

## ECONOMIE ECOLOGIQUE – CONCEPTS FONDAMENTAUX

### **Nous explorons les questions suivantes:**

- Les ressources naturelles sont-elles une forme de capital?
- Comment peut-on comptabiliser et conserver les ressources naturelles et les écosystèmes?
- Qu'est-ce qui limite l'échelle des systèmes économiques?
- Comment peut-on assurer le bien-être économique et la santé des écosystèmes sur le long-terme?

### 1. UNE PERSPECTIVE ECOLOGIQUE

Les relations entre questions économiques et écologiques peuvent être envisagées selon plusieurs points de vue. L'économie environnementale standard applique aux questions d'environnement les concepts dérivés de l'analyse économique standard. Cependant, l'école de pensée appelée **écologie économique**, prend une toute autre approche. L'économie écologique cherche à redéfinir les concepts économiques fondamentaux pour les rendre plus applicables aux problèmes environnementaux. Cela veut dire envisager les problèmes à partir d'une perspective macro plutôt que micro, en portant l'attention sur les cycles écologiques majeurs et en appliquant à l'économie humaine une logique systémique inspirée de la physique et de la biologie, et non pas envisager les écosystèmes au travers du seul regard de l'analyse économique.

Contrairement à l'analyse économique standard, l'analyse écologique n'utilise pas le référent méthodologique du marché.<sup>1</sup> L'économiste écologique Richard Norgaard a qualifié cette approche de **pluralisme méthodologique**, qui permet «une multiplicité de points de vue permettant de ne pas commettre des erreurs inhérentes à une perspective unique».<sup>2</sup> Au travers d'une combinaison d'analyses et de techniques empruntées à des perspectives différentes, on peut obtenir une image plus exhaustive des problèmes que l'on étudie.

Cette approche pluraliste signifie que l'économie écologique n'est pas nécessairement incompatible avec l'analyse de marché. Les analyses de l'économie environnementale standard offrent plusieurs éclairages complémentaires à une perspective écologique plus large. Mais certaines des hypothèses et des concepts utilisés dans l'analyse de marché devront être modifiés ou remplacés afin d'avoir une compréhension de l'interaction entre système économique et systèmes écologiques.<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Une méthodologie est l'ensemble des approches et techniques utilisées pour analyser un problème.

<sup>2</sup> Norgaard, 1989.

<sup>3</sup> Pour une analyse plus détaillée du développement de l'économie écologique et de ses relations avec la théorie économique, voir Krishnan et al. eds. 1995; Martinez-Alier et Røpke, 2008; Costanza et al. eds, 2012.

## 2. CAPITAL NATUREL

Un concept fondamental utilisé par les économistes écologiques est celui de **capital naturel**. La plupart des modèles économiques du processus de production se limitent à deux facteurs de production : le capital et le travail. Un troisième facteur, traditionnellement appelé facteur «terre», est pris en compte mais en général sans avoir de fonction prééminente dans les modèles économiques. Les économistes classiques du XIXème siècle, surtout David Ricardo, auteur de *Principles of Political Economy and Taxation* (1817), étaient particulièrement préoccupés par le facteur terre et par sa productivité en tant que déterminant de la production économique. L'économie moderne, au contraire, suppose généralement que le progrès technologique sera en mesure de dépasser toutes les limites des capacités productives de la terre.

Les économistes écologiques ont réintroduit et élargi le concept classique de "terre" en le renommant **capital naturel**. Le capital naturel est défini comme la dotation totale en terre et en ressources naturelles disponibles pour l'usage de l'humanité, y compris l'air, l'eau, les sols fertiles, les forêts, les ressources halieutiques, les ressources minérales, et les systèmes écologiques supportant la vie et sans lesquels toute activité économique, et plus encore, toute vie, serait impossible.

Dans la perspective de l'économie écologique, le capital naturel devrait être considéré au moins comme aussi important que le capital manufacturé. De plus, une comptabilité sérieuse devrait être faite de l'état du capital naturel et de son amélioration ou de sa détérioration, qui devrait se refléter dans les comptabilités nationales.

### Rendre compte des changements du capital naturel

Définir les ressources naturelles comme capital soulève une question économique importante. Un des principes centraux à toute gestion économique prudente consiste à la préservation de la valeur du capital.

Il est généralement recommandé d'augmenter le capital productif au cours du temps, un processus que les économistes appellent l'**investissement net**. Une nation dont le capital productif diminuerait (**désinvestissement net**) serait en phase de déclin économique.

Sir John Hicks, Prix Nobel d'Economie, et auteur de *Value and Capital* (1939), définit le revenu comme le montant de biens et services qu'un individu ou une nation peut consommer pendant une période de temps tout en conservant un niveau de richesse au moins aussi élevé à la fin de la période qu'au début. En d'autres termes, on ne peut pas augmenter son revenu par la réduction de son capital.

Pour comprendre ce que cela représente dans la pratique, imaginez que vous receviez un héritage de un million de dollars (peu d'entre nous aurons cette chance

mais on peut toujours imaginer). Supposons que ce million est investi dans des bons du trésor qui rapportent à un taux réel de 5%.<sup>4</sup> Ceci génèrera un revenu annuel de 50000 dollars. Cependant si vous décidez de dépenser 100000 dollars par an, cela voudra dire que vous ferez fondre de 50000 le capital – en plus des 50000 de revenu. En faisant ceci, vous ferez diminuer le revenu dans les années qui viennent jusqu'à ce que tout le capital soit dilapidé. Il est clair qu'un tel comportement est très différent d'une gestion prudente de son patrimoine consistant à ne recevoir que 50000 par an indéfiniment pour vous-même et pour vos héritiers à venir.

Ce principe est généralement accepté tant qu'il s'agit de capital produit par l'homme. Les comptabilités nationales tiennent compte dans leurs calculs de la dégradation de cette forme de capital au cours du temps. Cette **dépréciation du capital** est estimée annuellement et soustraite du produit national brut afin d'obtenir le produit national net. Afin de maintenir la richesse nationale au cours du temps, il est nécessaire de réaliser au moins assez d'investissement pour remplacer le capital qui se déprécie chaque année. Ceci se reflète dans la différence entre investissement brut et net. L'investissement net est égal à l'investissement brut moins la dépréciation, et peut être égal à zéro ou même être négatif s'il n'y a pas suffisamment d'investissement de remplacement. Un investissement net négatif signifie un déclin de la richesse nationale.

Mais il n'existe pas de provision semblable pour ce qui est de la **dépréciation du capital naturel**. Si une nation coupe ses forêts et les convertit en bois utilisé pour la consommation domestique ou l'exportation, cette opération ne se traduit dans les comptes nationaux que comme une contribution positive au revenu, égale à la valeur du bois sur le marché. Il n'est fait nulle part mention de la perte de la forêt originelle, ni comme ressource économique ni en termes de sa valeur écologique. Du point de vue de l'Economie Ecologique, ceci est une omission très grave qui se doit d'être corrigée. Les économistes écologiques ont proposé des révisions des systèmes de comptabilité nationale qui incluraient la dépréciation du capital naturel.

## La dynamique du capital naturel

Le concept de capital naturel implique de plus qu'une analyse purement économique ne peut pas complètement rendre compte de la dynamique des stocks et des flux de ressources naturelles. Les économistes ont plusieurs techniques pour exprimer les facteurs environnementaux et les ressources naturelles en termes monétaires adéquats pour l'analyse économique standard. Mais cette approche ne capture qu'une seule dimension du capital naturel.

Les règles fondamentales qui gouvernent les éléments du capital naturel tels que les ressources en énergie, l'eau, les éléments chimiques, et toutes les formes de vie, sont des lois physiques décrites par les sciences de la nature – physique, chimie,

---

<sup>4</sup> Le taux réel est le taux affiché moins le taux d'inflation.

biologie, et écologie. Sans une considération précise et poussée de ces lois, on ne peut comprendre entièrement ce que recouvre le capital naturel.

Par exemple, la fertilité du sol dans les systèmes agricoles est déterminée par les interactions complexes entre nutriments chimiques, micro-organismes, flux aquatiques (pluviométrie, irrigation) et cycles plantes-animaux-déchets organiques. Si l'on ne mesure la fertilité des sols que selon la quantité de céréale produite par unité de surface par exemple, on ne considérera qu'un indicateur valide pour des calculs économiques de court terme mais qui pourra s'avérer trompeur sur le long-terme car ne tenant pas compte d'évolutions subtiles des processus écologiques. Une analyse économique pure pourrait résulter dans une attention insuffisante portée à la préservation sur le long-terme de la fertilité des sols.

