

# Economie du développement durable\*

Pascal da Costa<sup>†</sup> Mehdi Senouci<sup>‡</sup>

Février 2014

## Table des matières

<b>Introduction</b>	<b>2</b>
<b>1 Les écoles de pensées économiques du développement durable</b>	<b>4</b>
1.1 Introduction : une mise en perspective historique . . . . .	4
1.2 La décroissance durable . . . . .	6
1.3 L'économie écologique . . . . .	8
1.4 La croissance durable . . . . .	9
1.5 Conclusion : la courbe environnementale de Kuznets . . . . .	16
<b>2 Les politiques économiques de l'environnement dans les faits</b>	<b>17</b>
2.1 Introduction : vers les enjeux mondiaux de l'environnement . . . . .	17
2.2 Définition du concept d'externalité . . . . .	20
2.3 Le principe d'internalisation des pollutions . . . . .	22
2.4 Les quotas d'émissions échangeables . . . . .	23
2.5 La fiscalité environnementale . . . . .	24
<b>Références</b>	<b>27</b>

---

\*Première séance du *Massive Open Online Course* (MOOC) de développement durable, sous la direction de Pascal da Costa : [https://www.france-universite-numerique-mooc.fr/courses/CentraleParis/02001/Trimestre\\_1\\_2014/about?xtor=AL-3](https://www.france-universite-numerique-mooc.fr/courses/CentraleParis/02001/Trimestre_1_2014/about?xtor=AL-3)

<sup>†</sup>Enseignant-chercheur à l'Ecole Centrale Paris, Laboratoire de Génie Industriel / Equipe de recherche en Economie et Management Epocc. Courriel : [pascal.da-costa@ecp.fr](mailto:pascal.da-costa@ecp.fr). Adresse : ECP Grande Voie des Vignes 92295 Châtenay-Malabry cedex France.

<sup>‡</sup>Enseignant-chercheur à l'Ecole Centrale Paris, LGI/Epocc.

**Remerciements :** « Mes remerciements vont d’abord à mes collègues intervenants du MOOC, Valérie Masson-Delmotte (LSCE/CEA, Université Paris-Sud), Estelle Iacona (ECP), Claire Bordes (ECP), Jean-Pierre Chevalier (Cnam), Marc Dufumier (AgroParis-Tech) et Gilles Pison (INED) ;

A mes collègues de l’ECP, Dominique Pareau et Arsène Isambert, avec lesquels ce cours a été pensé, il y a quelques années déjà ;

A mes étudiants, Noémie Blaise et Jean-Guillaume Messmer, dont j’ai eu le plaisir de guider les travaux de recherche et de rédaction bibliographique ;

A la direction des Etudes de l’ECP, John Cagnol pour son soutien constant et Caroline Monbet pour son aide précieuse (et quasi quotidienne !).

Je tiens enfin à remercier les différentes équipes techniques qui ont travaillé à la réalisation des vidéos du MOOC. » *Pascal da Costa*

## Introduction

Depuis l’apparition des sociétés industrielles (et, avant cela, des sociétés agricoles) l’influence de l’homme sur l’environnement a littéralement explosé. L’exemple le plus médiatisé est celui des gaz à effet de serre (*greenhouse gases* en anglais), en particulier le CO<sub>2</sub>, tenu pour responsable du réchauffement climatique<sup>1</sup>. Le réchauffement climatique n’est qu’une des manifestations des phénomènes de *congestion* auxquels nos sociétés, nombreuses et opulentes, font aujourd’hui face<sup>2</sup> : l’érosion et la salinisation des sols, la pollution de l’air et des nappes ou encore les pluies acides sont les preuves que notre environnement n’est pas *infiniment élastique*.

---

1. D’après les reconstitutions, les températures ont augmenté depuis la fin du “petit âge glaciaire”, autour du XVIII<sup>e</sup> siècle, mais cette augmentation est en sensible *accélération* depuis. Les deux dernières décennies (1990-2010) sont les plus chaudes jamais enregistrées, et il semblerait qu’elles soient les plus chaudes depuis environ deux millénaires. A horizon plus long, la température de la Terre varie sur des amplitudes beaucoup plus fortes à cause d’effets géophysiques, de variation de l’angle de l’axe de rotation de la Terre (de l’échelle de quelques minutes - une minute étant un soixantième de degré) et de catastrophes (météorites, éruptions volcaniques). Tous ces éléments seront revus en détail lors de la séance du MOOC dédiée au climat.

2. D’après les estimations d’Angus Maddison (disponibles sur <http://www.ggdc.net/maddison/oriindex.htm>), la population mondiale était de 226m(illions) en l’an 1, 556m en l’an 1600, 1,5M(illiard) en 1900, 2,3M en 1940, 4M en 1974, 6,8M en 2009. Le tout avec un mode de vie de moins en moins écologique. Les questions liées à la démographie, ainsi qu’aux projections démographiques, seront vues dès la prochaine séance du cours.

L'environnement est le *bien public* (au sens de collectif) par excellence. Mais il est aussi à la fois un bien *capital* (i.e. un bien qui sert à en produire d'autres, comme à travers l'agriculture ou le tourisme) et un bien de consommation par lui-même (un environnement agréable est, en soi, préférable à un environnement dégradé : on parle d'*aménités*, bénéfices prodigués directement par la qualité de l'environnement). La politique environnementale est donc nécessaire, mais aussi soumise à des considérations économiques. C'est pourquoi on parle de *politique économique de l'environnement*.

Vous l'avez compris : ce premier chapitre du MOOC va volontairement traiter le développement durable sous l'angle économique, en traitant principalement des enjeux environnementaux et des ressources naturelles. Les enjeux sociaux sont bien entendu parties prenantes du développement durable, mais nous les laisserons volontairement de côté (notamment l'état des lieux des inégalités lesquelles ont été décrites dans la vidéo de cette séance).

Par ailleurs, ce chapitre est à lire comme une ressource complémentaire à la vidéo et non comme un simple résumé. Ce chapitre va nous permettre d'aller plus loin dans les mécanismes économiques à l'œuvre dans une optique de développement durable.

Ce chapitre est structuré comme suit :

(1) Nous étudions d'abord les trois écoles de pensées économiques du développement durable (croissance durable, économie écologique et décroissance durable), en mettant l'accent sur les modèles de croissance sous contrainte environnementale.

(2) Nous discutons ensuite les politiques économiques de l'environnement dans les faits, lesquelles doivent répondre au principe d'*internalisation des externalités de pollutions* (autant de concepts que nous définirons).

# 1 Les écoles de pensées économiques du développement durable

## 1.1 Introduction : une mise en perspective historique

Depuis bien avant la première révolution industrielle, l'expansion de certaines sociétés a été ralentie (ou stoppée) par une contrainte environnementale. Jared Diamond, dans son livre *Effondrement* (titre original : *Collapse*<sup>3</sup>), soutient que la disparition de nombreuses sociétés a eu pour cause centrale la contrainte environnementale. L'exemple le plus fameux est celui de l'île de Pâques. Cette île située au beau milieu du Pacifique, totalement isolée du monde extérieur, fut conquise par l'homme autour de 800-1000 après J.-C. Lorsqu'elle fut découverte par le Hollandais Jakob Roggeveen le dimanche de Pâques 1722, le contraste fut grand entre l'état de pauvreté de la (faible) population et la splendeur des statues que vous connaissez tous, témoins d'une prospérité passée. Nous savons aujourd'hui par toute une série d'études que les habitants de l'île de Pâques étaient autrefois bien plus nombreux et plus riches que lorsque le reste du monde découvrit leur existence. Nous savons aussi que l'environnement fut dégradé par l'activité humaine (à travers la déforestation, la disparition d'espèces animales et végétales sauvages, l'érosion et la salinisation des sols), avec des conséquences tragiques à long terme.

Cependant, force est de constater que certaines sociétés dans l'histoire ont su faire face aux défis posés par leur environnement. Cela est le cas des sociétés dont l'environnement est relativement moins fragile, mais aussi celui des pays qui ont su faire face aux fragilités de leur environnement<sup>4</sup>. La révolution industrielle elle-même a constitué un pas décisif dans l'affranchissement de la contrainte environnementale à laquelle l'humanité était soumise : celle de l'agriculture (et l'agriculture elle-même était un affranchissement de la contrainte environnementale qui pesait sur les sociétés pré-agricoles de chasseurs-cueilleurs, etc.).

---

3. Jared Diamond n'est pas économiste mais biologiste-physiologiste-géographe. Sa notoriété est grande parmi les économistes, en particulier pour son ouvrage *Guns, germs and steel* [édition française : *De l'inégalité parmi les sociétés*], prix Pulitzer 1997, qui est un brillant essai sur la question : pourquoi certains pays sont riches et d'autres pauvres ? Extrêmement claire et habile, sa lecture est indispensable aujourd'hui à toute personne s'intéressant aux questions de développement et de croissance à très long terme.

4. A ce titre, l'exemple le plus souvent cité est celui du Japon, qui a toujours 70% de son territoire recouvert par des forêts – et ce malgré une densité de population record, et un PIB par habitant parmi les plus élevés du monde.

