l'agriculture (fonds), alors que la révolution industrielle a inauguré une nouvelle « vitesse » évolutive en se basant sur l'exploitation du charbon, puis du pétrole (stocks). L'ensemble des fonds disponibles de la théorie classique peut être comparé à un mur (limite absolue) ou à un obstacle gradué (limite relative) qui se dresse devant le véhicule de la croissance. Ces notions de rareté absolue (Ricardo) ou relative (Malthus) ont en commun une nature atemporelle, et ne peuvent pas servir de base à une théorie de l'évolution économique.

3. Le progrès technique

De nos jours, le mur est perçu comme une limite imposée par la finitude des stocks mais toujours repoussée grâce au progrès technique. Dans une optique dynamique, l'obstacle deviendrait un frein. Il y aurait beaucoup à dire quant au mythe du progrès technique. Il suffit cependant de constater la vacuité de l'affirmation à laquelle il conduit : la possibilité d'une production incorporelle. En cela, il rejoint le mythe des possibilités infinies de substitution selon lequel nous pouvons substituer « d'autres facteurs aux ressources naturelles » [18].

« Il faut avoir une vue très erronée du processus économique dans son ensemble pour ne pas percevoir qu'il n'existe pas de facteurs matériels autres que les ressources naturelles » [8]. Il faudrait, plutôt que de refuser l'inéluctable échéance, se préoccuper de la distribution intertemporelle des ressources naturelles. Le problème ne peut, comme l'affirme Solow [18], être résolu par une évaluation correcte du prix des ressources et du taux social d'actualisation⁴. N. Georgescu-Roegen a montré, en effet, que le mécanisme du marché n'était pas susceptible d'éviter les crises écologiques, même si les prix sont établis correctement, en raison de la finitude de notre horizon temporel [8].

« Dans le contexte de l'entropie, toute action, de l'homme ou d'un organisme, tout processus dans la nature doit résulter en un déficit pour le système dans son ensemble » [8]. La flèche de temps que définit la loi d'entropie implique que nous substituons aux catégories de l'analyse statique des concepts mieux adaptés à la prise en

4. Selon Solow, le principe fondamental de l'économie des ressources épuisables est simple : il suffit, pour assurer une utilisation rationnelle de la ressource, que son prix net croisse à un taux égal au taux de l'intérêt.

considération de cette variable fondamentale : le temps. Les sociétés actuelles sont des systèmes évolutifs pour lesquels le temps cesse d'être un substrat amorphe et devient endogène. *Nous nous proposons de montrer qu'à la notion de rareté des théories anciennes, doit correspondre celle de délai comme variable pertinente d'une analyse diachronique.*

On peut tracer le parallèle suivant avec la théorie de l'intérêt : différer une consommation ou renoncer à une jouissance, est un acte positif pouvant porter comme fruits l'accumulation et la croissance. Le délai d'attente laisse alors au système la possibilité de reculer le moment de l'équilibre final, en tirant, partie du progrès technique et de l'accumulation d'informations qu'il secrète; étant entendu que le mur de la rareté ne peut indéfiniment être reculé, car, et nous l'avons appris de Carnot, il existe une limite théorique *indépendante* de l'état de la science et de la technique qui ne peut jamais effectivement être atteinte [8]. Il est impossible de substituer indéfiniment un capital aux richesses naturelles comme l'impliquerait le choix d'une fonction de production néoclassique standard du type Cobb-Douglas. Ce dont il s'agit de profiter seulement ici, c'est de l'indétermination entropique [6].

Ces précautions théoriques étant prises, nous pouvons affirmer un certain parallélisme entre la renonciation à une consommation irréversible de ressource et le processus habituel d'épargne-investissement. Repousser la consommation d'un élément de stock à une période future constitue un sacrifice présent dont on espère tirer un bénéfice futur sous forme d'une exploitation plus judicieuse, en profitant de l'accumulation d'information sur les états du futur (situation générale de rareté, goûts, accidents historiques) et de l'accroissement des connaissances techniques.

4. Le délai externe

Ainsi une double irréversibilité marque le développement de l'histoire économique : celle de l'accumulation de l'information et du progrès technique en un processus évolutif typique, et celle de la déaccumulation des stocks de ressources épuisables ou de la dénaturation tout aussi irréversible de certains fonds environnementaux.

