

ÉCONOMIE DE L'ENVIRONNEMENT

Nicolas Piluso



ellipses

Introduction

Au XVIII^e siècle, dans un contexte marqué par l'essor du machinisme et de l'industrie, les économistes ne faisaient pas de distinction entre les termes de croissance et de développement. Ils s'attachaient à établir des lois naturelles et universelles qui régissent le processus d'accroissement des richesses produites et la répartition du produit global. Nombreux sont ceux qui doutaient néanmoins de la capacité des économies à faire croître durablement les richesses. Thomas Robert Malthus, dans son ouvrage « Essai sur le principe de population » (1798), émet ainsi l'idée que la population croît selon une progression géométrique alors que la production, bornée par la fertilité des sols, croît selon une progression arithmétique. Selon l'auteur, des mesures de régulation démographique s'imposent pour empêcher un blocage de la croissance. Dans une autre perspective, le modèle construit par David Ricardo (1815) dans les « Principes de l'Économie Politique » prédit sur la longue période l'atteinte d'un état stationnaire en raison de la fertilité décroissante des terres mises en culture. Celle-ci engendre un accroissement de la rente qui induit une baisse du taux de profit. Or, le profit est tout à la fois source et mobile de l'accumulation. Le néoclassique Stanley Jevons (« Sur la Question du charbon », 1865) met quant à lui en avant le caractère épuisable des ressources en charbon qui, associé à une population en croissance, va empêcher le processus de croissance de se poursuivre. Cependant, de même que les physiocrates faisaient de la nature la source même de la création de richesses, les économistes classiques puis néoclassiques vont l'exclure de l'analyse ; ils ne s'attachent qu'aux biens reproductibles et à ce titre, les ressources libres et disponibles gratuitement ne font pas l'objet de leurs recherches.

Dans la seconde moitié du XX^e siècle, l'essor rapide des pays occidentaux engendre une réflexion sur la capacité de l'ensemble des pays du monde à atteindre le niveau de vie des pays industrialisés, et débouche sur la formation d'une économie du développement. Le concept de développement, distinct de celui de croissance, se dessine et l'on doit sa célèbre définition à F. Perroux en 1961 (dans son livre « L'Économie du XX^e siècle ») ; alors que la croissance désigne l'augmentation soutenue, pendant une ou plusieurs périodes longues d'un indicateur de dimension, le développement est la combinaison des changements mentaux et sociaux aptes à faire croître, cumulativement et

durablement, son produit réel global. L'objectif des programmes d'aide au développement vise alors le rattrapage des pays du « Sud », avec la mise en place d'infrastructures à même de développer le capital technique, la productivité et le revenu distribué. Il s'agit de poser les bases d'une croissance économique soutenue. Le développement est conçu comme un processus linéaire qu'il s'agit de parcourir pour atteindre le niveau de richesses des pays occidentaux. Telle est la conception qui se dégage de l'analyse de W. W Rostow, indépendamment de toute considération sur les questions environnementales. Le développement serait caractérisé par la succession de 4 étapes (la société traditionnelle, le décollage, la maturité et la consommation de masse) plus ou moins longues selon les politiques publiques mises en œuvre.

Dans les années 1960, la pollution est conçue comme la contrepartie acceptable du développement économique. Les réglementations environnementales sont totalement absentes, en conséquence de quoi les entreprises n'internalisent pas les externalités liées cette pollution. Une externalité est une conséquence de l'activité économique qui n'est pas prise en compte dans le calcul des agents. Il peut s'agir par exemple d'une nuisance qui ne fait pas l'objet d'une compensation monétaire.

Le premier coup d'arrêt à cette apologie de la croissance est donné par le rapport Meadows en 1972. Une équipe de chercheurs du MIT modélise les relations entre la population mondiale, la production agroalimentaire, la production industrielle, le niveau de pollution et l'utilisation des ressources non renouvelables. Ils mettent en évidence un lien de causalité robuste entre la croissance, les émissions polluantes et l'épuisement des ressources naturelles, si bien que le Club de Rome, groupe de réflexion réunissant scientifiques, industriels, économistes et fonctionnaires internationaux, préconise une croissance zéro dans leur ouvrage « Les limites de la croissance ». À la même époque, l'économiste Nicolas Georgescu Roegen soutient le point de vue selon lequel le principe de la thermodynamique s'applique à l'économie. Ce principe établit que dans un système isolé qui ne reçoit pas d'énergie ou de matière en provenance de l'extérieur, l'énergie se dégrade en chaleur de façon irrécupérable. Les ressources naturelles s'épuisent inévitablement, la croissance matérielle illimitée est impossible. La seule voie possible pour l'économie est donc la décroissance. En tout état de cause, le débat sur les liens entre croissance, développement et environnement est alors ouvert.

Ainsi, une première conférence des Nations unies sur l'environnement humain se tient à Stockholm en 1972. Les participants signent une déclaration faisant état d'« *une conception commune et des principes communs* » qui

doivent inspirer et guider les efforts des peuples du monde en vue de préserver et d'améliorer l'environnement.

