



HAL
open science

Comment construire des savoirs transversaux face à l'excès d'économie ?

Arnaud Diemer

► **To cite this version:**

Arnaud Diemer. Comment construire des savoirs transversaux face à l'excès d'économie ?. Colloque International "Education au développement durable et à la biodiversité : concepts, questions vives, outils et pratiques", Digne les Bains, 2010, Oct 2010, Digne Les Bains, France. pp.137-178. halshs-00957874

HAL Id: halshs-00957874

<https://shs.hal.science/halshs-00957874>

Submitted on 21 Jul 2014

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Comment construire des savoirs transversaux face à l'excès d'économie ?

Arnaud DIEMER

(Université Blaise Pascal, IUFM Auvergne, PHARE, Paris I, PAEDI, Clermont-Ferrand)

Résumé:

En l'espace de quelques années, le développement durable s'est immiscé au rang de concept. Dans le vocabulaire scientifique, cela signifie qu'il peut faire l'objet d'un programme de recherche visant à déceler son origine, sa nature, ses lois (grands principes) et ses conséquences. Cet effort de synthèse scientifique nous pousse aujourd'hui à réfléchir sur la pertinence et les modalités d'une éducation au développement durable. En d'autres termes, nous devons faire émerger des savoirs transversaux dans les trois sphères (environnementale, sociale, économique) du développement durable. Cette quête ne sera possible que si l'écologie parvient à absorber l'économie, et si cette dernière redevient une science sociale. En effet, en cherchant à s'émanciper des forces de la nature, l'économie s'est forgée des règles (optimisation) et des outils (marchés) qui n'ont rien à voir avec les modalités d'ajustement de la biosphère et la sociosphère.

Abstract :

Since few years, sustainable development has obtained the statut of concept. In the scientific vocabulary, it means that there's a research program to identify its origin, nature, laws (principles) and consequences. Today that scientific synthesis drives us to think about the relevance and modalities of education for sustainable development. In other words, we must bring out transversal knowledge in three areas of sustainable development (environmental, social, economics). This quest is only possible if ecology is able to absorb the economy, and if it becomes a social science. Indeed, seeking to emancipate itself from the forces of nature, the economy has built rules (optimization's program) and tools (markets) that have nothing to concern with the adjustment procedures of the biosphere and the sociosphere.

Alpe Y., Girault Y., (2011)

Actes du Colloque « Education au développement durable et à la biodiversité »

IUT de Provence, Digne les Bains.

Publication électronique du Réseau Francophone International de la recherche en Education relative à l'environnement.

Université du Québec à Montréal, www.refere.uqam.ca

Le succès remporté par l'expression « développement durable », chère au rapport Brundtland (1987), montre à quel point la question des conditions de la vie sur terre est devenue une préoccupation partagée par un nombre de plus en plus important de personnes (Azam, & Pouchol, 2009). Le triptyque (économie, social, environnement) inséré dans un cadre spatio-temporel, permet aujourd'hui de donner un sens à la fois scientifique, pratique et pédagogique au développement durable. Cela étant, il soulève dans le même temps la question des excès de l'économie, c'est-à-dire de la place prise par l'économie au détriment du social et de l'environnement. Cette contribution nous invite à jeter un regard critique sur la façon dont les économistes appréhendent la question de l'environnement et sur les modalités d'une culture transversale du développement durable. Nous montrerons dans un premier temps comment les économistes se sont emparés de la question environnementale. En cherchant à s'émanciper des forces de la nature et de la sphère sociale, la sphère économique s'est construite sur un ensemble de conventions artificielles (monnaie, prix, marché...) qui laissent peu de place à l'environnement. Le développement durable est notamment discuté dans le cadre des théories de la croissance et du développement. Une approche peu propice aux échanges interdisciplinaires. Dans un deuxième temps, nous verrons que cette émancipation de la science économique a engendré des zones de conflit avec les sciences du vivant. Le cadre spatio-temporel, la méthode (réductionnisme vs globalisme) et la logique flux- stocks préciseront la nature et les conséquences de ces contradictions. Dans un troisième temps, nous chercherons à poser les bases d'un socle de savoirs communs. Pour que les trois piliers du développement durable constituent un réel socle de connaissances, il est nécessaire de mettre sur pied une Education au Développement Durable (EDD) qui ne soit pas le reflet de considérations purement économiques (l'économiste s'appuie sur une certaine culture scientifique qu'il revendique et non pas sur un véritable débat d'idées), mais d'un ré-encastrement de l'écosphère dans la sociosphère et la biosphère.