Cette double irréversibilité ne doit pas cependant faire penser à une impossible symétrie. Les mouvements qu'elle suggère ne sont pas de même nature. Le terme d'accumulation est peut être impropre lorsqu'on l'applique au progrès technique. La connaissance peut être

cumulative, sans cependant avoir d'effets cumulatifs. Le progrès technique a habituellement pour effet de rendre obsolètes d'anciennes technologies. Il joue davantage dans le sens de la substitution que dans celui de la complémentarité. Et les technologies qu'il a suscitées depuis son émergence ne sont pas habituellement synchrones au sein d'un même espace économique. Quoiqu'il en soit, le temps de l'économie, à l'inverse de celui de la mécanique, est un temps irréductiblement orienté : entropique pour les ressources et historique pour les structures d'organisation et de connaissance. De plus, ces dernières sont matérialisées dans un capital physique dont l'inertie a été soulignée par Arrow [1] dans son modèle de croissance à flux d'investissement strictement positif.

Les perspectives d'évolution du système tiennent en grande partie à *l'espace aménagé* entre ces deux processus dynamiques; c'est cet espace que nous baptisons « écart instantané du système ». Écart qui peut faire penser à l'espace qui sépare les deux lames d'une paire de ciseaux. On peut ainsi décider d'une croissance (donc d'un épuisement de stock de ressources) aussi forte que l'on veut, à condition que l'on soit sûr de disposer d'un niveau de connaissances et d'organisation suffisant, pour assurer au système une productivité provenant des ressources restantes, socialement acceptable. C'est dire l'incertitude dans laquelle se prennent effectivement les décisions concernant la croissance économique.

Cependant, la société a tendance à anticiper les valeurs futures de l'écart, en misant sur la position future des deux lames de ciseaux. *Lorsque l'écart présent est perçu comme trop faible*, le comportement rationnel consiste à « investir dans l'information » à savoir attendre une information supplémentaire pour juger de l'affectation des ressources non reproductibles.

Cette information peut prendre des formes variées. Dans toute découverte, à chaque étape décisive de l'accumulation de l'information en général, il y a une part d'accidentel et une part d'effet induit, endogène. Par ailleurs, une démarche économique *prévoyante* peut revêtir deux formes comme nous l'avons suggéré : un investissement de facteurs courants (recherche et développement puis investissement) ou bien ce que l'on pourrait appeler un investissement-temps consistant pratiquement à réduire le rythme d'extraction des stocks de ressources épuisables. Ces deux politiques sont complémentaires autant que contradictoires.

Investir dans le « temps » c'est-à-dire épargner les stocks sert principalement à laisser à l'information accidentelle des occasions (en probabilité) de se manifester, mais elle permet également de donner à la recherche technologique, le temps de produire ses fruits. Cependant, et c'est là que réside la contradiction, le progrès technique endogène est fonction de l'activité économique générale, donc du rythme d'épuisement des richesses naturelles ; car le progrès immédiat, non incorporé ou indépendant de l'expérience de production n'est qu'une vue de l'esprit.

Il n'en demeure pas moins un problème de *délai externe* du système : nous désignons par ce terme le champ dont dispose l'économie avant l'épuisement des ressources les plus stratégiques compte tenu de la technologie actuelle et du rythme de l'activité économique, voire du taux de croissance minimum socialement acceptable. Si ce délai vient à se réduire dramatiquement, soit par excès de croissance soit par insuffisance de développement technologique, investir dans le temps, adopter un moratoire sur l'exploitation des stocks naturels les plus cruciaux peut se révéler plus judicieux qu'investir dans les actifs traditionnels. C'est dans cette nécessité impérieuse d'imposer au système un *délai* à la croissance que réside *la notion moderne de rareté*.

5. Le délai interne

L'alternative entre la politique d'épargne des ressources et celle d'investissement, afin de reculer le mur de la rareté, se complique d'un phénomène inertiel supplémentaire. Car, à partir d'un certain point, développer les techniques dominantes est une arme à double tranchant. Recherche, développement et investissement entraînent *l'inertie* d'un capital physique productif, d'un effort de recherche technologique, et d'un corps d'habitudes de consommation, *dans un axe privilégié*.