Ainsi il est nécessaire de combiner le regard de l'analyse économique avec celui de l'approche écologique reposant sur des principes de préservation du capital naturel. Ceci ne rend pas caduques les techniques économiques utilisées par l'économie environnementale standard mais au lieu d'être considérées de manière exclusive, elles doivent être complétées par des perspectives écologiques sur les systèmes naturels afin d'éviter d'aboutir à des prises de décisions erronées.

Les économistes écologiques proposent d'appliquer des techniques de comptabilité du capital naturel et de sa conservation qui comprennent les éléments suivants :

- **Comptabilité physique** du capital naturel :  
Outre les comptes des revenus nationaux existants, des **comptes satellites** peuvent être construits qui montrent l'abondance ou la rareté des ressources naturelles et estiment leur variation d'année en année. Ces comptes peuvent également montrer la quantité de pollution accumulée, la qualité de l'eau, la variation de la fertilité des sols, et d'autres indicateurs physiques importants pour rendre compte des conditions écologiques. Les comptes qui montrent de manière significative des problèmes d'**érosion des ressources** ou de **dégradation environnementale**, requièrent des mesures de conservation ou de restauration du capital naturel.
- La détermination du niveau de **rendement durable**. L'exploitation économique des ressources naturelles souvent excède les niveaux écologiquement durables. Une analyse écologique des systèmes naturels exploités pour l'usage humain peut aider à mieux déterminer le niveau de rendement qui soit écologiquement soutenable ou durable sur le long terme. Si le rendement économique excède le rendement durable, la ressource est menacée et des mesures de protection sont nécessaires. Ce cas de figure se produit souvent avec les ressources halieutiques et forestières.

- La détermination de la **capacité d'absorption** de l'environnement pour les déchets générés par l'activité humaine, y compris les déchets domestiques, agricoles et industriels. Les procédés naturels permettent de détruire la plupart des déchets à travers des périodes plus ou moins longues et de les réabsorber dans l'environnement sans dommage. Cependant il existe des déchets et polluants qui sont difficiles ou impossibles à absorber par l'environnement – ceux-ci incluent les pesticides chlorés, les chlorofluorocarbones (CFCs) et les déchets radioactifs. L'analyse scientifique peut offrir une estimation des niveaux acceptables d'émissions de ces déchets.

Toutes ces mesures relèvent d'un principe général de **durabilité du capital naturel**.

Selon ce principe, les nations doivent chercher à conserver leur capital naturel en limitant son épuisement ou sa dégradation et en investissant dans son renouvellement (par exemple au travers de la conservation des sols ou des programmes de reforestation). Les difficultés et les controverses liées à la traduction de ce principe dans des règles et politiques spécifiques met en lumière les différences entre analyses économiques et écologiques.

### 3. QUESTIONS D'ECHELLE MACROECONOMIQUE

La théorie macroéconomique standard ne reconnaît aucune limite supérieure à l'échelle de l'économie. Les théories économiques, qu'elles soient classiques, keynésiennes ou autres, traitent des conditions d'équilibre entre les agrégats de la macroéconomie – consommation, épargne, investissement, dépenses gouvernementales, impôts et taxes, création monétaire. Mais pour ce qui est de la croissance économique, le niveau d'équilibre est censé pouvoir s'élever indéfiniment, de sorte que le produit intérieur brut (PIB) peut être multiplié par dix ou par cent au cours du temps.

Avec un taux de croissance de 5 pourcents par an par exemple, le PIB doublerait tous les 14 ans, et serait multiplié par plus de 100 en un siècle. Même avec un taux de croissance de 2%, le PIB double tous les 35 ans, et est multiplié par 7 en cent ans. Du point de vue de l'équilibre économique standard, une telle croissance ne pose pas problème. Mais pour les économistes écologiques, comme l'ont exprimé en particulier Robert Goodland et Herman Daly, les facteurs écologiques imposent des limites sur les niveaux de faisabilité de l'activité économique et la théorie économique doit donc inclure un concept d'**échelle macroéconomique optimale**.<sup>5</sup>

---

<sup>5</sup> La notion de "Throughput" est un terme introduit par Herman Daly, et se réfère aux processus combinés d'intrants de ressources naturelles et de rejets de déchets dans l'environnement. On peut le traduire comme « flux énergie-matière traversant le système économique ». Voir Goodland et al. eds., 1992 et Daly, 1996.

Ce concept est à la fois pertinent pour les économies nationales dépendantes de ressources naturelles, comme pour l'économie mondiale. Les implications de ce concept à l'échelle globale sont particulièrement importantes car on ne peut pas repousser les limites de l'écosystème global tandis qu'à l'échelle nationale, les limitations en ressources naturelles peuvent être contournées par le recours au commerce international. Cette situation est illustrée par la Figure 1 qui présente une économie ayant grandi au point qu'elle impose un stress important sur les cycles de vie et du monde physique dont elle dépend.

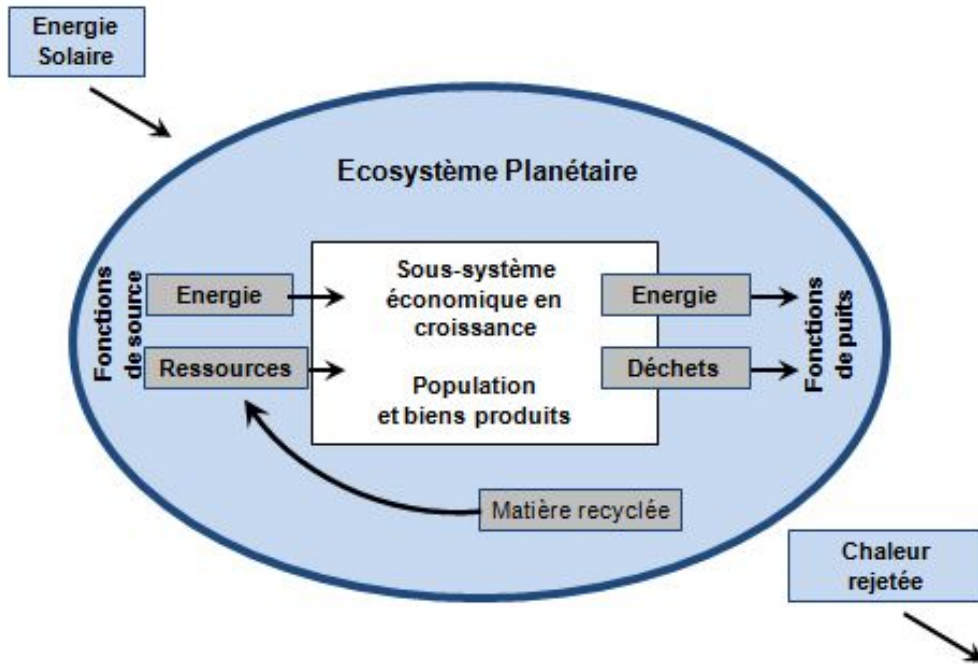
Dans la Figure 1, on voit que le système économique (représenté par un rectangle) utilise à la fois de l'énergie et des ressources comme intrants, et rejette des déchets énergétiques et autres dans les écosystèmes (représentés par un cercle).

Les flux combinés d'intrants naturels et de déchets à absorber par l'environnement peuvent être appelés « flux énergie-matière »<sup>6</sup>. Le système économique montré ici est un **système ouvert**, échangeant de l'énergie et des ressources avec l'écosystème global. Quant à ce dernier, il reçoit un flux d'énergie solaire et rejette dans l'espace de la chaleur, mais c'est par ailleurs un **système fermé**.

Alors que le sous-système de l'économie ouverte connaît une croissance au sein de l'écosystème planétaire clos (comme le montre le rectangle de la figure 1b), ses besoins en flux de ressources et en rejets de déchets sont plus difficiles à accommoder. La taille fixe de l'écosystème planétaire place une **limite d'échelle** sur la croissance du système économique.