C'est à l'issue de ce premier Sommet de la Terre qu'Ignacy Sachs élabore le concept d'écodéveloppement. D'après lui, il est nécessaire d'harmoniser les activités humaines et les cycles écologiques. L'écodéveloppement promeut une croissance économique qui est à la fois socialement inclusive et respectueuse de l'environnement. Ce sont les cycles écologiques qui doivent déterminer le rythme de croissance, quitte à ce que cette dernière soit ralentie ou annulée. L'écodéveloppement implique une planification qui détermine la part de la consommation individuelle et celle de la consommation collective, la part de la consommation matérielle et celle de la consommation immatérielle, et enfin qui détermine la frontière entre le confort considéré comme nécessaire et le suréquipement jugé inutile et superflu. Cette planification ne doit pas être tout entière aux mains de l'Etat, mais doit être le fruit d'un processus démocratique dans lequel chacun pourra défendre ses intérêts et dépasser son conflit avec autrui.

Dans un contexte de fortes tensions sur le prix des matières premières et de catastrophes écologiques marquant les esprits (Tchernobyl en 1986), les Nations unies créent la Commission mondiale pour l'environnement et le développement (CMED) chargée d'étudier les relations entre développement économique et environnement. La commission publie en 1987 le rapport intitulé « Notre avenir à tous », encore appelé « rapport Brundtland ». Ce dernier souligne que l'utilisation intensive des ressources naturelles et le développement des émissions polluantes mettent en péril le mode de développement même des pays occidentaux. Le développement doit être durable, c'est-à-dire permettre la satisfaction des besoins des générations présentes sans compromettre la capacité des générations futures à répondre aux leurs. Le développement est conçu comme l'articulation de préoccupations sociales, à travers la satisfaction des besoins présents, mais aussi de préoccupations environnementales, à travers la préservation du bien-être des générations futures. Il concilie ainsi une exigence de croissance et de développement (notamment pour les pays du Sud) et une exigence de préservation de l'impact environnemental des activités économiques (notamment pour les pays du Nord). Ce concept de développement durable connu beaucoup plus succès que celui d'écodéveloppement dans la mesure où il ne franchit pas la « ligne rouge » des économies capitalistes qui est de sacrifier l'objectif de croissance. Par ailleurs, l'écodéveloppement impliquait de manière assez radicale un réexamen de la répartition des pouvoirs et des rôles au sein de

la société civile, du pouvoir respectif des entreprises, de l'Etat et des échelons intermédiaires (régional, national, transnational). Le rapport, bien que très novateur, n'est pas aussi radical que les préconisations du Club de Rome et que celles de Sachs puisque la croissance est vue comme un instrument permettant de mettre en œuvre un tel développement « durable ». L'hypothèse implicite du rapport Brundtland est qu'il sera toujours possible de substituer aux ressources épuisables des ressources produites industriellement grâce au progrès technique.

En 2000, le chimiste Paul Crutzen et le biologiste Eugene Stoermer ont désigné par le terme d'anthropocène l'entrée de la planète Terre dans une nouvelle ère géologique après celle de l'holocène qui a couvert les 10 000 dernières années. L'anthropocène représente l'avènement des hommes comme source principale de changements (sur la biodiversité et le climat notamment) qui surpasse les forces géophysiques. Certains analystes ont souligné que cette notion est critiquable dans la mesure où à l'échelle planétaire, les hommes ont participé de manière très inégale au changement climatique. Par ailleurs, des économistes (comme Michel Aglietta et Etienne Espagne) lui préfèrent le terme de capitalocène, pour cibler la cause profonde des modifications et des déséquilibres écologiques, à savoir le mode de production capitaliste. En effet, l'unique boussole de ce système est la recherche de profit maximum au mépris du respect de l'environnement : Aglietta affirme ainsi que « l'expansion du capitalisme est fondée sur l'exploitation de la nature comme un don gratuit »¹. L'économiste distingue dans son ouvrage quatre phases du capitalocène : la première s'étend de la fin du XV^e au XVIII^e siècles (enclosures, esclavage), la seconde serait l'ère du charbon (jusqu'à la Première Guerre Mondiale), la troisième l'ère fordiste et son mode d'accumulation intensive du capital, et enfin la quatrième serait celle du capitalisme financiarisé et de la crise écologique.

Sur le plan politique, le rapport Brundtland a été au centre des discussions de la conférence mondiale de Rio en 1992 ; tous les pays du monde présents à ce « Sommet de la Terre » reconnaissent le principe de développement durable en signant une déclaration commune, juridiquement non contraignante, sur les actions à mener pour améliorer la gestion de l'environnement et des ressources naturelles. Elle débouche également sur la mise en place de conventions sur la biodiversité, la lutte contre la désertification et le changement climatique. C'est en 1997 que sont réunis les pays du monde

¹ Michel Aglietta et Etienne Espagne (2024), « Pour une écologie politique : au-delà du capitalocène », Edition Odile Jacob, Paris.

pour appliquer la convention sur le changement climatique établie cinq ans plus tôt. 38 pays signent le protocole poursuivant un objectif de réduction des émissions de CO₂ par l'application de trois mécanismes : un marché de permis d'émissions grâce auxquels les différents acteurs peuvent échanger librement leurs droits à polluer ; un mécanisme de « mise en œuvre conjointe » par lequel sont financés des projets de réduction d'émission au sein des pays industrialisés ; pour finir, un « mécanisme de développement propre » permettant aux pays du Nord de financer des projets de réduction des pollutions dans les pays du Sud. Cependant, la mise en œuvre concrète de ces engagements a tardé puisqu'il a fallu attendre, pour ce qui concerne l'Europe, l'année 2005. Entre-temps, le sommet de Johannesburg s'est tenu en 2002 mais n'a pas permis la signature d'un plan d'action mondial. Les dossiers des droits de l'homme dans les pays du Sud, de la réduction de la pauvreté ou bien encore le protocole de biosécurité ont empêché les différents participants de trouver un terrain d'entente. En 2012, Les Nations unies ont fixé deux objectifs principaux à la conférence nommée « Rio+20 » :

- Assurer le renouvellement des engagements politiques concernant le développement durable,
- Évaluer les progrès vers les objectifs fixés à l'échelle mondiale sur le développement durable et poser la question des défis émergents à relever.