**Que faut-il donc en penser ? La richesse est-elle l'ennemie par excellence de l'environnement, ou est-ce qu'au contraire la richesse donne les moyens d'œuvrer en faveur de l'environnement ? Par ailleurs, quels sont les rôles joués par la science et le progrès technique dans le processus de développement durable ? La technologie est-elle une solution ou un problème ?**

Autant de questions qui ont donné lieu à de nombreux débats entre économistes. Et cela, dès le départ ! Historiquement, les ressources non renouvelables servant à la production et à la consommation ont été les premières à être pressenties comme autant de limites potentielles à l'accroissement continu de la richesse. Ainsi l'économiste Thomas Malthus (1798) décrivait, dans son célèbre "Essai sur les principes de la population", que la capacité de la race humaine à se multiplier allait, de façon tout à fait inexorable, buter sur la disparition des ressources naturelles ; l'équilibre social et économique se caractérisant alors par la misère et la privation. Pour Malthus, le rôle du progrès technique consiste à faire croître la production et le bien-être de façon transitoire avant qu'il ne s'évanouisse sous l'effet de l'épuisement et de la destruction des ressources. La solution pour éviter ce terrible équilibre de long terme passe par le contrôle démographique de la population, laquelle ne doit plus croître au-dessus de son niveau de subsistance.

Opposé à cette théorie, John Stuart Mill (1862) voit, au contraire, le développement de la connaissance dans le domaine agricole comme un élément clé qui permettra de répondre au défi posé par les ressources naturelles limitées. En plus de considérer, comme ses contemporains, l'environnement comme un facteur de production, J. S. Mill reconnaît à l'environnement une valeur en tant que source de bien-être (les *aménités* citées plus haut). Ce dernier peut donc être considéré comme un économiste précurseur dans le domaine de l'économie de l'environnement.

La controverse resurgit un siècle plus tard avec le rapport du Club de Rome intitulé "Halte à la croissance ?" (Meadows, Meadows, Randers et Behrens 1972), qui prévoyait, pour le début du XXI<sup>e</sup> siècle, une décroissance forte de l'industrialisation et de la taille de la population mondiale due aux pollutions excessives, à la production agricole limitée, à l'épuisement des ressources minérales (les stocks d'or, de mercure, de pétrole, de zinc, d'argent...).

Force est de reconnaître que les hypothèses du modèle reposaient sur une vision aprioriste des liens qui unissent ses différentes variables. En particulier, les prévisions en matière démographique ne reflétaient pas les tendances estimées à l'époque et re-

connues par la communauté scientifique. Du point de vue économique, le modèle du Club de Rome n'avait aucun système de prix ni pour les ressources ni pour la production, ce faisant le retour du niveau des prix sur les quantités demandées n'était pas pris en compte.

Conscient de ces insuffisances, et à la demande de l'Organisation des Nations unies (ONU), Wassily Leontief (1977) réalise l'exercice de prévision suivant : il reprend les hypothèses les plus pessimistes du rapport du Club de Rome et y ajoute les effets macro-économiques des variations des prix sur les quantités demandées. Finalement, seules deux ressources minérales mineures sont en danger d'épuisement à l'horizon de la fin du XXe siècle, les autres conclusions alarmistes du Club de Rome, selon lesquelles la poursuite de la croissance économique est impossible, sont rejetées intégralement !

Aujourd'hui, face à la révélation des enjeux environnementaux modernes, dont le changement climatique anthropique et la perte de la biodiversité sont des symboles forts, le concept de développement durable s'est imposé. Bien qu'il apparaisse dès 1980 dans un rapport de l'*International Union for the Conservation of Nature*, il faut attendre sept années et le rapport Bruntland du *World Commission of Environment and Development* (WCED 1987) pour que le concept trouve la définition qui assurera son succès : "Le développement durable est celui qui répond aux besoins du présent sans compromettre la capacité des générations futures à répondre à leurs propres besoins."

L'idée est de concilier le bien-être intertemporel (dont la qualité de l'environnement fait partie) et la poursuite du développement économique. De ce point de vue, les modèles de Dasgupta et Heal (1974) et Dasgupta et Stiglitz (1981) peuvent être considérés comme les premières analyses économiques du développement durable. Nous reviendrons sur ces modèles.

Avant cela, il convient de décrire les trois principaux courants de pensées qui s'opposent actuellement sur le concept de développement durable.

## **1.2 La décroissance durable**

La branche française du courant dit de la décroissance durable s'appuie sur les derniers travaux théoriques de Georgescu-Roegen (1979) et promeut la décroissance comme seule solution à la durabilité du système économique.

Ainsi, pour Latouche (2003) : "Il faut toute la foi des économistes orthodoxes pour penser que la science de l'avenir résoudra tous les problèmes et que la substituabilité illimitée de la nature par l'artifice est possible. [...] Contrairement à l'écologisme réformiste d'un Herman Daly ou d'un René Passet, l'état stationnaire lui-même et la

croissance zéro ne sont ni possibles, (ni souhaitables...)”

Dans un livre plus récent et très intéressant, qui a connu un succès international, Tim Jackson (“Prospérité sans croissance” 2009) utilise l’identité IPAT pour montrer que la résolution du problème climatique est impossible et que seuls une restriction de la croissance économique et un partage des revenus à l’échelle de la planète permettront d’atteindre les objectifs d’émissions de CO2 assignés par les climatologues.

**Qu’est-ce que l’identité IPAT ? Et quelle est la démonstration faite par Tim Jackson ?**

L’identité IPAT décrit la contribution de la population ( $P$ ), la richesse ( $A$ ) et de la technologie ( $T$ ) à l’impact environnemental ( $I$ ), soit :

$$\text{Impact} = \text{Population} \times \text{Affluence} \times \text{Technology} = P \times A \times T$$

Appliquée au changement climatique, l’impact environnemental ( $I$ ) exprime les émissions de CO2, la population ( $P$ ) se réfère à la taille de la population humaine mondiale, l’affluence ( $A$ ) désigne le revenu par habitant et la technologie ( $T$ ) se réfère aux émissions de CO2 par rapport au PIB ou l’intensité des émissions de CO2... soit :

$$CO_2 = \frac{CO_2}{PIB} \times \frac{PIB}{Population} \times Population$$

Voici la démonstration<sup>5</sup>. Si l’on se réfère au travaux du Groupe d’experts intergouvernemental sur l’évolution du climat (GIEC), il convient de baisser d’un peu moins de 70% les émissions de CO2 d’ici 2050 (par rapport à 2010) pour arriver à maintenir l’augmentation moyenne des températures de 2°C (450 ppm de concentration atmosphérique des gaz à effet de serre dans l’atmosphère). Soit une baisse annuelle de 3%. La population mondiale augmentant de 30% d’ici 2050 va donc connaître une croissance annuelle d’environ 0,7% dans les prochaines années. Si on se réfère aux travaux de prévisions du Centre d’études prospectives et d’informations internationales (le CEPII) les revenus par tête augmenteraient de 160% sur la même période (NB : c’est un scénario assez moyen, voire bas au regard des autres études dans le domaine), soit environ 2,5% d’augmentation annuelle.

En utilisant l’équation précédente, on peut donc estimer la réduction nécessaire de l’intensité polluante de l’économie ( $CO_2/PIB$ ) pour assurer l’égalité :

$$-3\% - 2,5\% - 0,7\% = -6,2\%$$

-6,2% : c’est le pourcentage annuel de réduction de l’intensité polluante mondiale qui permet de satisfaire l’identité IPAT sous les hypothèses mentionnées plus haut (dérèglement climatique limité à +2°C, scénarios démographique et de croissance).

---

5. Il s’agit ici de calculs personnels réalisés à partir de données récentes : voir Tian et da Costa (2014).

L'intensité des émissions de CO<sub>2</sub> peut être considérée comme un bon indice de développement de la technologie. Or, dans les faits, l'intensité des émissions de CO<sub>2</sub> dans le monde est passée de 740g/dollar à 440g/dollar sur la période 1971-2010, soit un taux annuel moyen de -1,3%. Ce taux a été de -1,9% dans les pays de l'OCDE, et de -0,7% dans les pays non membres de l'OCDE.

Pour Tim Jackson, il est donc tout à fait illusoire de considérer que le taux de -6,2% soit atteignable...

### 1.3 L'économie écologique

L'objectif du courant dit de l'économie écologique est d'appliquer à l'analyse économique les connaissances du système vivant. On parle du paradigme de la thermodynamique qui a été transposé à l'économie par Georgescu-Roegen (1971). Ainsi, et contrairement à Dasgupta et Heal (1974), Georgescu-Roegen pose l'existence de contraintes absolues s'opposant aux possibilités de substitution entre les ressources naturelles et le capital physique que peut offrir le progrès technique. Pour le courant de l'économie écologique, la croissance illimitée est impossible (voir Daly 1991 et Daly et Townsend 1993).

L'économie est alors envisagée comme un système soumis à des entrées et à des sorties de matière qui se font soit sous forme de produits, soit sous forme de déchets. Le principe consiste alors à comptabiliser, en termes d'unité énergétique, ces différents flux de matières, sachant que "rien ne se perd, rien ne se crée, tout se transforme" (Lavoisier). Ainsi, cette approche a pour objectif d'obtenir des renseignements à la fois plus réels et plus généraux quant au niveau des consommations matérielles de nos sociétés et à l'évolution réelle de ce niveau. Il s'agit de tenir compte des flux physiques échangés entre l'économie et l'environnement (Ayres 2003).