Si nous prenons ainsi pour axe privilégié l'exemple du pétrole :

- « *l'inertie du capital* » représente l'ensemble de production (raffineries, pétroliers) et de consommation (automobiles, autoroutes) qui constituent un système ayant sa propre logique de développement ;
- « *l'inertie de l'effort de recherche technologique* » représente la recherche de nouveaux gisements, mais aussi l'innovation et le

développement dans les secteurs utilisateurs du pétrole, ce qui accroît à terme la dépendance de la société vis-à-vis de cette ressource rare (le délai externe sera donc peut-être maintenu dans le court terme, mais sûrement pas en longue période) ;

- « *l'inertie des habitudes de consommation acquises* » ira nécessairement dans le même sens de l'épuisement de la ressource et ne *stimulera pas le secteur de production à rechercher des voies alternatives.*

Cette inertie fait apparaître la dimension structurelle de l'irréversibilité: le rythme de l'utilisation d'une ressource non renouvelable ne dépend pas principalement d'une décision exogène, disons de politique économique, mais des structures industrielles, technologiques et de consommation auxquelles est liée l'utilisation de cette ressource. Ces structures ont leur logique propre et exigent pour se perpétuer une vitesse donnée de décumulation des ressources. *Car une autre asymétrie régit le domaine de la production matérielle* : si un stock de ressource naturelle peut être « décumulé » à un taux aussi grand que l'on veut, il n'en va pas de même pour un « stock » d'équipement industriel [7]. Chaque type d'équipement a son temps propre de décumulation. *Ces différents temps propres imposent un délai aux mutations structurelles* – et nul doute que toute utilisation d'une ressource nouvelle, que toute innovation technologique détermine a des degrés divers une mutation structurelle. Le non respect de ce délai que nous qualifierons *d'interne* pour le différencier du précédent, produit – quelles que peu importantes qu'elles soient relativement au débat sur la finitude du monde – des crises économiques. L'émergence simultanée de l'inflation et du chômage peut en effet être rigoureusement expliquée en termes d'évolution structurelle et d'asymétrie [4, 5].

Si l'on ajoute au problème de la « stabilité » physique des structures industrielles, celui de la tendance moderne à la stabilité des organisations, le délai interne dont nous parlons devient multidimensionnel. L'inertie du système peut donc être mesurée par ce délai. Encore faut-il rappeler qu'il procède d'une suite continue d'enchaînements : l'utilisation d'une ressource naturelle, le progrès technique et les équipements qu'elle suscite, enfin le délai de « décumulation » de ces équipements et des organisations qui les contrôlent ou qui en dépendent.

Nous pouvons ainsi décrire trois grands types de comportement d'un système face au « problème écologique » de l'épuisement de ses bases naturelles :

- *Une politique d'austérité* qui accroît le délai externe par une réduction du rythme d'activité ou au moins un ralentissement de la croissance (c'est le seul objectif préconisé par le Club de Rome qui ne fait guère entrer dans son modèle les autres dimensions d'évolution des systèmes économiques).
- *Une politique d'investissement massif dans la recherche.* Cette politique est plus payante mais en même temps souvent plus aléatoire quant à ses résultats. Elle peut se heurter aussi à un problème d'inertie : La technologie de la recherche comme d'ailleurs le savoir faire des chercheurs, ne sont généralement pas caractérisés par une grande flexibilité. Et pour qu'un nouvel axe de recherche devienne productif, un certain délai de formation et de désapprentissage des anciens axes de recherche est nécessaire.
- *La crise économique et sociale.* C'est la réaction automatique d'un système avant la crise écologique (qui, elle, serait fatale). Par elle les structures responsables du délai interne sont dramatiquement modifiées, mais à un coût social très élevé.