La conférence s'est focalisée entre autres thèmes sur l'économie verte dans un monde où la pauvreté doit être vaincue. Réuni à Genève en 2010, un groupe d'experts sur le commerce et le développement durable avait souligné que le défi d'une économie verte est d'augmenter le niveau de vie des pays en voie de développement sans pour autant augmenter leur empreinte carbone, et de maintenir constant le niveau de vie des pays développés tout en assurant une diminution de leur empreinte carbone. Les réunions visant à préparer le Sommet de la Terre « Rio+20 » ne sont pas parvenues à un consensus sur la définition de l'économie verte et du niveau de vie. Bien souvent, les pays du Sud considèrent en effet qu'elle est une notion permettant aux pays du Nord d'imposer des normes environnementales et d'en tirer profit avec le commerce international. Rio+20 n'a pas abouti à des engagements contraignants mais à une déclaration commune formulée à partir d'un texte qui a été longuement négocié : « Le futur que nous voulons ». Cette « feuille de route » constitue la base des négociations qui auront lieu dans les prochaines années. Mais le texte initial, déjà très consensuel, a été largement amputé par le gouvernement

brésilien en dernière ligne droite, pour imposer un consensus avant l'arrivée des chefs d'État sur le lieu de la conférence.

En 2015 est organisée une conférence internationale sur le climat, la « conférence des parties » ou « COP » qui rassemble les 195 pays et l'Union européenne engagés depuis 1992 par la convention cadre des Nations unies sur les changements climatiques (CCNUCC). Cette COP a pour but de faire le point sur les engagements pris et l'application de la Convention-cadre des Nations Unies sur le changement climatique de 1992, mais aussi de prendre de nouvelles décisions en faveur du climat. Un nouvel accord devait être signé et, cette fois, il devait être universel (applicable à tous les pays), juridiquement contraignant à partir de 2020, différencié selon le niveau de développement des pays, et ambitieux.

L'Accord signé à Paris, et qui est entré en vigueur en 2016, contient en particulier des engagements de chaque pays à réduire leurs émissions de gaz à effet de serre (l'objectif étant de contenir l'élévation de température *sous* les 2° C par rapport à l'ère préindustrielle), des règles pour contrôler les efforts de chacun, et des solutions de financement pour l'adaptation au changement climatique des pays en voie de développement.

Bien que cette COP constitue à bien des égards une avancée fondamentale dans la lutte contre le changement climatique, elle a fait l'objet de nombreuses critiques. Ainsi, l'objectif de limiter le réchauffement climatique sous la barre des 2° C semble difficile à atteindre dans la mesure où celui-ci n'est pas véritablement contraignant. Vérifier que les États ont bien mis en œuvre les mesures nécessaires au respect de leurs engagements n'est pas encore du ressort de la communauté internationale. Ce sont les lois et les décrets que les États décideront eux-mêmes de s'imposer (y compris collectivement, dans le cas de l'Union européenne) qui constitueront cette contrainte. Pour certains, il est nécessaire d'instaurer une Cour de justice climatique internationale qui permettrait de contraindre un État sous peine de sanctions financières.

Le Pacte Vert est un ensemble de mesures hétérogènes qui ont pour objectif d'honorer les engagements pris par l'Union Européenne sur la scène internationale, notamment lors des différentes COP. Ce Pacte vise à favoriser la biodiversité, l'agriculture durable, mais aussi et surtout à atteindre la neutralité carbone d'ici l'année 2050. La neutralité carbone signifie que l'ensemble des émissions de gaz à effet de serre émises par les pays de l'UE doivent être totalement absorbées par ce que l'on appelle les « puits de carbone » (forêts, océans, sols...). Une telle neutralité passe par un objectif intermédiaire de

réduction de plus de 50 % des gaz à effet de serre d'ici 2030 par rapport aux niveaux de 1990. Pour aller en ce sens sont prévues des actions sur le développement des énergies renouvelables et de l'économie circulaire, sur l'efficacité énergétique de la production de biens et services, mais aussi sur la mise en place d'une taxe carbone aux frontières de l'Union Européenne. Le Pacte Vert s'inscrit dans le budget européen habituel et mobilise également des ressources issues du plan de relance post-COVID appelé « NextGenerationEU ».

Ce bref rappel historique, aussi bien au niveau des idées que des faits, nous montre que les questions environnementales ont pris une importance grandissante dans l'analyse économique et dans l'élaboration des politiques publiques.

Sur le plan de l'analyse, on distingue deux grands courants d'opinions.