Mais les contraintes écologiques nouvelles peuvent aussi être source de création de richesse (concept de coévolution de Noorgard 1984, 1988, 1994, Passet 1979). Globalement, l'économie écologique conteste le critère de durabilité utilisé par certains économistes, lequel consiste à rechercher la constance du stock de capital total, c'est-à-dire la somme des stocks de capital physique et de capital naturel. La conséquence de ce critère, dit de *durabilité faible* (ou encore *soutenabilité faible*), est de maximiser les compensations marchandes liées à la dégradation de l'environnement. Autrement dit, la dégradation de la ressource naturelle peut être totale pourvu que suffisamment de capital physique ait été accumulé.

En s'appuyant sur l'*irréversibilité* de certains phénomènes biophysiques (change-



ment climatique, biodiversité, érosion des sols, par exemple, qui peuvent connaître des changements irréversibles “passé un cap”), Pearce et Atkinson (1995) proposent un critère de *durabilité forte* qui consiste à retenir un capital naturel dont le stock est non décroissant dans le temps.

## 1.4 La croissance durable

Les économistes Smulders (1995 a,b) et Tavohnen (2000) apportent une réponse (assez convaincante de notre point de vue) aux reproches formulés à l’encontre d’une croissance économique illimitée, en insistant sur le fait que l’économie n’est pas un monde dont la valeur est une mesure physique. Si le monde crée toujours plus de valeur économique, alors l’économie peut croître indéfiniment. Les *idées* sont à l’origine de la valeur économique. Et étant donné que les *idées* sont en nombre illimité, la valeur et la croissance économique sont illimitées également. Les nouvelles théories de la croissance se concentrent sur ces principes.

Pour certains modèles issus de ces théories (depuis Aghion et Howitt 1998), la croissance économique repose plus précisément sur une augmentation de la qualité des biens permettant à la production de rester constante en termes d’unités matérielles.

Passet (1979) écrivait déjà : “Alors que le développement des sociétés humaines s’était traduit jusqu’à ce jour en termes de productions matérielles de survie et de confort s’adressant à des besoins saturables, c’est un développement orienté vers des activités dont l’aspect matériel est secondaire et s’adressant aux besoins illimités de l’être qu’il convient désormais de concevoir.”

Sur le concept même de dématérialisation, on peut donc dire que le courant de l’économie écologique et le courant dit de la croissance durable se rejoignent.

Par ailleurs, de la théorie de l’économie publique, on tire le principe qu’il importe *d’internaliser les effets externes* dus aux pollutions (les coûts négatifs) et à la R&D (les effets positifs induits). Dans les faits, il est clair que le système économique actuel n’offre pas une incitation à l’innovation et au changement technologique bien adaptée aux objectifs du développement durable<sup>6</sup>.

Les modèles issus des nouvelles théories de la croissance montrent que la croissance, lorsqu’elle repose sur une augmentation de la qualité des biens, permet à la production de rester constante en terme d’unité matérielle (quantité inchangée des ressources naturelles utilisées). La technologie peut donc aider à découpler le développement économique et la dégradation de l’environnement ; mais ce découplage n’a

---

6. La notion d’externalité est clarifiée à la section 2.2.

en fait rien d'automatique. Comme le changement technologique est de plus en plus financé par des marchés concurrentiels dans nos économies, les besoins qui ne font pas l'objet d'une demande clairement identifiée sur un marché risquent de ne pas être pris en compte. Heureusement, le progrès technique peut être influencé par certains instruments de politique économique : par exemple, la mise en place de marchés de quotas échangeables et de taxes sur les émissions polluantes <sup>7</sup>.

Allons à présent plus en détail dans les modèles mathématiques proposés par ce courant qui est aujourd'hui majoritaire en sciences économiques <sup>8</sup>.

La question posée par les premiers théoriciens de la croissance sous contrainte environnementale est la suivante : **puisque la production des biens que nous consommons nécessite l'usage d'une ressource non renouvelable, la consommation ne doit-elle pas nécessairement tomber à 0 ?**

Aussi contre-intuitif que cela puisse paraître à ce stade, la réponse à cette question n'est pas nécessairement oui (en théorie, bien entendu). L'idée, qui est reprise par la quasi-totalité des théories de la croissance durable, est la suivante : **s'il existe un substitut renouvelable [à la ressource non renouvelable], la consommation peut ne pas chuter à 0 ; dans certains cas la croissance indéfinie est même parfois possible. S'il n'existe pas de tel substitut, la production bute nécessairement sur la rareté de la ressource non renouvelable, et la consommation et la production à terme à zéro.**

Une fois qu'elle est formulée, cette idée devient évidente. Voyons comment elle se traduit dans les modèles économiques.

**Le modèle de Dasgupta et Heal (1974).** Le modèle de Partha Dasgupta et Geoffrey Heal est le premier modèle économique à illustrer l'importance décisive de l'existence (ou non) d'un substitut. Nous en présentons ici une version simplifiée.

Les hypothèses du modèle sont très fortes (restrictives). Supposez que l'environnement soit une ressource non-renouvelable, dont le stock disponible à la date  $t \geq 0$  est noté  $S_t$ . Le stock initial  $S_0$  est donné exogènement. A chaque période, l'extraction est  $R_t$ , on a donc :

$$\forall t \geq 0, S_t = S_0 - \int_0^t R_\tau d\tau$$

La production est donnée par la fonction CES suivante (pour *constant elasticity of substitution*) :

$$Y_t = \left( \alpha K_t^{\frac{\sigma-1}{\sigma}} + (1-\alpha) R_t^{\frac{\sigma-1}{\sigma}} \right)^{\frac{\sigma}{\sigma-1}}$$

---

7. Cf. sections 2.4 et 2.5.

8. NB : les lecteurs peu à l'aise avec la formalisation mathématique pourront passer les équations.

avec  $\sigma > 0$  et  $\neq 1$  et  $\alpha \in ]0, 1[$ <sup>9</sup>.  $K_t$  est le stock de capital, dont on suppose qu'il évolue linéairement (à cause d'un progrès technique) au cours du temps :

$$K_t = K_0 + g t$$

avec  $g > 0$ . Le paramètre  $\sigma$  est appelé l'élasticité de substitution entre les inputs  $K$  et  $R$ . Lorsque  $\sigma < 1$ , on dit que les inputs sont strictement complémentaires ; lorsque  $\sigma > 1$  on dit qu'ils sont strictement substituables.

En effet, pour  $\sigma < 1$ , il est aisé de voir que le produit  $Y$  ne peut pas augmenter indéfiniment par l'accumulation d'un seul des deux inputs ; dans ce cas, on a :

$$\left( \alpha K^{\frac{\sigma-1}{\sigma}} + (1-\alpha) R^{\frac{\sigma-1}{\sigma}} \right)^{\frac{\sigma}{\sigma-1}} \xrightarrow{K \rightarrow +\infty} (1-\alpha)^{\frac{\sigma}{\sigma-1}} R$$

Ainsi, lorsque  $\sigma < 1$ , le produit ne peut être augmenté indéfiniment que si les quantités disponibles de chacun des inputs augmentent conjointement : voilà pourquoi l'on dit, dans ce cas, que les inputs sont strictement complémentaires.

Au contraire, lorsque  $\sigma > 1$  l'on a :

$$\left( \alpha K^{\frac{\sigma-1}{\sigma}} + (1-\alpha) R^{\frac{\sigma-1}{\sigma}} \right)^{\frac{\sigma}{\sigma-1}} \xrightarrow{K \rightarrow +\infty} +\infty$$

Dans le cas où  $\sigma > 1$  on peut donc augmenter indéfiniment le produit en accumulant de plus en plus d'*un seul* des deux facteurs. Pour cette raison, on dit que les inputs sont dans ce cas strictement substituables.

Compte tenu de ces hypothèses technologiques, cette économie peut-elle réussir à maintenir un niveau de production  $> 0$  ? Ou est-ce qu'au contraire la production tendra nécessairement vers 0 au fil du temps ?

Un plan d'extraction  $(R_t)_{t \geq 0}$  est dit *faisable* si et seulement si  $\int_0^\infty R_t dt \leq S_0$ . A tout plan d'extraction faisable correspond un sentier de production faisable  $(Y_t)_{t \geq 0}$ , avec  $Y_t = \left( \alpha K_t^{\frac{\sigma-1}{\sigma}} + (1-\alpha) R_t^{\frac{\sigma-1}{\sigma}} \right)^{\frac{\sigma}{\sigma-1}}$ .

Il est facile de montrer mathématiquement que :

---

9. Vous pouvez vérifier que cette fonction est strictement croissante et strictement concave en chacun de ses arguments, tout comme une fonction Cobb-Douglas. On a aussi, par ailleurs :

$$\lim_{\sigma \rightarrow 1} \left( \alpha K_t^{\frac{\sigma-1}{\sigma}} + (1-\alpha) R_t^{\frac{\sigma-1}{\sigma}} \right)^{\frac{\sigma}{\sigma-1}} = K_t^\alpha R_t^{1-\alpha}$$

Les fonctions Cobb-Douglas sont en fait des fonctions CES dont le paramètre  $\sigma$  tend vers 1.

