

---

# **ÉCONOMIE DE L'ENVIRONNEMENT**

---



NICOLAS PILUSO

---

# ÉCONOMIE DE L'ENVIRONNEMENT

---

DUNOD

Graphisme de couverture : Pierre-André Gualino  
Illustration de couverture : © metamorworks/Fotolia.fr  
Mise en pages : Lumina Datamatics, Inc.

<p>Le pictogramme qui figure ci-contre mérite une explication. Son objet est d'alerter le lecteur sur la menace que représente pour l'avenir de l'écrit, particulièrement dans le domaine de l'édition technique et universitaire, le développement massif du photocopillage.</p> <p>Le Code de la propriété intellectuelle du 1<sup>er</sup> juillet 1992 interdit en effet expressément la photocopie à usage collectif sans autorisation des ayants droit. Or, cette pratique s'est généralisée dans les établissements</p>	 <p><b>DANGER</b> LE PHOTOCOPIAGE TUE LE LIVRE</p>	<p>d'enseignement supérieur, provoquant une baisse brutale des achats de livres et de revues, au point que la possibilité même pour les auteurs de créer des œuvres nouvelles et de les faire éditer correctement est aujourd'hui menacée.</p> <p>Nous rappelons donc que toute reproduction, partielle ou totale, de la présente publication est interdite sans autorisation de l'auteur, de son éditeur ou du Centre français d'exploitation du droit de copie (CFC, 20, rue des Grands-Augustins, 75006 Paris).</p>
--	---	--

© Dunod, 2021  
11, rue Paul Bert, 92240 Malakoff  
www.dunod.com  
ISBN 978-2-10-082074-0

Le Code de la propriété intellectuelle n'autorisant, aux termes de l'article L. 122-5, 2° et 3° a), d'une part, que les « copies ou reproductions strictement réservées à l'usage privé du copiste et non destinées à une utilisation collective » et, d'autre part, que les analyses et les courtes citations dans un but d'exemple et d'illustration, « toute représentation ou reproduction intégrale ou partielle faite sans le consentement de l'auteur ou de ses ayants droit ou ayants cause est illicite » (art. L. 122-4).

Cette représentation ou reproduction, par quelque procédé que ce soit, constituerait donc une contrefaçon sanctionnée par les articles L. 335-2 et suivants du Code de la propriété intellectuelle.

# Table des matières

<b>Introduction</b>	1
<b>Chapitre 1 Théories de la croissance et développement durable</b>	9
<b>1. Le courant de durabilité faible</b>	10
1.1 La règle de Hotelling	10
1.2 Le modèle de Krautkraemer (1985)	13
1.3 La règle de Hartwick (1977) et la courbe environnementale de Kuznets	15
1.4 Le modèle de Chichilinisky (1996)	17
1.5 Le modèle de Rotillon et Martinet (2009)	18
1.6 Les modèles de croissance néoclassiques sont-ils trop optimistes ?	18
<b>2. Le courant de la durabilité forte</b>	21
<b>3. Le courant de la décroissance</b>	23
3.1 L'opposition entre croissance et développement durable	24
3.2 Un rejet de la courbe environnementale de Kuznets	24
3.3 La décroissance est-elle souhaitable ?	25
<b>4. Capitalisme financier et développement durable</b>	27
4.1 Le principe de la recherche de création de valeur pour l'actionnaire	28
4.2 Valeur actionnariale et développement durable : quelle compatibilité ?	29

<b>Chapitre 2</b>	<b>Microéconomie de la politique environnementale</b>	43
1.	<b>Le débat marché vs intervention de l'État au sujet des externalités</b>	44
1.1	Pigou vs Coase	44
1.2	Le modèle de Maxwell, Lyon et Hackett (2000) : la coordination spontanée des agents réduit la pollution	50
1.3	Le modèle de Calveras, Ganuza et Llobet (2005) : l'activisme des consommateurs est-il suffisant pour réduire la pollution ?	53
2.	<b>Le débat marché vs intervention de l'État au sujet des biens collectifs</b>	56
2.1	Le modèle de Ghatak et Besley (2007) : la RSE plus efficace que l'intervention publique ?	57
2.2	Le modèle de Kotchen (2005) : la distinction entre qualité environnementale et optimum de Pareto	60
2.3	Le modèle de Bagnoli et Watts (2003) : l'intervention de l'État est indispensable	62
2.4	Le modèle de Hommel (2007) : l'apport de la théorie des marchés contestables pour la question environnementale	65
3.	<b>Permis à polluer vs taxes</b>	68
3.1	La mise en place d'un système de permis négociables	68
3.2	La réalité de l'efficacité des marchés de droits à polluer	74
4.	<b>Fiscalité verte, normes et subventions</b>	77
4.1	La comparaison des taxes et des normes réglementaires	77
4.2	Taxes vs subventions	79

4.3	Le débat politique autour de la fiscalité verte	79
5.	L'outil « responsabilité sociale des entreprises »	83
<b>Chapitre 3</b>	<b>L'évaluation des biens environnementaux</b>	91
1.	La mesure théorique du consentement à payer et à recevoir du consommateur	92
2.	Les méthodes de valorisation indirecte (marchés de substitution)	95
2.1	La méthode des coûts de déplacement	96
2.2	La méthode des dépenses de protection	97
2.3	La méthode des prix implicites	97
3	Une méthode d'évaluation directe : l'évaluation contingente	98
4.	Les indicateurs synthétiques de développement durable	102
4.1	Le PIB et les nouveaux indicateurs de richesses : intérêts et limites	103
4.2	Quelques nouveaux indicateurs monétaires	104
<b>Chapitre 4</b>	<b>Les effets de la contrainte environnementale sur la conjuncture : modèles macroéconomiques</b>	111
1.	Les différents modèles macroéconomiques environnementaux des économistes néoclassiques	112
1.1	Les modèles d'optimisation	112
1.2	Les modèles d'équilibre général	113