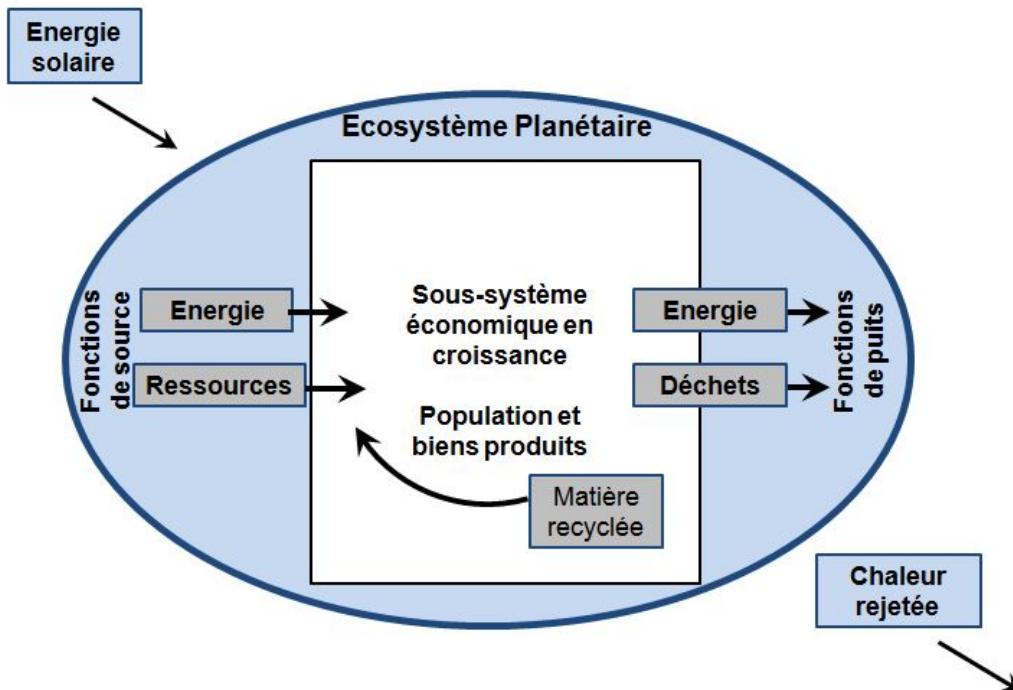
---

<sup>6</sup>Voir Daly, 2007.



**FIGURE 1a : ECOSYSTEME PLANETAIRE ET CROISSANCE DU SOUS-SYSTEME ECONOMIQUE, CELUI-CI ETANT ENCORE D'ECHELLE REDUITE**

Source: Goodland, Daly, et El Serafy eds., 1992, p. 5.



**FIGURE 1b : ECOSYSTEME PLANETAIRE ET SOUS-SYSTEME ECONOMIQUE AYANT ATTEINT UNE LARGE ECHELLE**

Source: Goodland, Daly, and El Serafy eds., 1992, p. 5.

Notons que ce diagramme se réfère à la croissance *physique* du système économique, mesurée en termes de demandes en ressources naturelles et en énergie et en rejets de flux de déchets. Il est possible pour le PIB de croître sans que cela ne requière plus de ressources, surtout si la croissance est concentrée dans le secteur des services. L'augmentation de l'activité automobile par exemple demande plus d'acier, de verre, de caoutchouc, et autres intrants matériels, ainsi que plus de pétrole pour faire fonctionner les véhicules. Mais davantage de productions d'Opéra ou bien de maternelles pour les plus petits ne demandent que peu de ressources supplémentaires. On peut aussi utiliser les ressources physiques et l'énergie de manière plus efficace, une unité de production demandant de moins en moins de ressources à produire, un processus industriel appelé **dématérialisation** ou **découplage**. En général, cependant, la croissance du PIB est associée avec des niveaux plus élevés de « flux énergie-matière ».

Il ne fait pas de doute que l'activité économique fait face à des limites d'échelle. Comment peut-on déterminer que le sous-système économique dépasse les limites des écosystèmes ? Il suffit d'observer pour s'en convaincre l'ampleur des problèmes écologiques de nature globale tels que le changement climatique, la destruction de la couche d'ozone, la pollution des océans, la dégradation des sols et la perte des espèces<sup>7</sup>. En termes de simple bon sens comme en termes d'analyse écologique, ces défis suggèrent que des seuils écologiques essentiels ont été atteints et dépassés vers la fin du vingtième siècle.<sup>8</sup>

## Mesurer les relations entre systèmes économique et écologique

Les économistes écologiques ont proposé une mesure spécifique par laquelle ces deux systèmes peuvent être liés. Les systèmes économique et écologique tous deux utilisent de l'énergie afin de supporter les fonctions nécessaires à la vie. On peut donc identifier l'énergie comme un flux fondamental à toute activité économique: travail humain, investissement en capital, exploitation des ressources naturelles, toutes ces activités demandent de l'énergie.

Les systèmes vivants obtiennent de l'énergie solaire au travers de la photosynthèse des plantes. Quand les systèmes économiques humains s'agrandissent, une large proportion du **produit primaire net de la photosynthèse** est utilisée directement ou indirectement pour soutenir l'activité économique. Cette appropriation de l'énergie de la photosynthèse a lieu au travers de l'agriculture, de l'exploitation forestière, de la pêche, et de l'utilisation des énergies fossiles. En outre, les activités humaines détournent des terres de leurs fonctions naturelles ou agricoles vers des fonctions d'utilisation urbaine ou industrielle, des infrastructures de transports, et des habitations. Environ 40% de la photosynthèse terrestre (terres) est actuellement

---

<sup>7</sup> Voir par exemple Goodland et al. eds, 1992, Chapitres 1 et 2; Meadows et al., 2002; Randers, 2012.

<sup>8</sup> Pour un bilan détaillé des limites environnementales, voir *Millennium Ecosystem Assessment*, 2005.



appropriée par l'humanité, et environ 25% du total de la photosynthèse globale si l'on inclut les écosystèmes marins.<sup>9</sup>

Ce pourcentage d'utilisation de la photosynthèse montre que si le monde connaît un doublement de l'activité économique, l'humanité s'approchera dangereusement des limites absolues. Or il est pratiquement certain qu'un tel doublement aura lieu à moins que les taux de croissance économique et démographique ne soient revus à la baisse de manière drastique. Nous devons donc prendre les questions de limites d'échelle très au sérieux.

Herman Daly a proposé d'envisager la croissance économique rapide du vingtième siècle comme un phénomène ayant transformé une économie de "monde-vide" en une **économie de monde-plein**.<sup>10</sup> Dans la phase de « monde vide », quand le système économique était de petite taille par rapport aux écosystèmes, les limites en termes de ressources et d'environnement ne se faisaient pas sentir, le monde semblait infini, et la principale activité économique était l'exploitation des ressources naturelles afin de construire des stocks de capital et d'infrastructures permettant d'accroître la consommation. A ce stade, la seule limite que connaît l'activité économique provient de la quantité limitée de capital manufacturé.

Dans la phase du "monde plein" en revanche, alors que le système économique a augmenté dans des proportions spectaculaires et presse contre les limites du monde naturel, la conservation des écosystèmes formant le capital naturel devient une priorité majeure. Si l'on ne prend pas les mesures adéquates pour conserver les ressources et protéger l'environnement naturel de ce « monde plein », alors les dégradations écologiques seront telles qu'elles saperont les bases de l'activité économique malgré tous les stocks dont on dispose de capital manufacturé.

Cette perspective diffère largement de la théorie standard de l'économie, qui suppose généralement l'existence de **substituabilité** entre les ressources. Par exemple, les engrais chimiques produits industriellement peuvent compenser la perte de fertilité naturelle des sols. Mais l'analyse écologique nous apprend que cette substitution n'est que partielle et de court-terme et que la dégradation des sols peut être irréversible sur le long terme – la bonne santé des écosystèmes naturels est un facteur irremplaçable, contrairement aux machines et usines construites par les hommes. Dans le cas précédent, des applications massives d'engrais chimiques peuvent accélérer l'épuisement des autres nutriments dans le sol, ainsi que polluer les ressources en eau.

Dans de nombreux cas, le capital naturel offre une **complémentarité** plutôt qu'une substituabilité avec le capital manufacturé – c'est-à-dire que les deux sont nécessaires à toute production. Par exemple, accroître la flotte de bateaux de pêche ne sera d'aucune utilité si les ressources halieutiques sont épuisées. Le rôle essentiel du capital naturel nécessite que l'on modifie la théorie standard de la croissance

---

<sup>9</sup> Vitousek et al., 1986.