L'émancipation de l'économie vis-à-vis des forces de la nature

Il est toujours difficile de reconstruire a posteriori, l'histoire d'une discipline, qui plus est, lorsque celle-ci s'intéresse à un grand nombre de faits. La science économique est une science jeune, elle n'acquiert ses lettres de noblesse qu'au 18^{ème} siècle avec l'Ecole Physiocratique.

Le *Tableau Economique* de Quesnay (1758), qui fonde cette école, pose l'agriculture comme activité dominante (le produit net de la terre est un résultat physique de la fertilité du sol). L'image de l'économie qui ressort de cette approche, est celle d'une activité soumise aux forces de la nature. Les hommes réunis en société sont assujettis à des lois naturelles et des lois positives. Les lois naturelles sont des lois souveraines instituées par l'Être Suprême. Elles déterminent irrévocablement quels usages les hommes doivent faire de leurs facultés pour parvenir à satisfaire leurs besoins. Dupont de Nemours ajoute qu'elles sont « *les conditions essentielles selon lesquelles tout s'exécute dans l'ordre institué par l'Auteur de la Nature* » (Dupont de Nemours, 1768, p. xiiij). Les lois naturelles sont physiques ou morales. La loi physique renvoie au « *cours réglé de tout évènement physique de l'ordre naturel évidemment le plus avantageux au genre humain* » (Quesnay, 1765, p. 375) alors que la loi morale fait référence à la « *règle de toute action humaine de l'ordre moral conforme à l'ordre physique évidemment le plus avantageux au genre humain* » (ibid). Le respect de l'ordre naturel et des lois naturelles conditionne la survie de la société. La reproduction de la sphère économique ne se dissocie pas de celle du milieu naturel, elle s'inspire même de la vision globale de la biologie. Turgot (1766) apparente la circulation de la richesse à la circulation du sang dans le corps humain.

Les débuts de l'ère de l'industrialisation (textile, métallurgie...) et la vague d'innovations techniques (machine à vapeur, ampoule...) vont cependant modifier cette vision tout au long du XIX siècle. Un écosystème créé par les mains de l'homme voit le jour, à côté de l'écosystème naturel. Ce système industriel (machines) possède sa logique propre et ses propres valeurs. La *Richesse des Nations* d'Adam Smith (1776) marque le début de cette nouvelle ère. Les vertus du libéralisme (intérêt individuel) sont contenues dans la valeur travail (commandé chez Smith, incorporé chez Ricardo) et les forces du marché (retour à l'équilibre). Si le travail fournit tous les biens nécessaires à la vie, la reproduction du système repose sur l'accumulation du capital. Mais pas n'importe quel capital, seul le capital productif est digne d'être amorti et renouvelé. Le capital naturel est en revanche un bien gratuit. Utile mais abondant, il ne rentre pas dans le champ de l'économie politique, faute de prix de marché (donc de valeur). La sphère marchande permet une émancipation de l'espèce humaine vis-à-vis des forces de la nature mais également des forces sociales. En Angleterre, Malthus et Ricardo mobilisent les enseignements de l'économie politique pour répondre aux questions sociales, notamment celui de la pauvreté. Ils engageront un combat acharné contre les lois sur les pauvres, accusées d'accentuer la pression démographique, de nuire à l'efficacité

économique et de remettre en cause les valeurs morales de la société anglaise. Le marché et sa loi de l'offre et la demande sont au centre de ce combat, l'abrogation de la loi sur les pauvres doit ouvrir les portes du marché et de la flexibilité des salaires.