- Si  $\sigma < 1$ , alors pour tout sentier de production faisable  $(Y_t)$  :

$$Y_t \xrightarrow{t \rightarrow +\infty} 0$$

- Si  $\sigma > 1$ , alors il existe un niveau de production soutenable  $\bar{Y}$ , c'est-à-dire qu'il existe un sentier de production faisable  $(Y_t)$  tel que :

$$\forall t \geq 0, Y_t \geq \bar{Y} > 0$$

En effet, lorsque  $\sigma < 1$ , la ressource est nécessaire à la production car  $R = 0 \Rightarrow Y = 0$ . La productivité moyenne de la ressource est bornée<sup>10</sup>, l'économie ne peut donc pas s'affranchir de la contrainte de rareté. Dans ce premier cas, ce que l'économie produira intérieurement est majoré :

$$\int_0^\infty Y_t dt \leq (1 - \alpha)^{\frac{\sigma}{\sigma-1}} \int_0^\infty R_t dt = (1 - \alpha)^{\frac{\sigma}{\sigma-1}} S_0$$

Lorsque  $\sigma > 1$ , la ressource n'est pas nécessaire à la production puisque  $R = 0 \Rightarrow Y = \alpha^{\frac{\sigma}{\sigma-1}} K > 0$ . Dans ce second cas, l'économie peut consommer toute sa ressource et toujours se garantir un niveau de consommation qui ne tend pas vers zéro.<sup>11</sup>

**Environnement et progrès technique dirigé.** La question de la soutenabilité de la production (voire de sa croissance) se reporte donc sur l'existence de substituts. Bien entendu, et à l'inverse de la situation décrite par Dasgupta et Heal, l'existence et le coût de ces substituts n'est pas une donnée *absolue* de l'économie, mais peut être influencée par plusieurs facteurs.

William D. Nordhaus, dans un article lui aussi extrêmement influent<sup>12</sup> montre que l'existence d'un substitut n'est pas suffisante : le *coût de production* de ce substitut

10. Formellement,  $\lim_{R \rightarrow 0} \frac{Y}{R} = (1 - \alpha)^{\frac{\sigma}{\sigma-1}}$ .

11. Si la fonction de production est Cobb-Douglas ( $\sigma \rightarrow 1$ ),  $Y = K^\alpha R^{1-\alpha}$ , la ressource est nécessaire à la production ( $R = 0 \Rightarrow Y = 0$ ) mais sa productivité moyenne est non bornée ( $\lim_{R \rightarrow 0} \frac{Y}{R} = +\infty$ ). Solow (1974) montre que la condition nécessaire et suffisante, dans ce cas limite, pour que les agents de l'économie puissent s'assurer un sentier de consommation qui ne tend pas vers 0 est que l'élasticité du produit par rapport au capital soit supérieur à l'élasticité du produit par rapport à la ressource épuisable, soit  $\alpha > 1 - \alpha \Leftrightarrow \alpha > 1/2$ . La ressource est alors non essentielle, car le capital physique est suffisamment important dans le processus de production pour permettre un niveau de production et de consommation indéfiniment positif (et même croissant) alors même que la ressource s'épuise.

12. Nordhaus (1974). L'article traite seulement du problème énergétique, mais l'argument s'étend à toutes les ressources non renouvelables : les ressources minérales, la terre, etc.

doit lui-même être assez faible, pour inciter les agents à basculer de la ressource non renouvelable au substitut (renouvelable).

Le raisonnement est simple : le substitut doit être produit, tout comme un autre bien. Mais pour le produire, il faut des *inputs*. Avant qu'il ne soit accumulé, par définition, la seule alternative est de le produire en utilisant la ressource naturelle. Si l'on produit trop peu de substitut (i.e. si le substitut est très cher à produire), le substitut ne pourra jamais, justement, se substituer à la ressource naturelle.<sup>13</sup>

Ceci nous amène naturellement à nous demander : quels sont les déterminants du coût de production du substitut ?

Pour diminuer le coût de production du substitut, la seule solution est d'innover sur ce substitut, soit en le rendant plus efficace, soit en le rendant moins coûteux à produire (ce qui est essentiellement la même chose). On dit que les agents doivent investir dans des innovations *dirigées* vers le substitut.

Donc, la question devient simplement : **qu'est-ce qui amène les agents à investir dans les innovations dirigées vers les substituts renouvelables ? Le font-ils spontanément avec l'épuisement de la ressource non renouvelable ? Ou est-ce que l'usage d'un instrument de politique économique est nécessaire pour les y inciter ?**

Nous sommes donc amenés à nous intéresser à la théorie de la croissance dans laquelle le progrès technique peut prendre plusieurs *directions*. En effet, les personnes peuvent être amenées à innover de différentes manières. Par exemple, l'industrie automobile fait aujourd'hui un grand effort de réduction de la consommation d'essence de leur modèles, car le pétrole est aujourd'hui relativement cher ; ce qui n'était pas le cas dans les années 1960, ni dans les années 1990.

Un principe fondamental du progrès technique *dirigé* est énoncé dans John R. Hicks (1932, 2<sup>de</sup> édition : 1963) *The Theory of Wages* : “[a] change in the relative prices of the factors of production is itself a spur to invention, and to invention of a particular kind – directed to economising the use of a factor which has become relatively expensive”.<sup>14</sup>

---

13. La condition théorique exacte pour que le substitut soit viable à long terme est que la productivité marginale (i.e. la variation de la productivité) de la ressource épuisable soit plus élevée que le coût marginal (la variation du coût) de production du substitut. Dans ce cas, on utilise les fruits de l'usage de l'énergie fossile pour mettre sur pied un système vert, c'est-à-dire basé sur un capital renouvelable.

14. Traduction française : “un changement dans les prix relatifs des facteurs de production est lui-même un aiguillon à l'invention, et aux inventions d'un genre particulier, en l'occurrence celles permettant d'économiser l'usage du facteur qui est devenu relativement plus cher.”

De manière générale, l'analyse économique suppose que les agents réagissent aux prix. Pour le contexte qui nous intéresse, suivons l'article d'Acemoglu, Aghion, Bursztyn et Hemous (2012)<sup>15</sup>. Supposons qu'il existe deux inputs, l'un propre (*c* comme *clean*) et le second sale (*d* comme *dirty*). L'hypothèse de base est que la technologie sale est relativement peu chère initialement, mais n'est pas soutenable. La fonction de production s'écrit :

$$Y_t = \left( Y_{ct}^{\frac{\sigma-1}{\sigma}} + Y_{dt}^{\frac{\sigma-1}{\sigma}} \right)^{\frac{\sigma}{\sigma-1}}$$

où  $\sigma > 1$  (les inputs propres et sales sont logiquement supposés être des substituts, et non des compléments – rappelez-vous que dans ce cas, aucun des deux inputs n'est essentiel à la production).  $Y_{ct}$  et  $Y_{dt}$  sont les quantités des deux inputs utilisés à la date  $t$ . L'input propre est produit à base de travail et de capital, tandis que l'input sale est produit à base de travail, de capital, et de ressources naturelles *renouvelables*  $R$ . Et en plus du choix d'allouer les ressources capital et travail aux secteurs produisant  $Y_c$  et  $Y_d$ , les agents ont aussi la possibilité de choisir d'innover dans l'un des deux secteurs<sup>16</sup>.

Supposons qu'initialement  $R$  soit en abondance et bon marché. Alors les agents de l'économie ne produisent pas de  $Y_c$ , car la technologie sale est moins onéreuse. Du coup, ils innoveront en direction de  $Y_d$ , puisqu'ils n'utilisent pas  $Y_c$ . Schématiquement, on tente alors d'extraire plus de pétrole à moindre coût plutôt que de développer l'éolienne.

Mais ce régime consomme l'environnement, et la ressource  $R$  devient de plus en plus chère, et donc  $Y_c$  devient de plus en plus attractive. On se met à utiliser la technologie propre, et à innover en direction de  $Y_c$ . Le problème est que l'économie se retrouve du jour au lendemain à utiliser une technologie précaire, puisqu'elle n'a pas cherché à innover sur l'input propre avant la transition<sup>17</sup>. Le désastre économique est inévitable sans intervention extérieure, qui inciterait les agents à passer à la technologie propre plus tôt.

Une mesure de politique économique est donc justifiée, dans ce cadre. Mais sous quelle forme, et pendant combien de temps ? Il faut bien sûr subventionner l'innovation dirigée vers l'input propre, et plus tôt cela sera fait, moins coûteux cela sera pour l'économie. Attendre est coûteux pour le futur de la société, car attendre diminue le

---

15. Nous aurions aussi pu prendre comme références les articles de Grimaud, Lafforgue, Magné (2011) ou Henriët, Maggiar, Schubert (2014).

16. Nous nous passons d'équations dans la suite de l'exposition, vous êtes invités à vous référer à l'article si vous voulez aller plus loin.

17. Si les agents se soucient des générations futures, alors la transition sera plus douce. Mais l'on conviendra que rares sont les personnes – et encore moins les sociétés – qui se soucient autant des générations futures que de la leur propre. Supposer que les agents sont complètement myopes permet de présenter un mécanisme stéréotypé, mais crédible.

niveau de ressources naturelles (dans l'article, il est plutôt question de la qualité de l'environnement, mais le raisonnement est le même). Acemoglu et al. montrent que lorsque l'élasticité de substitution est suffisamment élevée, alors la subvention nécessaire de la R&D vers l'input propre pourra n'être que temporaire : passé un certain seuil de maturité, il devient plus rentable pour toujours d'utiliser la technologie propre. En revanche, lorsque  $\sigma$  n'est que légèrement supérieur à 1, cette subvention devra être permanente. Si l'élasticité de substitution est trop faible, les agents auront toujours envie de se remettre à utiliser la technologie sale un jour. Cela arrive parce que la ressource est renouvelable, et donc son stock tend vers l'infini et son prix vers zéro lorsque l'économie n'utilise que la technologie propre ( $Y_c$ ).