<sup>10</sup> Full-world economics

économique afin de prendre en compte les questions de limites écologiques et de durabilité de long-terme.<sup>11</sup>

#### 4. DURABILITE DE LONG-TERME

Nous avons déjà parlé de durabilité en termes de capital naturel. Mais comment peut-on définir ce terme plus précisément ? Nous voulons limiter la perte et la dégradation du capital naturel, et investir dans sa conservation et son renouvellement. Pris dans son sens le plus strict, ceci voudrait dire que nous ne pourrions pas utiliser la moindre ressource épuisable, ni nous livrer à la moindre activité économique qui pourrait altérer de manière significative les systèmes naturels. Dans un monde de plus de 7 milliards d'humains, qui est largement industrialisé ou en voie de l'être rapidement, ce serait tout simplement impossible. Mais une exploitation sans aucune restriction ainsi qu'une augmentation effrénée de rejets polluants serait tout aussi inacceptable. Comment trouver un équilibre ?

La théorie économique standard apporte des éléments de réponse à cette question. Les théories de l'externalité, de l'allocation des ressources, et de la gestion des biens publics ou en propriété collective, offrent des principes économiques sur la manière dont on doit user ou conserver les ressources, et sur les niveaux de pollution « optimaux ». Dans le contexte global de long-terme, cependant, ces théories peuvent s'avérer insuffisantes. Orientées vers les réponses par le marché, elles peuvent échouer à garantir la durabilité écologique au niveau macroéconomique. Nous avons besoin de lignes directrices pour la conservation des ressources au niveau national et mondial. Les solutions de marché peuvent alors reprendre leur pertinence à partir du moment où elles sont encadrées par ces lignes directrices, à l'intérieur desquelles elles peuvent répondre à des problèmes spécifiques de gestion environnementale.

Nous pouvons distinguer entre les concepts de **durabilité forte** et de **durabilité faible**. L'usage des termes « fort » et « faible » dans ce contexte se réfère au degré d'exigence de nos hypothèses et n'implique pas que l'une soit nécessairement meilleure que l'autre. La **durabilité forte** est basée sur une hypothèse de substituabilité très limitée entre capital naturel et capital manufacturé. La **durabilité faible** suppose que le capital naturel et le capital manufacturé soient généralement substituables dans une large mesure.<sup>12</sup>

Selon l'approche de la **durabilité forte** on devrait tenir des comptes séparés pour le capital manufacturé et pour le capital naturel et s'assurer que les stocks de capital naturel ne s'épuisent pas. Il serait acceptable, dans ce cadre, de couper des forêts à un endroit seulement si des forêts similaires sont plantées ailleurs afin que le stock total de forêt reste constant.

<sup>11</sup> Voir Daly, 1996, et Harris et Goodwin, 2003, pour une discussion des implications de la perspective de l'économie écologique pour la théorie de la croissance.

<sup>12</sup> Une discussion des principes de durabilité forte ou faible est présentée dans Neumayer, 2003; Daly, 2007; et Martinez-Alier et Røpke, 2008, Part VI A: The Critique of Weak Sustainability.

Les stocks de pétrole pourraient être exploités jusqu'à l'épuisement seulement si des sources d'énergie alternative de capacité égale sont simultanément développées. La mise en œuvre de la durabilité forte demanderait une intervention extensive du gouvernement sur les marchés, et un changement radical dans la nature de l'activité économique.

La **durabilité faible** est plus simple à obtenir. Ce principe permet la substituabilité entre capital naturel et capital manufacturé, pourvu que la valeur totale du capital soit maintenue. Cela peut permettre par exemple de couper une forêt afin d'étendre la production agricole ou industrielle. Mais cela impose cependant qu'il y ait une comptabilité adéquate de la *valeur* de la forêt supprimée. L'activité de coupe forestière ne peut être acceptable dans ce cadre que si la valeur générée dans le nouveau capital manufacturé est au moins aussi grande que la valeur perdue de la forêt.

Ce principe est beaucoup plus proche de la théorie économique standard. Un agent privé est sensé faire ce genre de calcul et n'échangerait pas volontairement une ressource de haute-valeur pour une de valeur moindre. L'intervention de l'Etat serait cependant nécessaire pour maintenir le principe de faible durabilité dans les cas où :

- Les agents privés ne considèrent pas la valeur écologique totale du capital naturel (par exemple une compagnie de produits forestiers qui ne considère que la valeur du bois mais est indifférente à celle des espèces protégées dépendant de cet habitat).
- Les droits de propriété des ressources naturelles sont mal définis, ce qui est souvent le cas dans les pays en développement. Ceci peut conduire à la dilapidation d'une ressource naturelle par les propriétaires de concessions de court-terme ou par un usage illégal de la ressource.
- Les propriétaires privés ont des perspectives de court-terme, et ne cherchent pas à considérer des effets de long-terme comme l'érosion cumulative des sols par exemple.
- Des ressources de propriété collective ou des biens publics sont en jeu.
- Des ressources absolument irremplaçables sont menacées, comme dans le cas d'extinction d'espèces ou de rareté extrême d'une ressource (les ressources en eau dans les zones arides par exemple).

## **Choix politiques et actualisation du futur**

Le choix entre forte ou faible durabilité peut être difficile. Dans la gestion des ressources forestières, par exemple, la durabilité forte peut être trop contraignante, exigeant d'un pays qu'il préserve en toute circonstance la même surface de forêt. La durabilité faible cependant ne place aucune limitation inhérente sur la quantité de forêt qui peut être abattue, et n'exige seulement qu'un calcul rigoureux de sa valeur en comptabilité. Bien qu'il faille définir un juste milieu, ce n'est pas par le jeu du marché

qu'on peut y aboutir. Il est nécessaire de faire un choix conscient de société.

Un des facteurs cruciaux pour la définition de ce juste milieu est la question de l'**actualisation de l'avenir**. Les analyses en termes d'allocation des ressources à travers le temps et de coût-bénéfice mettent en évidence l'importance du taux d'actualisation<sup>13</sup> dans les choix du marché relatifs aux usages des ressources. Selon la règle d'Hotelling, les propriétaires privés doivent pouvoir espérer que le prix net d'une ressource s'élève à un taux au moins égal au taux d'intérêt avant de faire le choix de conserver cette ressource pour l'avenir. Cela se produit rarement pour la plupart des ressources naturelles épuisables.

Avec un taux d'actualisation de 5%, il faudrait pouvoir s'attendre à un doublement en 14 ans du prix net des ressources pour assurer leur conservation. A défaut de quoi il est plus profitable pour le propriétaire d'extraire la ressource immédiatement et d'investir les gains à 5%. Pour les ressources renouvelables telles que les forêts, le rendement annuel doit être au moins égal au taux d'intérêt du marché pour que les propriétaires privés pratiquent une gestion durable des ressources. Pour des taux inférieurs, les incitations économiques favorisent un abatage des arbres pour des gains monétaires immédiats. Cela revient de fait à traiter une ressource renouvelable comme si elle était une ressource épuisable et à en extraire tout ce que l'on peut le plus vite possible, comme on le ferait d'une mine.

La logique de l'actualisation impose un test terrible aux systèmes de ressources naturelles. A moins qu'elles puissent offrir un certain niveau de rendement, l'exploitation immédiate et inconsidérée l'emportera toujours sur une gestion patrimoniale respectueuse et durable. Si la plupart des systèmes écologiques et des ressources naturelles les plus importantes ne passent pas ce test, il en résulte un rush à la surexploitation de ces ressources qui s'avère désastreux pour l'avenir.

C'est ici que le concept de **durabilité forte** devient pertinent: comment peut-on faire confiance à un système fondé sur du capital manufacturé mais sur des ressources naturelles sérieusement dégradées et comment un tel système pourrait-il assurer les besoins du futur? Ne devrait-on pas imposer un principe de conservation des ressources beaucoup plus contraignant afin de garantir nos intérêts et ceux des générations futures?

Ceci n'est pas un débat philosophique portant sur un avenir lointain. Des ressources critiques pour notre civilisation, telles que le pétrole, pourraient être largement épuisées d'ici une quarantaine d'années ; durant cette période des forêts tropicales entières pourraient disparaître ; l'érosion des sols pourrait compromettre la fertilité de centaines de millions d'hectares de sols agricole en une génération. Mais l'application pure et dure du principe commercial d'actualisation pourrait rendre toutes ces destructions économiquement « rationnelles » et même – ce qui serait le comble ! – « optimales » !!!

---

<sup>13</sup> Le taux d'actualisation est utilisé pour donner la valeur actuelle de bénéfices ou de coûts futurs. Les calculs d'actualisation permettent de comparer des valeurs actuelles et à venir.