Les économistes « standard » considèrent que les problèmes environnementaux sont solubles dans le fonctionnement du marché. Certes, celui-ci peut connaître des défaillances, liées à un défaut d'attribution des droits de propriété et à l'absence de valorisation économique. Ces défaillances engendrent une allocation (une répartition) des ressources qui n'est pas optimale. Il est cependant possible de procéder à des corrections, en attribuant notamment une valeur monétaire au « capital naturel », pour que les agents économiques puissent intégrer dans leurs calculs l'impact de leurs décisions sur l'environnement. Ainsi l'allocation des ressources redeviendra-t-elle optimale. Il n'y a pas à craindre à proprement parler de raréfaction des ressources naturelles car la rareté n'est que relative : il faut toujours l'apprécier par rapport à la disponibilité des autres ressources. Une ressource naturelle peut donc être substituée à une autre à compter du moment où il existe un système de prix adéquat permettant aux acteurs de prendre leurs décisions. Il n'existe donc pas de véritable spécificité de l'économie de l'environnement dans le champ de la pensée néoclassique qui ne fait qu'étendre et adapter ses outils et ses concepts aux questions environnementales.

Le second courant s'oppose au premier en considérant que l'économie n'est pas un système ou un ensemble autonome, dans lequel il existe un cycle infini de flux monétaires réglé par un système de prix. L'économie est au contraire encadrée dans un système qui l'englobe, la biosphère. Il est nécessaire de prendre en compte les flux de matière qui traversent le système économique : pour produire, ce dernier d'une part puise dans la nature des ressources, et d'autre part rejette des déchets dans la biosphère. Cet usage et cette transformation des ressources et des énergies puisées dans la nature en

réduisent la quantité disponible, ce qui met en évidence le caractère fini de l'environnement. L'étude de ces échanges entre la biosphère et l'économie constitue le programme de recherche de ce second courant de pensée que l'on appelle l'économie écologique. Cette dernière soutient l'idée d'une nécessaire soutenabilité forte que l'on étudiera dans le premier chapitre. Ce courant de pensée, très hétérogène et pluridisciplinaire, englobe les travaux des économistes (post) keynésiens.

Cette problématique d'intégration des questions environnementales dans l'analyse économique va être déclinée dans cet ouvrage à travers quatre chapitres.

Le premier chapitre s'attachera à traiter de la question de la soutenabilité de la croissance économique et des différentes conceptions et définitions de cette soutenabilité.

Comment lutter contre la pollution et les différentes nuisances qu'occasionne l'activité économique ? C'est la question qui sera abordée dans le second chapitre, en prenant le soin de distinguer les tenants des politiques publiques s'appuyant sur le fonctionnement du marché, et ceux qui défendent l'idée d'une nécessaire intervention publique.

Comment attribuer une valeur monétaire au capital naturel, de sorte que les agents puissent intégrer dans leurs calculs la dimension environnementale de leurs décisions ? C'est le sujet du troisième chapitre, qui montrera l'intérêt et les limites d'une telle approche.

Enfin, dans un quatrième chapitre, on s'intéressera dans une perspective plus macroéconomique aux conséquences du réchauffement climatique sur le fonctionnement du système économique, mais aussi à la prise en compte de la question environnementale dans la conduite des politiques économiques de régulation conjoncturelle. Nous verrons que sur un tel sujet, une fois de plus, s'opposent les tenants de l'approche standard, relativement optimistes, et ceux de l'économie écologique.

Chapitre 1 -

Les limites environnementales de la croissance

Introduction

Dans le champ théorique, la résurgence du problème d'exploitation de ressources naturelles non renouvelables date des années 1930 avec les travaux de Harold Hotelling. Il entraîne dans son sillage toute une discussion sur les moyens d'obtenir un « invariant » sur la longue période, en référence à l'idée de soutenabilité ou de durabilité. Se constitue ainsi progressivement l'école néoclassique dite de la durabilité faible. Elle montre notamment que la croissance peut parfaitement être durable à compter du moment où les différents types de capitaux sont substituables ; une telle substituabilité, on le devine, pourrait être obtenue grâce au progrès technique. À cette approche s'oppose celle de la durabilité forte, qui affirme la nécessité de définir et de préserver un certain niveau de stock de ressources disponibles. Encore plus radical, le courant de la décroissance nie toute possibilité de développement durable et considère que seule la décroissance peut assurer la préservation des ressources naturelles et de l'environnement.

Objectifs

Distinguer les différents courants de pensée sur la thématique du développement durable.

Présenter les limites de chacun de ces courants.

Caractériser les différents modèles de croissance néoclassique.

Concepts clés :

Durabilité faible et forte

Croissance soutenable

Décroissance

Développement durable

Postcroissance

Règle de Hotelling

Règle de Harwick

1 Le courant de durabilité faible

Après avoir présenté le travail précurseur d'Hotelling (1931), nous développerons les enseignements du modèle de Hartwick (1977) puis l'hypothèse originale de Chichilnisky (1996). On présentera enfin l'analyse de Rotillon et Martinet (2009) sur les limites de cette approche². Ce courant de la durabilité faible se saisit du concept de développement durable, qui, déjà loin d'être « radical », est dénaturé : il le définit comme le maintien dans le temps d'un stock de ressources naturelles supérieur à zéro.