**Les modèles macroéconomiques de prévision intégrant l'environnement.** Les modèles théoriques, dont certains ont été décrits avant, posent les bases économiques et mathématiques des modèles économiques appliqués, utilisés en matière d'énergie et de climat. Plusieurs familles de modèles existent (ce qui permet de donner à une même question plusieurs évaluations souvent complémentaires) parmi lesquelles :

- Les modèles d'équilibre général qui sont les plus largement utilisés (Saveyn et al. 2012) : GEM-E3, GEMINI, POLES, MEDEE, etc. ;
- Les modèles d'optimisation dans une approche de type *bottom-up* : MARKAL, DICE, EFOM, etc. qui permettent une description détaillée des technologies énergétiques existantes (Chen 2005) ;
- Les modèles macro-économétriques : (Brécard et al. 2006 ; da Costa, Zagamé, Lemouel, Pratlong et al. 2009) NEMESIS qui est un modèle européen sectoriel avec des équations par pays reliés par le commerce extérieur ;
- Les modèles hybrides : comme modèle MACRO-MESSAGE qui intègre le modèle d'ingénierie des systèmes MESSAGE (approche de type *bottom-up*) et le modèle MACRO (*top-down*) (Klaassen et Riahi 2007).

Tous ces modèles visent à fournir des recommandations quantitatives de la politique du climat et de l'énergie. Ils évaluent l'impact des politiques en termes d'emploi, de richesse, de commerce, etc. Les structures des modèles peuvent donc être différentes : que ce soit en termes de décompositions sectorielles, régionales ou fiscales ; en termes des théories utilisées, comme la croissance endogène ou exogène, les structures et les équilibres de marché ; en termes de perspectives à long terme ou moyen terme, etc. Les résultats économiques, les mécanismes et les hypothèses des modèles appliqués existants peuvent aussi s'opposer (Boulanger et Bréchet 2005).

## 1.5 Conclusion : la courbe environnementale de Kuznets

La courbe environnementale de Kuznets est un phénomène statistique qui illustre assez bien les oppositions entre les courants de pensées, entre ceux qui estiment que des niveaux plus élevés de richesse par tête permettront de réduire les pollutions et ceux qui, au contraire, privilégient une diminution ou un partage des revenus actuels pour réduire les pollutions.

Au milieu des années 1990, plusieurs études empiriques (très robustes sur le plan statistique) démontrent l'existence d'une courbe en U inversé (ou encore en cloche) entre divers indices de pollution et le niveau des revenus par tête. Plus précisément, pour Grossman et Krueger (1995), le point de retournement pour la pollution par le SO<sub>2</sub> intervient pour un revenu moyen par habitant et par an de l'ordre de 4 000 à 5 000 dollars (de l'époque). Il est souvent plus élevé pour les autres polluants, mais en général se situe aux alentours de 8 000 dollars par habitant. Le message est le suivant : au-delà d'un certain niveau de richesse, la croissance économique s'accompagnerait d'une amélioration de l'environnement. L'explication fournie par les auteurs est qu'initialement il y a peu d'émissions polluantes du fait du faible niveau de production. Puis les débuts mal maîtrisés de l'industrialisation provoquent un surcroît de pollution. Enfin, les moyens financiers dégagés par l'augmentation de la richesse, le poids croissant des services et les changements des préférences des individus (plus portés vers la qualité de la vie à mesure que leur revenu individuel augmente) permettent de réduire les émissions polluantes.

Force est de préciser qu'il existe tout de même des incertitudes sur l'existence à un niveau général de cette courbe. Des résultats probants existent bien pour certaines ressources (forêts) ou polluants (pollution de l'eau et certains gaz) mais ils concernent un nombre limité de polluants et pour les régions les plus riches seulement. De plus, il est important de souligner le fait que, pour certains économistes, l'existence de la courbe environnementale de Kuznets est conditionnée par la mise en œuvre de politiques environnementales et d'innovation adéquates : la décroissance de la pollution n'aurait donc rien d'automatique. Dit autrement, la politique environnementale, et principalement la fiscalité environnementale, sont nécessaires à l'apparition d'une courbe environnementale de Kuznets.

Pour les tenants de la décroissance durable, cette courbe est tout simplement rejetée et l'on comprend bien que pour eux seul un revenu plus faible permet de réduire



les pollutions “à coup sûr”.

## **2 Les politiques économiques de l'environnement dans les faits**

### **2.1 Introduction : vers les enjeux mondiaux de l'environnement**

La prise de conscience des enjeux environnementaux par la société et les politiques est tardive, alors que les concepts et les théories économiques de l'environnement sont déjà anciens. Dès 1920, Pigou théorise les outils économiques disponibles pour lutter contre les pollutions et les externalités économiques. Mais il faut attendre 1972 et le principe pollueur-payeur de l'OCDE pour constater un début d'application : “le pollueur devrait se voir imputer les dépenses relatives aux mesures de prévention et de lutte contre la pollution arrêtées par les pouvoirs publics pour que l'environnement soit dans un état acceptable.”

C'est donc largement à partir des années 1970 que des mesures sont prises en faveur de la protection de l'environnement. Force est de reconnaître que ces premières mesures sont rarement d'ordre économique (i.e. via des incitations fiscales : des taxes ou des subventions) mais davantage d'ordre réglementaires, avec des politiques de normes et de cahiers des charges, visant à corriger le plus souvent des pollutions locales, clairement identifiées (pollution de l'eau notamment).

Le début des années 1990 marque une prise en compte d'enjeux plus globaux (pluies acides, érosion de la biodiversité, dérèglement climatique... autant de pollutions trans-frontières ou *globales*, au sens de mondiales), donc techniquement plus complexes à régler et dépendant aussi de la coordination des actions d'Etats aux comportements et aux stratégies souvent opposés.

La prise en compte de ces enjeux globaux implique des mesures nouvelles et des outils nouveaux, parmi lesquels des outils économiques incitatifs (de types marché de quotas échangeables, fiscalité ciblée, etc.). Ces nouveaux outils visent à inciter les agents économiques à prendre en compte dans leurs décisions de production ou de consommation les conséquences de leur choix : c'est-à-dire à *internaliser* les fameuses externalités environnementales.

En outre, pourquoi considère-t-on généralement que les Etats ont des intérêts opposés, par exemple en matière de dérèglement du climat, alors que nous avons vu (dans la vidéo) qu'il existait des coûts importants liés à ce phénomène (Stern 2006 et 2007) ? Les Etats auraient au contraire intérêt, du point de vue économique et ration-

nel, à coopérer pour lutter contre le dérèglement climatique global ! S'ils ne le font pas, c'est soit qu'ils manquent de rationalité sur le moyen et long terme, soit que stratégiquement ils souffrent du *dilemme du prisonnier* : il s'agit ici d'une situation où deux parties (deux joueurs en théorie des jeux) auraient intérêt à coopérer mais, en absence de communication entre les deux parties, chaque partie choisira de trahir l'autre (ne pas coopérer dans la lutte contre le changement climatique) ; la raison est simple : si un coopère et l'autre trahit, le premier est fortement pénalisé et le second peu impacté ; si les deux parties décident de non-coopérer - ce qui se passe si la coordination est mauvaise - alors le résultat global leur est moins favorable - en clair, ils subiront un dérèglement climatique fort.

Autant de concepts et d'outils économiques sur lesquels nous allons revenir, après avoir présenté rapidement l'état des discussion internationales sur les grands enjeux du développement durable.

C'est au Sommet de la Terre à Rio, en 1992 (la seconde Conférence mondiale sur l'environnement organisée par l'ONU) que les pays participants signent deux conventions, pour le changement climatique et la diversité biologique, qui définissent les deux grandes priorités internationales du développement durable<sup>18 19</sup>.

Le Protocole de Kyoto (1997) sur le dérèglement climatique regroupe quelque 160 pays au Japon pour discuter des mesures à prendre en matière de climat. Des objectifs chiffrés et juridiquement contraignants sont fixés, parmi lesquels la réduction moyenne des émissions polluantes des pays industrialisés de 5,2% à l'horizon 2008-2012 (par rapport à 1990)... Notons qu'aucun objectif n'est pris pour les Pays en développement (PED) : 70% des émissions en CO2 sont alors dues aux seuls pays industrialisés<sup>20</sup>.

La sortie des Etats-Unis du protocole en 2000 a fortement réduit la crédibilité et

---

18. En plus d'une déclaration qui énumère 27 principes (dont celui de précaution) et affirme que "la protection de l'Environnement et la lutte contre la pauvreté concernent tous les pays selon des responsabilités communes mais différenciées", ainsi qu'un programme d'action pour le XXI<sup>e</sup> siècle (dont l'Agenda 21).

19. Pour aller plus loin sur le fonctionnement institutionnel du développement durable au niveau international : da Costa, Bostantzoglou, Monleau (2013) et da Costa et al. (2012).