Ainsi, à la notion de délai technologique et/ou de substitution au caractère quasi-exogène – puisqu'il dépend de la distribution du progrès technique dans le temps et des possibilités de substitution d'une ressource naturelle à une autre – s'ajoute celle de délai interne imposé à tout moment par la structure même du processus économique. Le non-respect du premier peut engendrer une crise écologique, celui du second une « simple » crise économique. *Le problème vient de ce que la coïncidence de ces deux délais ne peut être qu'aléatoire*, ce qui fournit en soi une explication de la nécessité des crises économiques. Cependant, la coïncidence serait-elle parfaite qu'elle n'engendrerait pas la possibilité d'un mouvement perpétuel, même de la troisième génération [9], dans un monde fini. « Mais si votre théorie se trouve contredire la deuxième loi de la thermodynamique, je ne peux vous donner aucun espoir; elle n'a qu'à s'effondrer dans la plus grande humiliation »⁵.

La disparition de la « nature » dans les préoccupations des économistes pendant près d'un siècle a peut-être une raison ontologique : la résistance à la pensée que *toutes* les espèces sont mortelles (ce qui est une autre manière de dire l'irréversibilité) ; elle n'a pas, pour autant,

5. Sir Arthur Eddington, cité par H. E. Daly [2].

été sans conséquence épistémologique : *la théorie économique a complètement disjoint le processus économique de l'évolution qui l'engendrait*. Le problème des ressources naturelles a au moins pour effet de nous rappeler qu'il faut réintroduire le temps dans l'analyse ; non pas le temps de la mécanique mais celui de l'évolution. Nous n'avons pas la prétention d'avoir réussi ou même proposé une telle réintégration. Les considérations qui précèdent doivent plutôt être considérées comme des remarques introductives. Une chose en tout cas est certaine : les multiples délais par lesquels se manifeste l'irréversibilité impliquent une analyse beaucoup plus complexe que celles qui prétendent rendre compte du phénomène en termes de fonction de production, même lorsqu'elles incorporent une « nouvelle » variable sous forme d'un stock de ressource épuisable. La croissance absolue, véritable et mathématique, ne s'écoule pas uniformément d'elle-même et du fait de sa propre nature, sans aucune relation avec le monde extérieur⁶.

Références

- [1] Arrow K. J., 1968, *Optimal capital policy with irreversible investment*, in Value, capital and growth, J. Wolfe Ed., Chicago.
- [2] Benoit E., 1976, *Must growth stop*, in Frontiers in social thought, essays in honor of Kenneth E. Boulding, North Holland.
- [3] Daly H. E., 1974, « The economics of the steady state », *American Economic Review*, mai.
- [4] Fitoussi J.-P., 1974, *Inflation, équilibre et chômage*, Cujas.
- [5] —, 1974, « De l'inflation d'équilibre à la stagnation : théorie et vérification empirique », *Économie Appliquée*, n° 1, 1974.
- [6] Georgescu-Roegen N., 1971, *The entropy law and the economic process*, Harvard University Press.
- [7] —, 1976a, « Dynamic models and economic growth », in *Energy and economic myths*, Pergamon.
- [8] —, 1976b, « Energy and economic myth », in *Energy and economic myth*, Pergamon.
- [9] —, 1976c, « Is the perpetual motion of the third kind possible », *Communication présentée au Colloque IRISENST*, Paris, novembre.

6. Nous avons à dessein paraphrasé la définition du temps de Newton. « Le temps absolu, véritable et mathématique s'écoule uniformément de lui-même et du fait de sa propre nature, sans aucune relation avec le monde extérieur », pour montrer ce que devait la théorie économique néoclassique à l'épistémologie mécaniste.

- [10] Hotelling H., 1931, « The economics of exhaustible resources », *Journal of Political Economy*, mars-avril.
- [11] Jevons W. S., 1865, « The coal question », Londres.
- [12] Knight F. H., 1937, « Risk, uncertainty and profit », *London School of Economics*.
- [13] Marshall A., 1920, « Principles of economics », 8th Edition, London, MacMillan.
- [14] Meadows D. H. *et al.*, 1972, « The limits to growth » New York, Universe Books.
- [15] Nordhaus W. D., 1974, « Resources as a constraint on growth », *American Economic Review*, mai.
- [16] Ricardo D., 1971, « Principes de l'économie politique et de l'impôt », 1820, Traduction française, Flammarion.
- [17] Scott A., 1973, *Natural resources, the economics of conservation*, Mac Clelland and Stewart Ltd.
- [18] Solow R. M., 1974, « The economics of resources or the resources of economics », *American Economic Review*, mai.