1.1 La règle de Hotelling

L'économiste Harold Hotelling³, dans son article « The Economics of Exhaustible Resources » publié en 1931, décline son raisonnement dans plusieurs types de structures concurrentielles ; on commencera par étudier le cas de la concurrence pure et parfaite, dans laquelle les agents économiques sont par hypothèse preneurs de prix, parfaitement mobiles, et font face à une information transparente et des produits homogènes. Son approche part du principe qu'il existe au sein de l'économie une ressource naturelle épuisable au terme d'un certain nombre de périodes d'exploitation. Un double arbitrage est alors réalisé par l'agent exploitant :

- Extraire ou laisser en terre (arbitrage statique) ;
- Agir aujourd'hui ou demain (arbitrage intertemporel).

L'exploitant qui cherche à maximiser son profit compare (i) la valeur d'extraction et la valeur en terre, (ii) le rendement de la ressource avec les autres actifs présents dans l'économie.

Deux règles peuvent alors être établies.

D'une part, l'exploitant a intérêt à extraire la ressource épuisable jusqu'à ce que la valeur d'extraction ($P - c$) égale sa valeur en terre (T), soit : $(P - c) = T$. Le prix de la ressource net du coût d'extraction doit être égal au coût d'opportunité de l'épuisement représenté par T . On en déduit que le prix de

² Pour une présentation plus approfondie, voir l'article de Gilles Rotillon de 2011 intitulé « Du bon usage des modèles théoriques en économie » (Revue Economique, 2015).

³ Hotelling H, (1931), *The Economics of Exhaustible Resources*, Journal of Political Economy, vol. 39 (1931), p. 137-175.

marché d'une ressource épuisable est supérieur à son coût d'extraction : $P = c + T$. En effet, extraire la ressource conduit à diminuer le stock disponible, ce qui entraîne une diminution des profits futurs potentiels. C'est pourquoi il existe une rente T payée par le consommateur qui s'accroît au fur et à mesure que la rareté augmente.

D'autre part, l'exploitant arbitre entre extraire et vendre aujourd'hui ($P - c = T$), et extraire et vendre demain ($P(t+1) - c(t+1) = T(t+1)$). L'équilibre de l'exploitant est atteint lorsque le bénéfice marginal actualisé de la ressource est égal à toutes les périodes, soit : $T = T(t+1)/(1+r)$, soit : $r = T(t+1) - T/T$

À l'équilibre, le taux de croissance du bénéfice marginal doit être égal au taux d'intérêt. La ressource naturelle est considérée comme un capital parmi d'autre ; son taux de rendement doit être identique à celui des autres capitaux.

La gestion de la ressource est optimale lorsque les deux alternatives rapportent à l'exploitant la même chose, donc lorsque le taux de croissance du prix de la ressource en terre est égal au taux d'intérêt. En effet, si $p(t+1) - p(t) = 1+r(t)$, alors $r(t) = (p(t+1) - p(t)) / p(t)$.

Cette situation est un équilibre. En cas d'augmentation du taux d'intérêt, l'exploitant privilégie la revente immédiate, ce qui fait diminuer $p(t)$ et redresse le taux de croissance du prix de la ressource. Au contraire, si le taux d'intérêt diminue, l'exploitant arbitre en faveur de la revente future, ce qui fait diminuer le taux de croissance de la ressource. Dans tous les cas, l'extraction continue de la ressource aboutit, en tendance, à son épuisement. Le développement n'est donc pas durable si les agents économiques n'intègrent pas dans leurs préférences la conservation de la ressource épuisable en tant que telle.

Si on suppose que le coût d'extraction est nul, alors on peut dire que le prix de marché de la ressource est égal au coût d'opportunité de l'épuisement et qu'il augmente à un rythme fixé par le taux d'intérêt.

Lorsque la firme détient un monopole sur le marché, l'arbitrage est du même type, mais alors que l'entreprise fixe à la fois le taux d'extraction et le prix de marché de la ressource, elle dépend des quantités qui seront demandées. La recette marginale tirée de la vente de la ressource n'est plus égale au prix mais dépend également de l'élasticité de la demande par rapport au prix.

Si l'élasticité de la demande par rapport au prix est décroissante, le monopole choisira d'extraire plus lentement la ressource de sorte que son prix augmente moins vite, pour éviter une diminution trop importante de la

demande. Ainsi, la situation de monopole est préférable à la concurrence parfaite du point de vue du rythme d'extraction de la ressource.

Revenons au cadre de concurrence parfaite. Le modèle d'Hotelling peut être reformulé, du point de vue du consommateur, de la façon suivante⁴ :

$$\text{Max} \int_0^{\infty} u(c(t))e^{-\delta t} dt$$

$$\dot{S} = -c(t)$$

$$c(t) \geq 0$$

$$S(0) = S_0$$

Un planificateur bienveillant maximise la somme actualisée $\int$ des utilités présentes et futures $u(.)$ tirées de la consommation de la ressource épuisable $c(t)$ à chaque période notée t . Le facteur d'actualisation est noté δ . Le stock de la ressource est noté S ; c 'est une quantité positive en t_0 . Les hypothèses faites sur la fonction d'utilité sont les suivantes : la fonction est croissante, concave, et vérifie les conditions d'Inada (définies par : $u'(0)=+\infty$ et $u'(\infty)=0$).