20. Collectivement les pays dits de l'Annexe 1 (représentant 38 pays de l'OCDE et pays de l'Est en transition) s'engagent donc à réduire en moyenne de -5.2% leurs émissions de gaz à effet de serre, par rapport à leur niveau de 1990, d'ici la période 2008-2012. La répartition des objectifs entre pays est : Union européenne (-8%), Etats-Unis (-7%), Canada (-6%), Japon (-6%), Russie (0%), Ukraine (0%), Nouvelle-Zélande (+1%), Australie (+8%). Les objectifs fixés initialement diffèrent donc entre pays, afin de prendre en compte les coûts et bénéfices de chacun.

compromis la réussite du Protocole de Kyoto, lequel se poursuit tout de même sans le premier émetteur mondial de CO<sub>2</sub> !

Force est de reconnaître que, depuis 2000, les négociations internationales ne progressent plus ! Le recul des Etats-Unis d'Amérique, à cette date, fut un élément très marquant, de même que le refus des PED, dont la Chine en tête, de s'engager... L'échec plus récent à Copenhague (décembre 2009), alors que des mécanismes de transferts monétaires et technologiques devaient permettre un accord, a fortement ébranlé les opinions publiques<sup>21</sup>.

Dès mars 2008, l'Europe avait pourtant déjà établi les modalités de fonctionnement de son propre marché de quotas échangeables pour l'après Protocole de Kyoto. Ne sachant encore pas si un second accord mondial de réduction des GES aurait lieu, l'Europe s'était tout de même fixé une réduction de 20% (objectif porté à 30% si un accord mondial avait finalement lieu) en ayant recours à différentes mesures, dont un marché de quotas carbone pour lequel elle distribuera donc encore moins de quotas que ce qu'elle avait fait dans le cadre de Kyoto<sup>22</sup>.

L'Europe est aujourd'hui bien seule à poursuivre Kyoto : le Canada, le Japon et l'Australie s'étant tous retirés. L'Europe qui continue à s'engager veut montrer au reste du monde qu'elle peut être leader dans le domaine du climat, aux niveaux politique comme économique avec le pari de fournir au reste du monde des technologies et des modes de vie bas-carbone, et repose régulièrement sur la scène internationale l'enjeu central d'un prochain accord qui devra obligatoirement associer les pays émergents (Chine, Inde...) et les Etats-Unis d'Amérique.

L'érosion de la biodiversité est le deuxième enjeu international du développement durable, après le climat. Son traitement a pris plus de retard que le climat dans les agendas des politiques, mais il faut savoir qu'une commission d'experts internationaux existe depuis 2008, l'*Intergovernmental science Policy platform on Biodiversity and Ecosystem Services* (IPBES) (contre 1998 pour la création du GIEC, ou IPCC en anglais pour *Intergovernmental Panel on Climate Change*).

L'état des lieux de la biodiversité est mauvais au niveau mondial. Rien que pour l'Europe, plus de 40% des mammifères indigènes, des oiseaux, des reptiles, des papillons sont menacés et quelque 800 espèces végétales sont menacées d'extinction totale ; la majorité des stocks halieutiques sont surexploités : leur renouvellement est

---

21. Cf. da Costa, Masson-Delmotte, Comby et al. (2010) sur la conférence de Copenhague et sa couverture médiatique.

22. Cf. da Costa, Zagamé, Lemouel, Pratlong et al. (2009) pour une évaluation quantitative macroéconomique du paquet énergie - climat européen.

clairement menacé ; depuis 60 ans, l'Europe a perdu plus de 50% de ses zones humides et la majorité de ses terres agricoles à haute valeur naturelle. Or, la biodiversité est une source de services absolument gigantesque : c'est une support de production (sols, etc.), une source de production et de purification de l'air, d'épuration de l'eau, de diminution des conséquences des inondations, etc. On sait que tous les acteurs de l'écosystème (végétaux, animaux...) et de la biodiversité sont interdépendants et rendent ensemble ces services possibles.

A Nagoya (novembre 2010), au Japon, s'est tenue la conférence de l'ONU sur la biodiversité. A cette occasion a été rendu public le rapport sur l'économie de la biodiversité et des services écosystémiques (Sukhdev et al. 2010) qui marque l'entrée de la biodiversité dans le champ de l'analyse économique ; et a été signé un protocole portant principalement sur les aires protégées, lequel consiste à augmenter la taille des parcs au niveau mondial (et y compris au niveau des mers et océans).

Pour comprendre les mesures économiques qui doivent être prises en faveur de l'environnement ou du climat il convient maintenant de définir en détail le concept d'externalité économique qui est à la base de toute bonne politique économique.

## 2.2 Définition du concept d'externalité

L'économie de l'environnement se base donc sur une abondante littérature sur les effets externes et leurs voies d'internalisation ; l'effet externe étant l'impact qu'a l'action d'un agent sur le bien-être d'un autre agent, non couvert par le marché... Parce qu'acheteurs et vendeurs négligent les effets externes de leurs actions, la solution de marché n'est pas efficiente !

Une pollution (due à un acte de production ou de consommation – c'est du 50-50 dans le cas des émissions de CO<sub>2</sub>) est en une externalité négative quand elle porte atteinte à la satisfaction d'un agent tiers non concerné par l'échange ou la production. C'est pourquoi l'économie de l'environnement s'attache beaucoup à l'étude des externalités et à la possibilité d'internaliser leurs effets négatifs par une politique appropriée (normes environnementales, écotaxes...).

De plus, « l'environnement est un **bien public** source d'externalités économiques ». A l'opposé, un bien privé est un bien :

**rival** : la consommation par un agent réduit à néant les possibilités de consommation des autres agents ;

**à exclusion** : il faut payer pour consommer.

Le principe de rivalité signifie que deux agents ne peuvent bénéficier en même temps du même bien. Le principe d'exclusion par le prix (ou exclusivité) exprime le fait qu'un consommateur ne peut disposer d'un bien que s'il en paie le prix. Ainsi les biens et services de consommation privée traditionnels sont des biens à la fois exclusifs et rivaux.

Les biens de consommation collective ou *biens publics* correspondent au contraire aux biens dont plusieurs consommateurs peuvent profiter en même temps : ce sont des biens non rivaux et non exclusifs.

Des biens peuvent également être non rivaux dans leur utilisation mais pouvoir faire l'objet d'une exclusion par les prix<sup>23</sup>.

Une dernière série de biens existe. Les biens qui sont à la fois non exclusifs mais rivaux dans leur consommation. L'exemple est celui d'une zone poissonneuse dans des eaux non territoriales, dans lesquelles les pêcheurs de toutes nationalités peuvent venir jeter leurs filets. On est donc ici en présence d'une ressource naturelle (le stock de poissons) qui ne fait pas l'objet d'un marché (on ne paie pas pour venir pêcher, biens non exclusifs). En revanche, c'est une ressource épuisable. Si les pêcheurs exploitent de manière trop intensive cette ressource, elle risque de disparaître. Or, ils ne sont pas incités à économiser cette ressource car elle est sans prix et ils pensent que leurs concurrents la pêcheront de toute façon même si eux adoptent un comportement plus raisonnable. Il s'agit de la « tragédie des **biens communs** » de Hardin.

Vous avez compris que pour les économistes de l'environnement le fait que l'utilisation de l'environnement soit généralement gratuite ou quasi gratuite est regrettable. Pour eux, l'environnement est à la fois compris comme un réceptacle des déchets et comme une ressource directement utile à la production. L'environnement peut également être compris comme un support de services environnementaux, par exemple pour les activités récréatives (randonner en montagne, etc.).

Les actions de production et de consommation à partir de l'environnement donnent généralement lieu à des externalités négatives lorsqu'elles portent atteinte à l'environnement. C'est parce que l'environnement se compose de nombreux biens non attribués par le marché, que les agents économiques ont intégré, dans leur choix de consommation et de production, le fait d'ignorer leurs effets nocifs sur la qualité de l'environnement.

Une usine qui pollue une rivière évite le coûteux processus de retraitement, mais

---

23. C'est le cas d'une émission de télévision par satellite. Tout le monde peut regarder cette émission sans que cela n'entrave l'utilité de chacun des individus ; il faut cependant disposer d'une parabole et payer un abonnement.

diminue l'utilité des riverains qui utilisaient les services environnementaux de la rivière (pour la pêche, pour la baignade...). Malgré la pollution, ces derniers ne sont pas indemnisés pour cette perte d'utilité car la rivière ne leur appartient pas. Les biens dont la production engendre une pollution sont donc, du point de vue social, produits en quantité excessive.

## **2.3 Le principe d'internalisation des pollutions**

Internaliser une externalité revient à établir des mécanismes pour que les agents prennent en compte les coûts ou effets externes de leurs actions. Ces mécanismes sont de deux types. Des solutions soit privées, soit publiques peuvent être trouvées. Les contrats sont des solutions privées.

Ainsi le théorème de Coase stipule que si les parties peuvent négocier sans coût l'allocation des ressources (et donc des pollutions), le contrat peut régler l'externalité de manière efficiente. S'il existe des coûts de négociation alors le contrat ne pourra internaliser les dommages environnementaux à leur juste niveau (i.e. la pollution qualifiée d'optimale, que nous allons définir dans un instant) : l'intervention publique est alors nécessaire.