Norgaard et Howarth ont prévenu contre les dangers d'utiliser les taux d'actualisation basés sur le marché pour prendre des décisions de long-terme au sujet de l'utilisation des ressources. Ils recommandent d'utiliser un critère de durabilité afin de promouvoir l'**équité intergénérationnelle**.<sup>14</sup> Dans cette perspective, on a tort de décider de questions relatives à l'investissement et à la conservation de long-terme en appliquant un simple critère de maximisation des profits. Dans de tels cas, il est absolument nécessaire d'avoir recours à une décision prise par l'ensemble de la société sur son avenir.

### **Complexité, irréversibilité, et principe de précaution**

La recherche de la durabilité se justifie également en raison des deux phénomènes que sont la **complexité** et l'**irréversibilité** écologiques. Les systèmes écologiques actuels ont évolué au cours des siècles pour atteindre un équilibre impliquant les interactions de milliers d'espèces de plantes et d'animaux (le nombre total d'espèces vivantes demeure inconnu mais est de l'ordre de grandeur de plusieurs millions) ainsi que le délicat équilibre des relations physiques et chimiques dans l'atmosphère, les océans, les ressources d'eau douce et les écosystèmes terrestres.

L'exploitation extensive de ressources naturelles altère de manière permanente ces équilibres écologiques avec des effets qui ne sont pas entièrement prédictibles. Dans certains cas, la perturbation de ces équilibres amène des désastres – désertification, effondrement des chaînes alimentaires des océans, destruction de la couche d'ozone, pollution des aquifères, épidémies de super-pestes résistantes aux insecticides, entre autres. L'extinction des espèces est l'exemple même de dommages irréversibles, imposant des coûts économiques et écologiques inconnus pour l'avenir.

Les économistes écologiques mettent donc en exergue le **principe de précaution** – qui stipule que l'on doit chercher le minimum d'interférence possible avec le fonctionnement des systèmes naturels surtout lorsqu'on ne peut prédire les effets de long terme. Ce principe ne peut pas se traduire de manière simple en termes de calcul économique de la valeur et de l'usage d'une ressource. De tels calculs ne peuvent donc être d'une quelconque utilité que si on les place dans le contexte plus vaste des impératifs écologiques imposant des priorités qui doivent venir avant la logique de l'équilibre du marché.<sup>15</sup>

---

<sup>14</sup> Norgaard et Howarth, 1991; Howarth et Norgaard, 1993. Voir aussi Page, 1997, et Padilla, 2002.

<sup>15</sup> L'application du principe de précaution est présentée dans Tickner et Geiser, 2004.

## 5. ENERGIE ET ENTROPIE

Comme nous l'avons évoqué plus haut, l'économie écologique s'intéresse tout spécialement à l'énergie. Cela implique de considérer les lois de la physique afin de comprendre les moteurs et les obstacles fondamentaux sur les écosystèmes et sur les économies. La **première loi de la thermodynamique** stipule que la matière et l'énergie ne peuvent être ni créées ni détruites (bien que la matière puisse être transformée en énergie au travers des processus nucléaires). Ceci implique que tout processus physique peut être considéré comme une transformation de matière et d'énergie d'une forme à une autre. La **seconde loi de la thermodynamique** en dit plus sur la nature de cette transformation. Elle énonce que dans tout processus physique, l'énergie se dégrade d'un état ordonné (où l'énergie est utilisable) à un état désordonné (où elle est inutilisable).

La mesure formelle de ce processus s'appelle l'**entropie**. L'entropie est une mesure du degré de désordre de l'énergie dans un système (mesurant à quel point elle est inutilisable). Selon la seconde loi de la thermodynamique, l'entropie s'accroît au fur et à mesure que le processus se déroule – rendant l'énergie de plus en plus indisponible et de plus en plus inutilisable. Le concept d'entropie peut aussi s'appliquer pour des ressources autres que l'énergie. Une ressource facilement utilisable, par exemple du minerai à haute teneur en or, a une entropie basse. Un minerai à faible teneur a une entropie plus élevée. On peut l'exploiter mais seulement si on applique une plus grande quantité d'énergie pour le raffiner.

La meilleure façon de comprendre le concept d'entropie qui est assez obtus, est de l'illustrer par un exemple spécifique. Si l'on obtient de l'énergie en brûlant du charbon, dans son état original le charbon a une entropie basse – c'est-à-dire qu'il contient un grand potentiel d'énergie disponible. Une fois brûlé, le charbon a été transformé en cendres et en chaleur gaspillée. L'énergie ne peut plus être utilisée et le système a évolué vers un niveau de haute entropie.

Nicholas Georgescu-Roegen, un pionnier de l'économie écologique, a stipulé que cette loi de l'entropie devrait être considérée comme un des principes fondamentaux gouvernant l'économie.<sup>16</sup> Tout processus économique demande de l'énergie, et transforme l'énergie d'une forme utilisable à une forme inutilisable. On peut dire que tous les produits de l'activité économique contiennent de l'énergie intrinsèque.

Par exemple, une automobile "contient" toute l'énergie utilisée pour produire l'acier et le modeler dans la forme de la carrosserie, ainsi que l'énergie des ouvriers qui ont travaillé à l'assembler (ou l'énergie utilisée par les robots sur les chaînes de montage d'une usine). Cette automobile nécessitera également bien sûr de l'essence pour rouler. Mais il arrive un moment où toute cette énergie se transforme en une forme inutilisable. L'essence se dissipe en fumée polluante et en chaleur gaspillée. La voiture finit par être toute cabossée et devient elle-même un déchet. Au cours de ce processus, la voiture a bel et bien rendu un service en transportant ses utilisateurs, mais le résultat

---

<sup>16</sup> Georgescu-Roegen, 1980.

net en est la dégradation de l'énergie et des ressources utilisables en une forme qui ne l'est plus.

Si nous envisageons le processus économique selon cette perspective, deux éléments apparaissent de manière très claire. L'un est que le processus économique nécessite un flux continu d'énergie et de ressources utilisables (c'est-à-dire de faible entropie). L'autre est que ce processus produit un flux continu de déchets énergétiques et matériels (de haute entropie). Ainsi, les flux de ressources et d'énergie entrants et sortants du système économique constituent le moteur fondamental gouvernant la production.

Cette perspective est complètement différente de la théorie économique standard, dans laquelle les intrants travail et capital sont considérés comme les facteurs fondamentaux de la production. L'énergie et les ressources ne revêtent aucun statut particulier et sont même souvent purement et simplement ignorés dans l'équation. Leurs prix n'a pas de signification particulière par rapport au prix des autres intrants et les flux de déchets qui en proviennent, sont généralement définis comme des externalités au lieu d'être considérés comme un élément central de la réalité de la production.

L'approche standard fonctionne assez bien quand l'énergie et les ressources sont abondantes et bon marché et quand l'environnement absorbe facilement les déchets, pollutions et autres dommages écologiques. Mais au fur et à mesure que la demande en énergie et en ressources augmente, et que les déchets et pollution augmentent en parallèle, la perspective entropique émerge comme un éclairage essentiel dans la compréhension de la relation entre les systèmes économique et écologique.

## **Flux d'énergie et système de production économique**

Les systèmes écologiques existants se sont construits pour une capture la plus efficace possible du **flux d'énergie solaire**. Des millénaires d'évolution ont permis le développement de systèmes complexe et interdépendants de soutien à la vie sous toutes ses formes, qui tire son énergie des rayons du soleil. Le processus fondamental dans tous les écosystèmes est la photosynthèse, par laquelle les plantes vertes utilisent l'énergie du soleil pour produire les éléments organiques nécessaires à la vie. Toute la vie animale est complètement dépendante de la photosynthèse des plantes puisque les animaux n'ont pas la capacité d'utiliser l'énergie solaire directement.

Vue de la perspective de la loi de l'entropie, le processus économique est essentiellement une extension du processus biologique utilisant l'entropie faible afin de soutenir l'activité vitale, tout en augmentant en même temps l'entropie globale. Les systèmes industriels accroissent et accélèrent le taux d'augmentation de l'entropie. Les minéraux et les combustibles fossiles sont des réserves à faible entropie qui sont exploitées pour alimenter le processus industriel. L'agriculture intensive utilise la

ressource sol de la même manière et bénéficie de sa faible entropie. Tout le système industriel participe à l'accroissement de l'entropie de l'environnement en y rejetant des déchets de haute entropie.