Cela signifie en clair que l'utilité des agents économiques augmente avec la consommation, que l'accroissement d'utilité décroît avec l'augmentation de la consommation (utilité marginale décroissante), et que le consommateur accorde une importance illimitée à la consommation de la ressource (le supplément d'utilité procuré par la première dose de bien au voisinage de zéro est infini). La solution optimale est telle que l'utilité marginale de la ressource est constante en valeur actuelle. Si l'on considère deux périodes, on a :

$$u'(c(t_1)) = u'(c(t_2)) / (1+\delta)$$

Si le premier terme $u'(c(t_1))$ est supérieur au second $(u'(c(t_2)) / (1+\delta))$, cela signifie que le consommateur a intérêt à augmenter sa consommation en première période pour augmenter son utilité. L'utilité maximale est atteinte à l'équilibre des deux termes. On peut reformuler l'expression de la manière suivante :

$$(u'(c(t_2)) - u'(c(t_1))) / u'(c(t_1)) = \delta$$

⁴ Pour une présentation plus approfondie, voir l'article de Gilles Rotillon de 2011 intitulé « Du bon usage des modèles théoriques en économie » (Revue Economique, 2015).

On retrouve l'expression d'Hotelling : le taux de croissance du prix implicite de la ressource doit être égal au taux de préférence pour le présent, pouvant être représenté par le taux d'intérêt.

Ici, l'existence de la ressource en tant que telle n'a aucune importance pour le consommateur ; seul l'usage qu'il en tire procure une utilité. Ce modèle semble ainsi être représentatif du mode de croissance des années 1950-1970. Mais le modèle indique que cela n'est pas tenable à long terme, puisque la ressource finit par s'épuiser.

Pour penser le développement durable, il semble qu'il faille introduire dans la fonction d'utilité le stock de ressource en tant que tel. C'est ce qu'a modélisé Jeffrey Krautkraemer (1985).

1.2 Le modèle de Krautkraemer (1985) ⁵

Il s'agit ici d'intégrer le stock de ressources naturelles dans la fonction d'utilité. Cela signifie que l'existence de ce stock procure à l'agent une utilité, même en n'étant pas utilisé ou exploité.

$$\text{Max} \int_0^{\infty} u(c(t), S(t)) e^{-\delta t} dt$$

$$\dot{S} = -c(t)$$

$$c(t) \geq 0$$

$$S(t) \geq 0$$

$$S(0) = S_0$$

Si la condition d'Inada est respectée, le résultat n'est pas différent du modèle précédent. Autrement dit, si le consommateur accorde une importance de premier ordre à la consommation de la ressource, cette dernière finit par s'épuiser. Dans le modèle, le développement durable, conçu comme la conservation d'une ressource naturelle sur la longue période, n'est concevable que si on modifie les hypothèses sur les préférences du consommateur. Il faut en particulier que $u'(0) < +\infty$.

Si donc le consommateur n'est plus « obsédé » par la consommation et que la fonction d'utilité est séparable ($U = u(c(t)) + u(S(t))$), alors on aboutit à une condition d'optimalité selon laquelle la perte d'utilité liée au renoncement à la consommation est compensée par le gain lié à la conservation du stock de

⁵ Krautkraemer J. (1985), « Optimal growth, resource amenities and the préservation of Natural environments », *Review of Economic Studies*, 52 p.153-170.

ressources. À l'état stationnaire, la consommation de la ressource doit être nulle. Le résultat selon lequel l'utilité sociale des consommateurs n'émane que de la contemplation de la nature peut sembler surprenant. Mais, comme le précise avec justesse Rotillon (2015), *« de même que le concept de chien n'aboie pas, comme nous l'a appris Spinoza, le concept de consommation ne nourrit pas. Ce que nous dit très concrètement ce modèle, c'est que ce que nous appelions « consommation » dans le modèle précédent n'est plus essentiel pour procurer de l'utilité sociale. Dit autrement, un développement durable basé sur des ressources épuisables n'est possible que si notre mode de consommation change. On retrouve ici précisément un des thèmes de société qui est au cœur des interrogations sur la possibilité d'un développement durable, et dont tout le monde sait plus ou moins confusément qu'il n'est pas possible en espérant généraliser à la planète le mode de vie des Américains »*.

En somme :

- Il est possible de conserver sur le long terme un stock de ressources naturelles à partir du moment où les préférences sociales sur la consommation sont doublement modifiées : il faut retirer de l'existence de la ressource une certaine utilité ; l'utilité marginale procurée par une unité de bien doit être finie ; autrement dit, le consommateur ne doit être pas « addict » à la consommation ;
- Il est impossible de maintenir constant dans le temps le niveau de consommation des individus à compter du moment où les consommateurs ont une préférence pour le présent ; le critère utilitariste actualisé conduit à privilégier la consommation des générations présentes, au détriment de celles des générations futures (Heal, 1974).

Cette dernière conclusion est modifiable si la ressource épuisable en question constitue un facteur de production, sous réserve d'hypothèses particulières sur la fonction de production. C'est la règle de Harwick.

1.3 La règle de Hartwick (1977)⁶ et la courbe environnementale de Kuznets

Cette règle stipule que la consommation peut être constante dans le temps, tout au long d'une trajectoire d'équilibre, si et seulement si la valeur de l'investissement net à chaque période est nulle. La condition d'obtention d'un tel résultat est l'hypothèse de substituabilité des capitaux. Supposons l'existence d'un capital technique reproductible et d'un capital naturel. L'exploitation du capital naturel à des fins productives contribue à l'épuisement de la ressource et pousse son prix à la hausse. La diminution du capital naturel doit être compensée par l'augmentation des quantités de capital technique disponibles. Le capital technique doit augmenter du même montant que la rente tirée de l'exploitation de la ressource épuisable.