L'Etat a à sa disposition des outils économiques en prix (la taxe) et en quantité (les quotas échangeables) qui sont théoriquement similaires. L'Etat peut donc mettre en place une taxe qui permet d'internaliser les effets externes négatifs : le pollueur va subir les coûts environnementaux qu'il risque d'infliger à l'environnement, ce qui va généralement réduire les quantités de polluants émises ; ou construire un marché de quotas échangeables, qui constituent un instrument dual des taxes, dans la mesure où ce n'est pas un prix qui est déterminé ici mais une quantité globale et non dépassable d'émissions. Le prix d'un quota (qui est un droit à émettre une tonne de CO<sub>2</sub> par exemple) sera déterminé par l'équilibre du marché lui-même où s'échangent ces quotas : une entreprise qui souhaiterait polluer plus que ses quotas initiaux ne l'y autorisent doit trouver sur le marché une autre entreprise qui a, elle, pollué moins que ses quotas initiaux et qui est prête à vendre ses quotas économisés – non utilisés – au plus offrant.

Pour Pigou (le fondateur de la théorie de l'internalisation), les externalités reflètent donc une divergence entre un dommage social causé par des pollutions (les riverains n'utilisent plus l'eau de la rivière polluée) et un coût privé de réduction des pollutions (le coût du traitement de la pollution de l'eau qu'évite de payer le pollueur) : la taxe qui convient entraîne l'internalisation des effets externes, en augmentant le coût privé

du pollueur jusqu'à ce que son coût égale le dommage social. A ce moment là, le pollueur produit la quantité optimale du bien (une quantité plus faible, bien entendu) qui entraîne moins de pollution. On parle de pollution optimale<sup>24</sup>.

## 2.4 Les quotas d'émissions échangeables

Théoriquement, le fonctionnement concurrentiel du marché de quotas d'émissions polluantes échangeables permet d'atteindre à moindre coût les objectifs de réduction des émissions, d'une part, et favorise une répartition optimale des efforts de réduction des pollutions entre les différentes sources polluantes (entreprises ou ménages), d'autre part. Un marché de quotas découle de la fixation d'un objectif quantifié de réduction des émissions, correspondant au montant total de quotas initialement distribués aux différentes sources polluantes. La possibilité que ces dernières satisfassent collectivement l'objectif total d'émission est assurée par les échanges de quotas. Ces échanges résultent d'une hétérogénéité des coûts de réduction de la pollution des différentes sources.

Les quotas échangeables peuvent apparaître préférables à la réglementation administrative (aux normes) qui impose des standards d'émission rigides, lorsque les échanges de quotas permettent aux entreprises de choisir leur niveau de pollution en accord avec leurs propres coûts. Le marché de quotas vérifie de cette façon les conditions à la fois d'*efficience environnementale* (la meilleure allocation possible permettant la réalisation de l'objectif de réduction des émissions) et d'*efficacité économique* (la répartition optimale des efforts de réduction des émissions, au coût minimum).

Très tôt, les Etats-Unis d'Amérique ont mené des politiques environnementales fortes et audacieuses dans les domaines de l'eau, de l'air (SO<sub>2</sub>) et de l'essence (sans plomb). Cette politique environnementale américaine sévère a nécessité des mécanismes de *flexibilité* nouveau pour ne pas défavoriser l'emploi et les entreprises. La mise en œuvre des marchés de quotas échangeables dès 1976 a permis d'atteindre les objectifs au moindre coût dans ces différents domaines. L'expérience a même été très concluante pour le plomb dans l'essence, dont le secteur était caractérisé par des raffineurs habitués à négocier entre eux, avec des échanges de quotas échangeables qui ont été réglementés avec souplesse, le tout dans un cadre stratégique fixé clairement (objectif et horizon donnés).

---

24. Remarquez que tout ce raisonnement doit se faire à la marge, c'est-à-dire par unité émise de polluant : c'est pour cette raison que vous trouverez dans la littérature le terme de coût marginal, ainsi que de dommage marginal.

Depuis, d'autres pays ont eux aussi mis en place des systèmes de quotas échangeables sur différents polluants : le Chili (particules en suspension), le Canada (NOx<sup>25</sup>), la Corée du Sud (NOx et SO2), les Pays-Bas (NOx), la Slovaquie (SO2) et la Suisse (NOx), notamment<sup>26</sup>.

Pour résumer le fonctionnement d'un tel marché : chaque pollueur se voit distribuer ou acquiert contre paiement une dotation initiale de quotas. Si la dotation s'avère inférieure à la quantité de polluants qu'un pollueur souhaite rejeter, ce dernier doit acheter un ou plusieurs quotas supplémentaires à un autre agent détenant des quotas excédentaires. Il y a alors arbitrage entre le coût de réduction de la pollution et le prix d'un quota supplémentaire, prix déterminé sur le marché.

Un dernier avantage de ce marché (et pas le moindre) par rapport à la taxe : si les coûts de réduction de la pollution sont mal connus, le résultat environnemental est lui parfaitement connu à l'avance puisque fixé dès le départ (i.e. la quantité totale de quotas disponibles sur le marché).

## **2.5 La fiscalité environnementale**

Dans les faits, les taxes incitatives sont trop rares : les taxes sur l'essence, les cigarettes et quelques polluants liés aux industries papetières et à l'aluminerie sont quasiment les seules de ce type. Les redevances environnementales (les paiements contre des services rendus) et les normes environnementales sont très majoritaires. Peu de taxes, donc.

La littérature montre pourtant que les taxes incitatives sont souvent plus efficaces que la réglementation : nous avons vu que l'entreprise polluante compare son coût de réduction de la pollution à la taxe, se faisant on dit que la taxe va "allouer" la pollution aux entreprises dont ce coût est le plus faible ; cela permet de minimiser les coûts totaux (macroéconomiques) de réduction de la pollution ; et d'atteindre l'efficacité économique (atteindre un objectif au moindre coût total).

La traduction de cette allocation est d'un point de vue géographique immédiate : une allocation efficace des objectifs de réduction des pollutions (en matière de CO2 par

---

25. Les oxydes d'azote, aussi appelés les NOx, pour leurs formules chimiques NO et NO<sub>2</sub>, ont des effets néfastes sur l'environnement (pluies acides) et sur la santé reconnus. Ils sont aussi des gaz à effet de serre.

26. Pour une synthèse et une évaluation des politiques économiques de l'environnement, voir de Serres, Murtin et Nicoletti (2010).



exemple) repose sur des objectifs de réduction des émissions plus élevés là où il s'avère techniquement moins coûteux de réduire les émissions, i.e. au niveau international, dans les pays économiquement moins avancés. Bien entendu, il convient d'organiser un partage des gains à travers des transferts monétaires ou technologiques, pour que ces efforts supplémentaires soient acceptés par ces pays.

Dans les faits, les débats liés à la mise en œuvre des taxes, taxe carbone notamment, traversent toutes les économies (principalement les pays industrialisés bien entendu) et sont souvent assez houleux.

Dans le cas français, le projet de taxe carbone voté en 2009 et abandonné depuis pour cause d'inconstitutionnalité était pourtant de seulement de 17 euros par tonne de CO<sub>2</sub> émise... contre, en Finlande, 70 euros environ aujourd'hui, et 110 euros en Suède.

Dans ces deux pays scandinaves, la taxe carbone est considérée aujourd'hui comme ne pénalisant pas la croissance ou la compétitivité. Elle permet de réduire les émissions de CO<sub>2</sub>. Et c'est un outil devenu indiscutable. Comme est-ce possible ?

La mise en œuvre de cette taxe s'est faite dans le cadre d'une réforme générale de la fiscalité, pour un coût fiscal globalement nul, grâce au reversement de la taxe environnementale sous la forme de diminution des cotisations sociales employeur, sur les bas salaires notamment. Notons tout de même qu'aujourd'hui les entreprises suédoises sont encore exonérées mais devront payer 60% du montant de la taxe en 2015.

La Suède a par ailleurs instauré dès 1992 une taxe sur les oxydes d'azote pour les producteurs d'énergie, à hauteur de 40 couronnes par kilogramme de NO<sub>x</sub> émis (soit environ 4,5 euros). Les bénéfices de la taxe sont intégralement reversés aux producteurs en fonction de leur ratio énergie produite/NO<sub>x</sub> rejeté. Le mécanisme handicape donc les industriels les plus polluants, et avantage les industriels les moins polluants : les entreprises plus propres que la moyenne enregistrent in fine un profit. Résultat : les installations de combustion ont adopté/développé des technologies de production de moins en moins émettrices de NO<sub>x</sub>. Alors que l'énergie produite n'a cessé d'augmenter, les émissions de NO<sub>x</sub> ont diminué en valeur absolue.

Au Royaume-Uni enfin, la taxe sur l'usage de l'énergie (et non sur le CO<sub>2</sub>) est en vigueur depuis 2001. On parle depuis plusieurs années d'un projet de convertir cette taxe en *carbon tax*, avec la mise en œuvre d'un double dividende emploi-émissions de CO<sub>2</sub>, de subventions nouvelles aux énergies renouvelables et d'aides à l'isolation des bâtiments.