Dans la théorie économique standard, il n'existe pas de limites inhérentes à la croissance. Mais la théorie de l'entropie implique qu'il existe bel et bien des limites et que le système économique doit opérer en étant sujet aux contraintes suivantes :

- La limitation des stocks de ressources à faible entropie, en particulier les réserves de combustibles fossiles et de minéraux à haute teneur en métaux;
- La limitation des capacités des sols et des systèmes biologiques à capturer l'énergie solaire pour produire des denrées alimentaires ainsi que d'autres ressources biologiques;
- La limitation des capacités des écosystèmes à absorber des déchets à haute entropie.

Dans certains cas, il peut être possible de contourner certaines contraintes. Par exemple, on peut accroître la productivité des sols par l'ajout d'engrais artificiels. Mais la loi de l'entropie, elle, est incontournable, puisque la production d'engrais est grande consommatrice d'énergie. On peut donc reculer les limites du système agricole en « empruntant » de l'entropie basse ailleurs, ce qui provoque une utilisation plus rapide des ressources énergétiques et donc génère plus rapidement des déchets et pollution, accroissant l'entropie générale. La seule source réellement « gratuite » d'entropie basse est l'énergie solaire. Mais même dans ce cas, il est généralement nécessaire d'utiliser des matériels et du travail coûteux pour capturer et utiliser l'énergie disponible.

On peut appliquer la perspective entropique à de nombreux secteurs de la production: le secteur énergétique lui-même, l'agriculture, le secteur minier, le secteur forestier, la pêche, ainsi que d'autres secteurs industriels. Cela donne une vision différente de la manière dont ces activités économiques opèrent. L'industrie minière par exemple, peut avoir une productivité accrue au cours du temps, mesurée en termes de produit par unité de travail ou de capital. Mais si on prête attention au produit par unité d'intrant énergétique, on peut observer un déclin de la productivité. En d'autres termes, il est nécessaire d'accroître la quantité d'énergie pour obtenir la même production, alors que la qualité du minerai extrait décline.

Dans ce cas, on substitue de l'énergie pour du travail et du capital, un choix économiquement avantageux, tant que l'énergie est bon marché. Cependant, cela veut dire que le système économique devient de plus en plus dépendant aux combustibles fossiles, qui procurent plus de 85% de l'énergie industrielle. Les problèmes de pollution associés aux combustibles fossiles seront également en augmentation.

L'analyse de l'économie écologique met donc l'accent sur la base physique de la production, en opposition avec l'approche standard qui ne considère que les coûts économiques de production. Si l'on se limite aux coûts économiques, même si l'on tente d'internaliser les coûts environnementaux et l'épuisement des ressources, on peut



passer à côté de la vision complète des impacts environnementaux de l'activité économique.

## **La modélisation des systèmes économique et écologique**

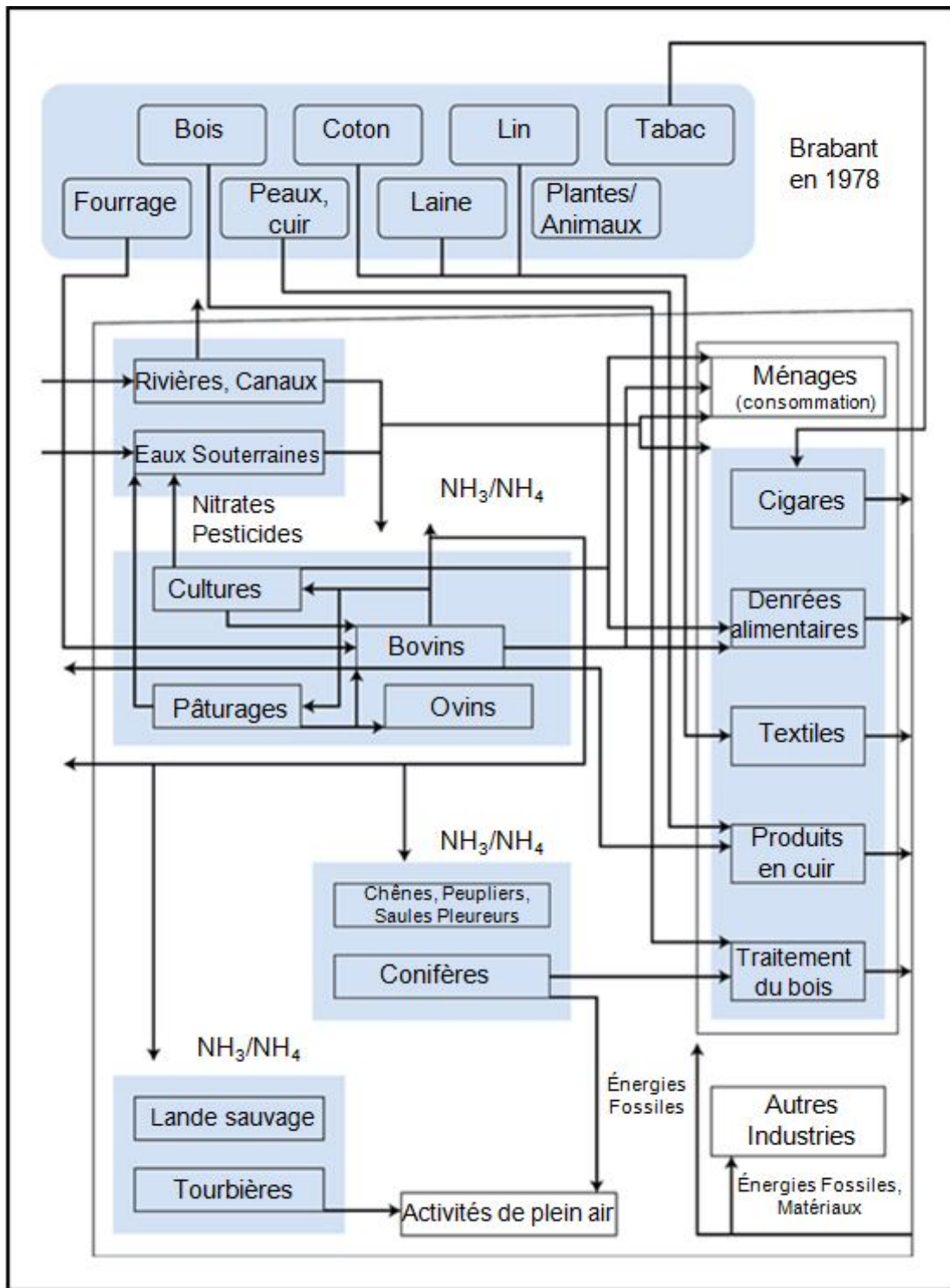
L'écologie économique a aussi exploré différentes techniques de modélisation des systèmes économique et écologique. Il est possible d'intégrer l'analyse de différents processus au sein de modèles complexes et de rendre compte de l'activité économique et écologique de manière plus complète et exhaustive. Une telle analyse intégrée est décrite dans la Figure 2. Cet exemple est une représentation schématique des flux économiques et écologiques pour la ville de Brabant aux Pays-Bas.

Les systèmes de ressources naturelles locales offrent des intrants aux fermes et aux industries de Brabant. D'autres intrants, y compris les combustibles fossiles, sont importés, et les produits de l'industrie sont exportés. La production agricole dans le Brabant, est destinée à la fois à la consommation locale et à l'exportation. L'industrie, l'agriculture, et la consommation domestique ont besoin de l'eau des systèmes d'aquifères locaux, qui souffrent des pollutions, des rejets de nitrates et de pesticides. Les forêts sont utilisées à usage récréatif ainsi que comme ressource pour les industries du bois et de ses dérivés. Les rejets et ruissellements de l'agriculture affectent aussi les forêts et les landes.

Un modèle de cette nature peut être utilisé pour obtenir une meilleure compréhension de la manière dont opèrent et interagissent la production économique, l'usage des terres et le changement écologique. Alors que certains des flux du système sont gouvernés par des règles économiques, d'autres sont régis par des cycles biophysiques. Le modèle cherche à capturer les interactions entre les deux systèmes ainsi que leurs changements au cours du temps.

Il existe des tensions entre les techniques de l'économie standard et les principes généraux de l'économie écologique. Avant de couvrir des sujets spécifiques, nous examinerons certaines des techniques analytiques développées par les économistes écologiques.

Un des points capitaux est de rajouter une dimension environnementale au produit économique ou Produit Intérieur Brut (PIB) ou même de remplacer le PIB par une mesure plus inclusive du bien-être humain et de la santé des écosystèmes.