D'après ce modèle, le développement durable est possible si les différents types de capitaux sont substituables et que les investissements adéquats sont mis en place. Par ailleurs, le progrès technique est absent du modèle. Or, celui-ci permet d'augmenter la productivité des facteurs de production et laisse donc entrevoir la possibilité d'une augmentation dans le temps de la consommation. Reste à déterminer la nature et le timing des investissements à réaliser pour qu'une telle durabilité du développement soit garantie.

Cet optimisme en matière de développement durable est partagé par Grossman et Krueger (1993). Ces économistes montrent que la pollution par le dioxyde de soufre augmente avec la croissance du PIB par tête jusqu'à un certain point, pour diminuer ensuite. La courbe de pollution prend la forme d'un U inversé, si bien que le département « Environnement » de la Banque mondiale a rebaptisé ce résultat « courbe environnementale de Kuznets ».

Il est possible de mettre en exergue trois facteurs permettant la réduction à long terme de la pollution :

- Au fur et à mesure que le PIB par habitant augmente, l'économie peut consacrer des ressources toujours plus importantes à la Recherche Développement ; le progrès technique, portant à la fois sur les processus de dépollution et l'amélioration de l'efficacité énergétique

⁶ Hartwick J. (1977), « Intergenerational Equity and the Investing of Rents from Exhaustible Resources », *American Economic Review*, 67(5), p.972-974.

des activités économiques, permet de diminuer l'impact environnemental de la croissance.

- Par ailleurs, la croissance économique s'accompagne de mutations sectorielles ; le secteur de l'industrie (le plus polluant) décline au détriment du secteur des services dont l'impact environnemental est moindre (ne sont pas prises en compte, dans cet argument, les pollutions générées par exemple par internet et les serveurs)
- Enfin, l'environnement peut être considéré comme un bien supérieur dont la demande augmente plus vite que le revenu. Au-delà d'un certain niveau de richesses, les besoins de base des consommateurs sont satisfaits et les exigences des individus en matière de préservation de l'environnement augmentent. Ces derniers se tournent alors vers la consommation de produits à faible impact environnemental et font pression sur les firmes et les gouvernements pour mettre en place une gestion des activités économiques assurant un développement durable.

1.4 Le modèle de G. Chichilnisky (1996)⁷

Tous les modèles dits de durabilité faible utilisent un critère utilitariste actualisé qui pose le problème de l'équité intergénérationnelle. En fait, le taux d'actualisation ou taux de préférence pour le présent conduit à valoriser la consommation présente au détriment de la consommation future. Renoncer à un euro de consommation avec un taux de préférence pour le présent de 5 % conduit n'est justifié que si cela permet de consommer 17 000 euros dans 200 ans (Guesnerie, 2004). Autrement dit, le taux d'actualisation, qui permet de comparer des grandeurs prises à des moments différents du temps, conduit à écraser considérablement la consommation des générations futures. Dans tous ces modèles, les générations futures sont lésées, ce qui rend le critère peu satisfaisant.

De la même manière, l'utilisation d'un critère valorisant la consommation future (maximisation de la limite à l'infini de l'utilité) conduit symétriquement à une dictature du futur et conduit à ce qui est appelé la « règle d'or verte ». Elle préconise le maintien du stock de ressources pendant la

⁷ Chichilnisky G. [1996], « An axiomatic approach to sustainable development », *Social Choice and Welfare*, 13 (2), p. 219-248.

période de vie de la génération présente, pour permettre la consommation de la génération future. Cette fois-ci, ce sont les individus de la génération présente qui sont ignorés.

Le critère « maxmin » quant à lui n'est guère plus satisfaisant. Tiré de la définition de l'équité de J. Rawls : les inégalités ne sont justifiées que lorsqu'elles permettent d'améliorer le sort des plus défavorisés, ce critère consiste à maximiser l'utilité de la génération la moins favorisée. Mais il aboutit à une croissance nulle. Imaginons par exemple que la génération présente soit défavorisée. Il sera toujours possible d'augmenter l'utilité de cette génération en diminuant son taux d'épargne. La maximisation de l'utilité implique de diminuer l'épargne des ménages jusqu'au point où il n'est plus possible de le faire, c'est-à-dire jusqu'au point où la croissance économique est nulle.

C'est en partant de ce constat que G. Chichilinsky propose un modèle alternatif dans lequel le critère à maximiser ne constitue ni une dictature du présent, ni une dictature du futur, mais une moyenne pondérée des deux.

La maximisation d'un tel programme a pour résultat la conservation d'un stock de ressources supérieur à celui obtenu avec le critère utilitariste actualisé, et inférieur à celui obtenu avec le critère de la croissance verte privilégiant les générations futures. La consommation décroît puis devient nulle une fois ce stock épuisé.

Le problème posé par ce modèle est celui de la détermination de la pondération exacte des deux critères : quel poids accorder à la dictature du présent et à la dictature du futur ? Il existe pour cette approche autant de solutions que de pondérations possibles.

1.5 Le modèle de G. Rotillon et Martinet (2009)⁸

L'approche traditionnelle de la durabilité faible part d'hypothèses contraignantes sur la fonction de production, la fonction d'utilité et la forme du progrès technique. Étant donné ce cadre, les économistes se posent la question de savoir s'il est possible d'obtenir un invariant dans le temps malgré la contrainte d'épuisement de la ressource.