*Vos questions, réactions et discussions sur le forum du MOCC... Merci d'avance à toutes et à tous pour votre participation active.*

*Prochaine séance : Démographie mondiale.*

## Références

- [1] Acemoglu, D., Aghion, P., Bursztyn, L., Hemous, D. (2012) "The Environment and Directed Technical Change", *American Economic Review*, 102(1) : 131–166.
- [2] Aghion, P., and P. Howitt (1998) *Endogenous Growth Theory*, The MIT Press.
- [3] Ayres, R. (2003) "Dematerialized Growth : is it an oxymoron ?", Colloque La croissance économique devient-elle immatérielle ? Réflexion sur une voie possible du développement durable 4-5 Septembre Paris.
- [4] Boulanger, P.-M., and Bréchet, T. (2005) "Models for policy-making in sustainable development : The state of the art and perspectives for research," *Ecological Economics* 55, 337-350.
- [5] Brécard, D., Fougereyrollas, A., Le Mouël, P., Lemiale, L., Zagamé, P. (2006) "Macroeconomic consequences of European research policy : Prospects of the Nemesis model in the year 2030," *Research Policy* 35, 910-924.
- [6] Chen, W. (2005) "The costs of mitigating carbon emissions in China : findings from China MARKAL-MACRO modeling," *Energy Policy* 33, 885-896.
- [7] da Costa, P., Bostantzoglou, S., Monleau, V.-O. (2013) "Après Rio + 20 : La Terre toujours sans gouvernance", *La Revue Durable*, mars - avril - mai 2013.
- [8] da Costa, P., Masson-Delmotte, V., Comby, J.B. et al. (2010) Dossier sur le Climat, *La Revue Durable*, mars 2010.
- [9] da Costa, P., Zagamé, P., Le Mouel, P., Pratlong, F., et al. (2009) "Macroeconomic assessment for the EU 'Climate Action and Renewable Energy Package' ", *Forecast and ASSESSment for Environmental Technologies Integrated project*, and 17th Annual Conference of the European Association of Environmental and Resource Economists, VU University Amsterdam, 58 p.
- [10] da Costa, P., Boisson, C., Bostantzoglou, S., Monleau, V-O., et al. (2012) "Rio : une gouvernance mondiale de l'environnement face à la crise écologique?", *reporterre : le site de l'écologie* <http://www.reporterre.net/spip.php?article3017>, 1 juin 2012.
- [11] da Costa, P., and Tian, W. (2014) "Revisiting IPAT World : An Analysis of CO2 Emissions over the 1970-2050 Period", working paper ECP.
- [12] Daly, H. E. (1991) *Steady State Economics*, Island Press Washington D.C. 1977.
- [13] Daly, H. E., and Townsend, K. N. (1993) *Valuing the Earth : Economics, Ecology, Ethics*, MIT Press, Cambridge MA.

- [14] Dasgupta, P., and Heal, G. (1974) "The Optimal Depletion of Natural Resources", Review of Economic Studies Symposium Issue, 3-28.
- [15] Dasgupta, P., and Stiglitz, J. (1981) "Resource Depletion Under Technological Uncertainty", *Econometrica* 49, 85-104.
- [16] European Commission (2009a) Directive 2009/28/EC of the European Parliament and of the Council of 23 April 2009 on the promotion of the use of energy from renewable sources and amending and subsequently repealing Directives 2001/77/EC and 2003/30/EC, Available at : <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2009:140:0016:0062:EN:PDF> [Accessed July 12, 2013].
- [17] European Commission (2009b) Directive 2009/29/EC of the European Parliament and of the Council of 23 April 2009 amending Directive 2003/87/EC so as to improve and extend the greenhouse gas emission allowance trading scheme of the Community, Available at : <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2009:140:0063:0087:EN:PDF> [Accessed July 12, 2013].
- [18] European Commission (2009c) Directive 2009/31/EC of the European Parliament and of the Council of 23 April 2009 on the geological storage of carbon dioxide and amending Council Directive 85/337/EEC, European Parliament and Council Directives 2000/60/EC, 2001/80/EC, 2004/35/EC, 2006/12/EC, 2008/1/EC and Regulation (EC) No 1013/2006, Available at : <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2009:140:0114:0135:EN:PDF> [Accessed July 12, 2013].
- [19] Georgescu-Roegen, N. (1971) *The Entropy Law and the Economic Process*, Harvard University Press, Cambridge MA.
- [20] Georgescu-Roegen, N. (1979) *Demain la décroissance : entropie - écologie - économie*, P. M. Favre éd., Lausanne.
- [21] Grimaud, A., Lafforgue, G., Magné, B. (2011) Climate change mitigation options and directed technical change : A decentralized equilibrium analysis, *Resource and Energy Economics*, Volume 33, Issue 4, November 2011, pages 938-962.
- [22] Grossman, G.M., and Krueger, A.B. (1993) Environmental Impacts of a North American Free Trade Agreement, in "The Mexico-U.S. free trade agreement", P. Garber, ed. Cambridge, Mass. : MIT Press.
- [23] Grossman, G.M., and Krueger, A.B. (1995) Economic growth and the environment, *Quarterly Journal of Economics*, 110, 353-377.

- [24] Henriet, F., Maggiar, N., Schubert, K. (2014) "La France peut-elle atteindre l'objectif du Facteur 4 ? Une évaluation à l'aide d'un modèle stylisé énergie-économie", à paraître : Economie et Prévision.
- [25] Hicks, J.R. (1939) "The Foundations of Welfare Economics", *The Economic Journal* 49 :196 : 696.
- [26] Hotelling, H. (1937) "The Economics of Exhaustible Resources", *Journal of Political Economy*.
- [27] Jackson, T. (2009) *Prosperity without growth*, Sustainable Development Commission.
- [28] Klaassen, G., and Riahi, K. (2007) "Internalizing externalities of electricity generation : An analysis with MESSAGE-MACRO," *Energy Policy* 35, 815-827.
- [29] Latouche, S. (2003) "À bas le développement durable ! Vive la décroissance conviviale !" dans *Objectif décroissance*, M. Bernard et al. éd., Paris Parangon, 19-26.
- [30] Leontieff, W. (1977) *The Future of the World Economy*, Oxford University Press, New-York.
- [31] Malthus, T. (1798) *An essay on the principles of population as it affects the Future Improvement of Society*, London Ward Lock.
- [32] Meadows, D. H., Meadows, D. L., Randers, J. et Behrens, W. (1972) *Halte à la croissance ?*, Rapport sur les limites de la Croissance, Fayard, Paris.
- [33] Meadows, D. H., Meadows, D. L. et Randers, J. (1992) *Beyond the limits : Global Collapse or a Sustainable Future*, London Earthcan Publications.
- [34] Mills, J. S. (1862) *Principles of Political Economy*, New-York Appleton ?
- [35] Naess, A. (1973) "The shallow and the deep, long-range ecology movements : A summary", *Inquiry* 16, 95-100.
- [36] Nordhaus, W. D. (1973) "The Allocation of Energy Resources", *Brookings Papers on Economic Activity*, 4(3), 529-576.
- [37] Nordhaus, W. D. (1992) "An Optimal Transition Path for Controlling Greenhouse Gases", *Science* 258 (20) Novembre, 1315-1319.
- [38] Norgaard, R. B. (1984) "Coevolutionary development potential", *Land Economics* 60, 160-173.
- [39] Norgaard, R. B. (1988) "Sustainable development : a co-evolutionary view", *Futures* 20, 160-173.
- [40] Norgaard, R. B. (1994) *Development Betrayed : The End of Progress and a Coevolutionary Revisioning of the Future*, Routledge, London.

- [41] Passet, R. (1979) *L'économie et le vivant*, Payot Paris.
- [42] Pearce, D., and Atkinson, G. (1995) "Measuring Sustainable Development", in D. W. Bromley eds., 166-181.
- [43] Pigou, A.C. (1924) *The Economics of Welfare*, Transaction Publishers.
- [44] Serres, A. de, Murtin, F., Nicoletti, G. (2010), "A Framework for Assessing Green Growth Policies", OECD Economics Department Working Paper, n 774.
- [45] Smulders, S. (1995 a) "Environmental Policy and Sustainable Economic Growth", *De Economist* 143 (2), 163-195.
- [46] Smulders, S. (1995 b) "Entropy, Environment and Endogenous Growth", *International Tax and Public Finance* 2, 319-340.
- [47] Solow, R.M. (1974) "The economics of resources or the resources of economics", *American Economic Review*, vol. 64, n 2, 1-14.
- [48] Stern, N. (2006) "The Stern Review on the Economic Effects of Climate Change", *Population and Development Review* 32 :4 : 793–798.
- [49] Stern, N. (2007) *Stern Review Report on the Economics of Climate Change*, HM Treasury. Available at : [http://webarchive.nationalarchives.gov.uk/+http://www.hm-treasury.gov.uk/sternreview\\_index.htm](http://webarchive.nationalarchives.gov.uk/+http://www.hm-treasury.gov.uk/sternreview_index.htm) [Accessed July 12, 2013].
- [50] Sukhdev, P., Wittmer, H., Schroter-Schlaack, C. et al. (2010) *The economics of eco-systems and biodiversity – Mainstreaming the economics of nature — A synthesis of the approach, conclusions and recommendations of TEEB : United Nations Environment Programme*, 36 p.
- [51] Tahvonen, O. (2000) "Economic Sustainability and Scarcity of Natural Resources : A Brief Historical Review", *Resources for the Future*, June.
- [52] WCED (1987) *Our Common Future*, Oxford University Press.