**FIGURE 2. MODELE ECONOMIQUE-ECOLOGIQUE DU BRABANT, PAYS-BAS**

Source: Braat et Steetskamp, 1991, p.283. Adapté de *Ecological Economics: The Science and Management of Sustainability*, édité par Robert Costanza, Columbia University Press, 1991. Réimprimé avec la permission de l'éditeur.

## RÉSUMÉ

L'Économie écologique adopte une approche différente de l'analyse de l'économie environnementale standard basée sur le marché. Elle met l'accent sur la dépendance de l'économie humaine aux écosystèmes naturels, et sur l'importance du concept de capital naturel. Alors que l'économie standard s'intéresse à l'accumulation et à la productivité du capital manufacturé, l'économie écologique donne pour priorité le maintien des systèmes de capital naturel qui sous-tendent la vie et l'activité économique. Le capital naturel comprend toutes les ressources naturelles, les océans, l'atmosphère, et les écosystèmes de la planète. Tout cela doit être comptabilisé et devrait être géré selon les principes de la durabilité écologique, afin que les fonctions écologiques de ces systèmes ne soient pas dégradées au cours du temps.

Dans cette perspective, les systèmes économiques ne peuvent pas croître sans limite, mais doivent atteindre une échelle durable pour l'activité économique à un niveau où les écosystèmes de la planète ne sont pas sujets à un stress qui les menace. De nombreux indicateurs montrent que l'activité économique actuelle a atteint des niveaux qui excèdent ces limites. Une de ces mesures est la proportion de l'énergie de la photosynthèse qui est appropriée pour l'usage humain, et qui s'élève à environ 40% de toute la photosynthèse terrestre. Une croissance supplémentaire de la demande de l'humanité laisserait bien peu de place pour les autres systèmes vivants sur Terre.

Le concept de durabilité, bien qu'il soit important pour la gestion du capital naturel, est difficile à définir. Une définition « faible » repose sur la possibilité de remplacer les fonctions des écosystèmes naturels par des substituts manufacturés. Une définition « forte » fait l'hypothèse que les humains n'ont qu'une capacité limitée pour remplacer les fonctions des systèmes naturels et qu'une société durable doit donc maintenir en l'état ses systèmes naturels sans épuisement ou dégradation significatives.

La durabilité de long-terme implique d'effectuer l'actualisation de l'avenir, et la question de notre responsabilité vis-à-vis des générations futures. Les incitations économiques et les systèmes de droits de propriété affectent les prises de décision concernant l'usage des ressources, ainsi que les politiques publiques sur la gestion des ressources. Le principe de précaution doit s'appliquer quand il y a des effets irréversibles pouvant résulter de dommages subis par des écosystèmes complexes. La conservation des ressources pour les générations futures requiert une décision relevant d'un arbitrage social et non seulement d'un calcul économique.

La priorité donnée à l'énergie dans un système économique met l'accent sur le principe d'entropie: l'énergie disponible est limitée et son usage gouverne tous les processus physiques y compris les systèmes écologique et économique. Ceci confère une importance spéciale à l'usage de l'énergie solaire, et aux limites de l'énergie fossile. En général, une analyse entropique montre les limites de l'activité économique et le prix écologique à payer quand on va au-delà de ces limites.

Les principes de l'économie écologique et de l'économie standard sont tous deux pertinents pour traiter des questions de gestion des ressources. Parfois, ces principes entrent en contradiction mais il est important de comprendre comment on peut au mieux appliquer ces deux types de principes de manière spécifique aux questions de ressources et d'environnement, autant que pour la mesure du produit économique, du bien-être humain, et de la santé des écosystèmes.

## MOTS-CLÉS ET CONCEPTS

Actualisation de l'avenir	Équité intergénérationnelle
Capacité d'absorption de l'environnement	Énergie intrinsèque
Capital naturel	Entropie
Complémentarité	Flux solaire
Complexité écologique	Investissement et désinvestissement nets
Comptabilité physique	Irréversibilité
Comptes satellites	Première et seconde lois de la thermodynamique
Découplage	Principe de précaution
Dégradation environnementale	Produit primaire net de la photosynthèse (net primary product of photosynthesis - NPP)
Dématérialisation	Rendement durable
Déplétion des ressources	Substituabilité des ressources
Dépréciation du capital	Système fermé
Dépréciation du capital naturel	Système ouvert
Durabilité (soutenabilité) forte et faible	Throughput (flux énergie-matière traversant le système économique)
Durabilité du capital naturel	
Échelle macroéconomique optimale	
Économie écologique	
Économie du monde vide et économie du monde plein	

## DÉFINITIONS

Actualisation de l'avenir : Donner aux bénéfices ou aux coûts qui surviendront dans l'avenir une valeur actuelle (par cette opération d'actualisation, les valeurs actuelles sont beaucoup plus faibles que les valeurs futures)

Capacité d'absorption de l'environnement : la capacité de l'environnement à absorber et à filtrer les déchets polluants

Capital naturel : la dotation naturelle disponible en terres et ressources telles que l'air, l'eau, les sols, les forêts, les minéraux, les espèces vivantes, et les systèmes écologiques supportant toute vie

Complémentarité : la propriété qui lie deux produits devant être utilisés ensemble soit en phase de production soit en phase de consommation, par exemple les automobiles et l'essence

Complexité écologique : la présence de plusieurs éléments vivants et non-vivants dans un écosystème, qui interagissent selon des processus complexes ; la complexité écologique implique que les impacts des actions humaines sur les écosystèmes puissent être imprévisibles

Comptabilité physique : en supplément aux Comptes Nationaux standard, la comptabilité physique donne des estimations des stocks de capital naturel et des services offerts par la nature, en termes physiques et non en termes économiques et monétaires.

Comptes satellites : comptes qui donnent une estimation de l'offre de capital naturel en termes physiques et non en termes monétaires ; ces comptes sont utilisée en complément de la comptabilité nationale standard

Dégradation environnementale : perte de ressources, fonctions, et qualité environnementales, généralement à la suite d'activités économiques

Dématérialisation : le processus qui consiste à obtenir un certain objectif économique tout en réduisant l'usage de matériaux physiques, par exemple la production de cannette d'aluminium avec moins de métal

Déplétion des ressources : un déclin du stock d'une ressource renouvelable due à l'exploitation par l'homme

Dépréciation du capital : la soustraction opérée dans les comptabilités nationales pour tenir compte l'amortissement du capital au cours du temps (et la nécessité de l'entretenir et de le remplacer)

Dépréciation du capital naturel : la soustraction opérée dans les comptabilités nationales pour tenir compte de la perte de capital naturel, telle que la réduction des habitats des espèces sauvages, la réduction des ressources en bois, et des ressources minières.

Durabilité (soutenabilité) forte : le principe selon lequel le capital manufacturé ne peut pas se substituer au capital naturel (ou ne le peut que dans une très faible mesure) ce qui implique donc que les niveaux de capital naturel doivent être maintenus au cours du temps

Durabilité (soutenabilité) faible : le principe selon lequel la dépréciation du capital naturel peut se justifier du moment qu'elle est compensée par des accroissements de capital manufacturé e substituant à elle ; cette hypothèse suppose que le capital manufacturé peut se substituer dans une large mesure au capital naturel

Durabilité du capital naturel : la conservation de capital naturel par la limitation des taux de déplétion et l'investissement dans le renouvellement des ressources

Échelle macroéconomique optimale : la conception qu'il existe une échelle macroéconomique maximale au-delà de laquelle la poursuite de la croissance économique aboutit à une baisse du bien-être et à des dégradations des ressources et de l'environnement

Économie écologique : Une perspective de l'économie qui envisage le système économique comme un sous-système des écosystèmes naturels d'échelle plus large, et qui est sujet aux lois biophysiques.

Économie du monde vide et économie du monde plein : la conception selon laquelle la façon dont l'économie envisage les questions écologiques doit entièrement changer selon que la taille de l'économie par rapport aux écosystèmes qui la contiennent est relativement petite (économie de monde vide) ou est relativement grande (économie de monde plein)

Équité intergénérationnelle : la distribution des ressources, y compris le capital manufacturé et le capital naturel, au travers des générations

Énergie intrinsèque : l'énergie totale requise pour la production d'un bien ou service, qui inclut à la fois les usages directs et indirects d'énergie

Entropie : la mesure de l'énergie indisponible dans un système ; selon la seconde loi de la thermodynamique, l'entropie s'accroît toujours dans tous les processus physiques

Flux solaire : le flux continu d'énergie solaire sur la Terre

Investissement et désinvestissement nets : le processus d'ajout ou de retrait de capital productif au cours du temps ; la valeur nette est calculée en soustrayant la dépréciation de la valeur brute.