Gilles Rotillon et Vincent Martinet ont alors eu l'idée de renverser la problématique et de se demander quelles sont les formes devant être prises par

⁸ Martinet Vincent, Rotillon Gilles, (2009), « Invariance in Economics Dynamics and the Sustainable Development Issue » pp.99-120, *Economics Dynamics : Theory, Games and Empirical Studies*, sous la direction de Chester W. Hurlington, Nowa Publishers.

les fonctions de production et d'utilité pour l'obtention d'un invariant. Cependant, les résultats obtenus sont décevants (le développement durable, dans ce cadre, n'est obtenu qu'au prix d'hypothèses fort contraignantes), et les auteurs en déduisent que le cadre conceptuel offert par la théorie néoclassique n'est pas satisfaisant lorsque l'économiste se fixe l'objectif de définir un concept utile de développement durable.

1.6 Les modèles de croissance néo-classiques sont-ils trop optimistes ?

Comme nous venons de le voir, la contrainte environnementale prend la forme dans les modèles de croissance d'une équation de stock qui s'épuise au fur et à mesure du temps à un rythme qui dépend des choix des agents économiques. Avant le développement de ces modèles, d'autres auteurs mettent en évidence qu'il existe d'autres contraintes physiques à la croissance économique. Il s'agit notamment de Robert Ayres et Allen Kneese (1969)⁹ et Nicholas Georgescu-Roegen¹⁰ (1971). Ce dernier soutient que les lois de conservation de la masse et de la thermodynamique orientent le processus de transformation de la matière et de l'énergie propres aux activités économiques. Ce sont ces lois qui sont précisément ignorées par les modèles néo-classiques, contrairement à certains modèles post-keynésiens (voir chapitre 4).

Lorsqu'on suit la perspective de Georgescu-Roegen, on ne peut que remarquer que les modèles néoclassiques de croissance sont excessivement optimistes sur les possibilités de substitution entre facteurs de production naturels et ceux créés par l'homme d'une part, et sur le rôle du progrès technique d'autre part.

D'après la loi de conservation de la masse, la matière ne peut être créée, elle est seulement transformée ; ainsi, pour produire un bien dont la masse est donnée, il faut utiliser une certaine quantité de facteurs dont la masse est au moins identique (une partie étant réduite à des déchets). Cela implique que la productivité des facteurs de production a une borne supérieure, hypothèse qui n'est pas retenue dans nombre de modèles néoclassiques utilisant une fonction

⁹ Ayres, R.U., Kneese, A.V. (1969), « Production, consumption, and externalities », *American Economic Review*, 59, 282-297.

¹⁰ Georgescu-Roegen, N. (1971), *The Entropy Law and the Economic Process*, Harvard University Press.

Cobb-Douglas (Fagnard, 2012)¹¹. Tirons-en une conclusion : si la masse disponible s'épuise avec le processus de croissance (une partie de la masse des inputs ou facteurs de production disponibles diminue en raison de la formation de déchets et d'émissions de gaz), cette croissance économique doit devenir de plus en plus immatérielle et produite elle-même avec des facteurs de production eux-mêmes de plus en plus immatériels. Dans le cadre de la loi de conservation de la masse, cette conclusion est valide même si une grande partie des biens produits et utilisés sont renouvelables et/ou recyclés. Fagnard (2012) ajoute ceci : « *On pourrait encore tenter d'argumenter que le scénario de croissance des modèles néoclassiques serait celui d'une « tertiarisation » toujours plus grande de l'économie mais ceci resterait encore une curiosité toute théorique. Tout d'abord, un certain nombre de services ont (et auront toujours) un contenu matériel non négligeable (soins médicaux...) de sorte que le nombre de services sans contenu matériel est finalement réduit. Mais plus encore, tous les services (même ceux sans contenu matériel direct) ne sont rendus possibles que par la mise en œuvre de facteurs de production qui doivent eux-mêmes être produits.* »

À cela s'ajoute une autre contrainte sur la croissance : le second principe (ou seconde loi) de la thermodynamique. Celle-ci indique qu'il faut une quantité minimale d'énergie pour transformer la matière dans le processus productif d'un bien matériel ou d'un service. Il y a donc un contenu énergétique minimal nécessaire à la production, donc des limites quant aux possibilités de substituer l'énergie par d'autres facteurs de production.

Le modèle de croissance endogène de Jean-François Fagnard et Marc Germain (2012)¹² intègre la limite liée au principe de conservation de la matière. Dans ce dernier, la production des biens est réalisée avec des ressources recyclables grâce à une technologie de conservation. La grande originalité de cette approche est de prendre en compte deux dimensions à travers les biens qui sont produits : une dimension matérielle, c'est-à-dire la quantité de matière requise dans le processus de fabrication, et une dimension qualitative, c'est-à-dire la capacité des biens à rendre service aux utilisateurs et combler leurs attentes. D'après les auteurs du modèle, « cet enrichissement de la description des biens est indispensable pour jeter des ponts entre la position des

¹¹ Fagnard Jean-François, Germain Marc, « Les limites environnementales à la croissance en macroéconomie », *Reflets et perspectives de la vie économique*, 2012/4 (Tome LI), p. 25-46.