1.3 Les modèles de simulation	114
1.4 Les modèles de minimisation des coûts	114
1.5 Les modèles d'équilibre partiel	115
<b>2. Les modèles postkeynésiens</b>	<b>115</b>
2.1 Une critique des modèles néoclassiques	115
2.2 L'articulation du réchauffement climatique et de la conjoncture économique	118
2.3 Quel avenir pour la croissance ?	123
<b>3. Les modèles issus de la synthèse « néoclassico-keynésienne »</b>	<b>125</b>
3.1 Le modèle IS-LM-EE	126
3.2 Le modèle Offre-Demande Globales avec taxe carbone	131
3.3 Le modèle d'inspiration keynésienne de Nicolas Piluso et Edwin Le Heron (2017)	133
3.4 Un modèle de croissance à la Solow/Keynes : vers un triple dividende de la taxe carbone ?	142
<b>Conclusion</b>	<b>153</b>
<b>Glossaire</b>	<b>155</b>
<b>Bibliographie</b>	<b>159</b>
<b>Liste des figures</b>	<b>163</b>



# Introduction

Au XVIII<sup>e</sup> 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 *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 recherches.

Dans la seconde moitié du XX<sup>e</sup> 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<sup>e</sup> 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 quatre 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 régulations environnementales sont totalement absentes, en conséquence de quoi les entreprises n'internalisent pas les externalités<sup>1</sup> liées cette pollution.

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

---

1. 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.

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.

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. Pour la première fois, 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). Le rapport, bien que très novateur, n'est pas aussi radical que les préconisations du Club de Rome, 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.

Le rapport Brundtland sera 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 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 CO<sub>2</sub> 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 CCNUCC 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 adapter les pays en voie de développement au changement climatique.

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.

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 réglés 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 matières qui traversent le système économique : pour produire, ce dernier puise d'une part des ressources dans la nature, 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 réduit 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.





# Théories de la croissance et développement durable

## Introduction

Dans le champ théorique, la résurgence du problème de l'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  
Développement durable  
Règle de Hotelling  
Règle de Harwick

## 1 Le courant de durabilité faible

---

Après avoir présenté le travail précurseur de Hotelling (1931), nous développerons les enseignements du modèle de Hartwick (1977), puis l'hypothèse originale de Chichilnisky (1996). On présentera enfin l'analyse de G. Rotillon et Martinet (2009) sur les limites de cette approche.

### 1.1 La règle de Hotelling

L'économiste Harold Hotelling, 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 1) la valeur d'extraction et la valeur en terre, 2) 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 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,

$$\text{soit : } T = T(t+1)(1+r), \text{ soit : } r = T(t+1) - T/T.$$

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'autres ; 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,

$$\text{si } p(t+1) - p(t) = 1 + r(t), \text{ alors } r(t) = (p(t+1) - p(t))/p(t).$$

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 de Hotelling peut être reformulé, du point de vue du consommateur, de la façon suivante<sup>1</sup> :

$$\begin{aligned} &Max \int_0^{\infty} u(c(t))e^{-\delta t} dt \\ &S = -c(t) \\ &c(t) \geq 0 \\ &S(0) = S_0 \end{aligned}$$

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  $\delta$ . 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 :

$$u'(c(t1)) = u'(c(t2))/(1 + \delta)$$

Si le premier terme  $u'(c(t1))$  est supérieur au second ( $u'(c(t2))/(1 + \delta)$ ), cela signifie que le consommateur a intérêt à augmenter sa consommation en première période pour augmenter son utilité.

---

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

L'utilité maximale est atteinte à l'équilibre des deux termes. On peut reformuler l'expression de la manière suivante :

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

On retrouve l'expression de 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 ressources en tant que tel. C'est ce qu'a modélisé Jeffrey Krautkraemer (1985).

## 1.2 Le modèle de Krautkraemer (1985)

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.

$$\begin{aligned} \text{Max} \int_0^{\infty} u(c(t), S(t)) e^{-\delta t} dt \\ S &= -c(t) \\ c(t) &\geq 0 \\ S(t) &\geq 0 \\ S(0) &= S_0 \end{aligned}$$

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 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 G. 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 appelons "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 et 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 d'Hartwick.

### 1.3 La règle de Hartwick (1977) 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 G. Grossman et A. 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 ».

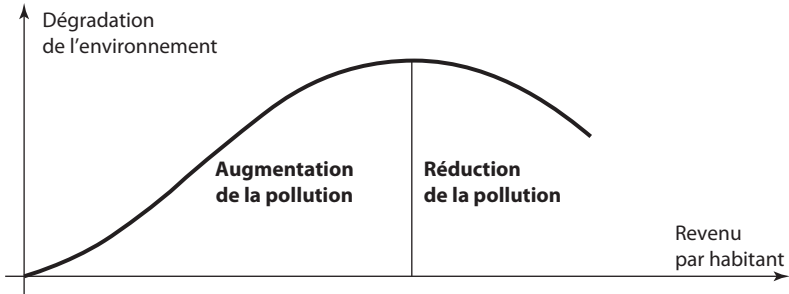


Figure 1.1 La courbe environnementale de Kuznets<sup>1</sup>

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 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. Source : Arnaud Parienty, <https://www.cairn.info/precis-d-economie--9782707194565-page-387.htm>



## 1.4 Le modèle de Chichilinsky (1996)

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 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 Graciela 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.