Irréversibilité : le principe selon lequel certains impacts humains sur l'environnement peuvent causer des dommages qui sont irréparables, tels que la disparition d'espèces

Première et seconde lois de la thermodynamique : lois physiques qui stipulent que la matière et l'énergie ne peuvent pas être détruites mais seulement transformées (première loi) et que tout processus physique conduit à une décroissance de l'énergie disponible (c'est-à-dire à un accroissement d'entropie)

Principe de précaution : le principe selon lequel les politiques doivent prendre en compte l'incertitude dans leurs prises de décision afin d'éviter que se produisent des événements dont la probabilité est faible mais qui s'avèreraient catastrophiques.

Produit primaire net de la photosynthèse (« net primary product of photosynthesis » - NPP) : l'énergie de la biomasse directement produite par la photosynthèse

Rendement durable : un rendement ou niveau de récolte (ou de prélèvement d'espèce, la pêche par exemple) qui peut être maintenu sans diminuer le stock ou la population de la ressource

Substituabilité des ressources : l'utilisation d'une ressource dans un processus de production, comme substitut à une autre ressource, par exemple l'utilisation de l'aluminium à la place du cuivre, dans les fils électriques

Système fermé : un système qui n'échange pas d'énergie ou de ressources avec d'autres systèmes ; l'écosystème planétaire reçoit de l'énergie solaire du soleil et rejette de la chaleur dans l'univers, mais peut être considéré comme un système fermé en termes de ressources matérielles vivantes et non vivantes

Système ouvert : un système qui échange de l'énergie et des ressources naturelles avec d'autres systèmes. Tout système vivant est ouvert par définition. Le système économique est aussi un système ouvert puisqu'il reçoit de l'énergie et des ressources naturelles des écosystèmes et y rejette des déchets et pollutions

Throughput : la quantité totale d'énergie et de matériaux qui traverse tout processus économique soit comme intrant (input) soit comme produit (output)

## QUESTIONS ET DISCUSSIONS

1. Dans quelle mesure le "capital naturel" est-il semblable au capital manufacture et dans quelle mesure en diffère-t-il? On parle souvent de "retour sur investissement" ce qui veut dire le flux de revenus générés par un investissement en capital. Peut-on parler d'un retour sur investissement pour le capital naturel ? Quels seraient des exemples d'investissements en capital naturel ? Quelles motivations peuvent pousser à de tels investissements et qui en serait le maître d'œuvre? Quelles populations seraient les premières à souffrir si de tels investissements ne sont pas effectués à temps ou si des « désinvestissements » ont lieu à cause de la déplétion de ressources et de la dégradation environnementale ?
2. En quoi le concept d'échelle optimale d'une économie est-il utile? Comment peut-on le déterminer ? Pensez-vous que les économies des Etats-Unis, de l'Europe, et du Japon ont atteint l'échelle optimale ? l'ont dépassée ? Qu'en est-il des économies d'Amérique Latine ? d'Asie ? d'Afrique ? Comment pouvez-vous lier les concepts d'échelle optimale dans l'économie mondiale à celui de croissance économique dans les économies nationales à différent niveaux de développement ?
3. Donnez les différences entre les concepts de forte et faible soutenabilité, et donnez-en quelques exemples pratiques dans leur application, autres que ceux cités dans le texte. Où et dans quel contexte chaque concept peut-il être le plus approprié ? Quelles mesures de politiques économiques peuvent-elles être pertinentes pour atteindre la durabilité ?

## REFERENCES

Braat, Leon C., and Ineke Steetskamp, 1991. "Ecological Economic Analysis for Regional Sustainable Development," Chapter 18 in Robert Costanza, ed., *Ecological Economics*. New York: Columbia University Press.

Costanza, Robert, John Cumberland, Herman Daly, Robert Goodland, and Richard Norgaard eds., 2012. *An Introduction to Ecological Economics, 2<sup>nd</sup> Ed.* Boca Raton, Florida: CRC Press.

Daly, Herman E., 2007. *Ecological Economics and Sustainable Development: Selected Essays of Herman Daly*. Cheltenham, UK and Northampton, MA: Edward Elgar Publishing.



Daly, Herman E., 1996. *Beyond Growth: The Economics of Sustainable Development*. Cheltenham, UK and Northampton, MA: Edward Elgar Publishing.

Georgescu-Roegen, Nicholas, 1993. "The Entropy Law and the Economic Problem," in Herman E. Daly ed., *Valuing the Earth: Economics, Ecology, Ethics*. Cambridge, MA: MIT Press.

Goodland, Robert, Herman Daly, and Salah El-Serafy, eds., 1992. *Population, Technology, and Lifestyle: The Transition to Sustainability*. United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization (UNESCO).

Harris, Jonathan M., Timothy A. Wise, Kevin P. Gallagher, and Neva R. Goodwin eds., 2001. *A Survey of Sustainable Development: Social and Economic Dimensions*. Washington, D.C.: Island Press.

Harris, Jonathan M. and Neva R. Goodwin, 2003. "Reconciling Growth and Environment," in Jonathan M. Harris and Neva R. Goodwin, eds., *New Thinking in Macroeconomics*. Cheltenham, U.K.: Edward Elgar Publishing.

Hicks, Sir John R., 1939. *Value and Capital*. Oxford: Oxford University Press.

Krishnan, Rajaram, Jonathan M. Harris and Neva R. Goodwin eds., 1995. *A Survey of Ecological Economics*. Washington, D.C.: Island Press.

Martinez-Alier, Joan and Inge Røpke, 2008. *Recent Developments in Ecological Economics*. Cheltenham, UK and Northampton, MA: Edward Elgar Publishing.

Meadows, Donella et al., 2002. *Limits to Growth: The Thirty Year Update*. Vermont: Chelsea Green Publishing Co.

Millennium Ecosystem Assessment, 2005. *Ecosystems and Human Well-Being: Synthesis and Volume 1: Current State and Trends*. Washington, D.C.: Island Press.

Neumayer, Eric, 2003. *Weak versus Strong Sustainability: Exploring the Limits of Two Opposing Paradigms*. Cheltenham, U.K.: Edward Elgar Publishing.

Norgaard, Richard B., 1989. "The Case for Methodological Pluralism." *Ecological Economics* 1 (February): 37-57.

Norgaard, Richard B. and Richard B. Howarth, 1991. "Sustainability and Discounting the Future," Chapter 7 in Robert Costanza, ed., *Ecological Economics*. New York: Columbia University Press.

Padilla, Emilio, 2002. "Intergenerational Equity and Sustainability." *Ecological Economics* 41 (April): 69-83.

Page, Talbot, 1997. "On the Problem of Achieving Efficiency and Equity, Intergenerationally." *Land Economics* **73**, (November): 580-596. Also summarized in Harris et al., op. cit.

Tickner, Joel A. and Ken Geiser, 2004. "The Precautionary Principle Stimulus for Solutions- and Alternatives-based Environmental Policy." *Environmental Impact Assessment Review* **24**: 801-824.

Randers, Jorgen, 2012. 2052: A Global Forecast for the Next Forty Years. Vermont: Chelsea Green Publishing Co.

Ricardo, David, 1951. "On the Principles of Political Economy and Taxation," in *The Works and Correspondence of David Ricardo*, Piero Sraffa ed. Cambridge, England: Cambridge University Press.

Vitousek, P.M., P.R. Ehrlich, A.H. Ehrlich, and P.A. Matson, 1986. "Human Appropriation of the Products of Photosynthesis." *BioScience* **36** (6): 368-73.

## WEB SITES

1. <http://www.ecoeco.org/> Website for the International Society for Ecological Economics, "dedicated to advancing understanding of the relationships among ecological, social, and economic systems for the mutual well-being of nature and people." Their site includes links to research and educational opportunities in ecological economics.
2. <http://www.uvm.edu/giee/> Website for the Gund Institute for Ecological Economics at the University of Vermont, which "transcends traditional disciplinary boundaries in order to address the complex interrelationships between ecological and economic systems in a broad and comprehensive way." The Gund Institute sponsors the EcoValue project, which "provides an interactive decision support system for assessing and reporting the economic value of ecosystem goods and services in geographic context."
3. <http://www.biotech-info.net/precautionary.html> Information provided by the Science and Environmental Health Network (SEHN), which promotes the precautionary principle as it relates to biotechnology and food engineering. Includes articles on definitions and applications of the precautionary principle.