Malgré les valeurs libérales préconisées par les économistes anglais (Ricardo, Malthus...) et français (Say, Bastiat), la misère ouvrière sévit dans la plupart des activités productives (mines, métallurgie...). Les conditions de travail et le chômage attisent la contestation socialiste. Cette dernière s'appuie sur les figures de Sismondi, Proudhon, Marx, Engels... Le système capitaliste exploite le travailleur, loin d'assurer sa reproduction, il l'enferme dans des conditions de pauvreté et de survie inhumaines. Loin de limiter leurs critiques à la sphère sociale, Marx et Engels ont conscience des exactions commises par le système capitaliste sur le milieu naturel. La correspondance qu'ils entretiennent dans les années 1860, évoque la destruction irrémédiable du capital naturel : « *La production capitaliste perturbe le courant de circulation de la matière entre l'homme et le sol, c'est-à-dire qu'elle empêche le retour au sol de ces éléments que l'homme consomme afin de se nourrir et de se vêtir ; en conséquence, elle fait violence au conditionnement nécessaire à une durable fertilité des sols... En outre, chaque progrès de l'agriculture capitaliste représente un progrès, non seulement dans l'art de dépouiller le travailleur, mais dans celui d'appauvrir la terre ; toute amélioration temporaire de la fertilité des sols rapproche des conditions d'une ruine définitive des sources de cette fertilité* » (Marx, lettre du 13 février 1866). Néanmoins, nos deux auteurs vont choisir de s'attaquer aux contradictions internes du système capitaliste (concurrence entre capitalistes, baisse de la plus value, pression sur le salaire minimum de subsistance) à partir des schémas de la reproduction simple ou élargie, plutôt que d'intégrer le capital naturel dans leurs réflexions.

Face à cette contestation socialiste, l'économie libérale va chercher à dépasser ses contradictions (et notamment celles héritées du laisser-faire, laissez-passer) en montrant qu'il existe une économie pure dont les lois générales et universelles s'imposeraient à tous, quelle que soit la diversité des systèmes. En cette fin de XIX siècle (1871 – 1874), la science économique prend ses quartiers de résidence à Londres avec Stanley Jevons, à Vienne avec Karl Menger et à Lausanne avec Léon Walras. La nouvelle doctrine s'appuie sur une théorie de la valeur basée sur l'utilité et la rareté. La sphère productive doit désormais se tourner vers la satisfaction des besoins humains. La valeur renvoie à un prix de réservation que le consommateur est prêt à offrir pour obtenir le bien désiré. Cette nouvelle approche ne se contente pas de modifier les anciennes valeurs du libéralisme, elle engage également

l'économie dans une voie plus scientifique et plus radicale. Les prix sont effectivement définis sur un marché (confrontation de l'offre et la demande) laissé au jeu de la libre concurrence. Le modèle devient a – temporel (équilibre statique) et les phénomènes y sont désormais réversibles. Ses références, ils les puisent non plus dans la biologie, mais dans la mécanique rationnelle (celle de Newton et Poincaré) et les mathématiques. Partant d'un certain nombre d'hypothèses de comportement (homo oeconomicus, rationalité, concurrence pure et parfaite), les économistes finissent par construire un univers conventionnel qui n'a plus rien à voir avec le réel. L'idéal type est posé comme une norme destinée à guider l'action.

Au final, tous les phénomènes hors marché (la nature en fait partie) sont explicitement évacués de la science économique, « *l'économie débouche sur la simple contemplation de ses équilibres internes, abstraction explicitement faite de tout ce qui concerne le vivant* » (Passet, 1992, p. 37). La rupture est ainsi totale, le système trouve sa justification dans la logique des choses mortes (marchandises, les fameux « goods », marché, profit) et non plus dans la nature et l'humanité. Les lois économiques s'opposent à celles du vivant, **l'économie entre en conflit avec le vivant.**

Malgré le passage de la crise de 1929 et la parution de l'ouvrage de John Maynard Keynes, *Théorie générale de l'emploi, de l'intérêt de la monnaie* (1936), l'économie libérale va renaître de ses cendres dès la seconde moitié du XX^e siècle. S'appuyant sur la déduction logique (celle des mathématiques), elle entend renouveler les bases de la microéconomie (théorie du producteur et du consommateur) à partir d'un raffinement de ses hypothèses (fonction de production Cobb-Douglass à facteurs substituables [le travail et le capital], contrainte temporelle dans la fonction de consommation, asymétrie d'informations...). Et le facteur naturel dans tout cela. A la suite des travaux d'Hotelling (1913), de Pigou (1920) et de Coase (1961), l'environnement fait l'objet d'un double traitement.

- Dans le cas où l'environnement prend les traits d'une ressource non renouvelable (matière première), il est possible de lui appliquer les règles de l'optimisation inter temporelle. Ce qui revient à résoudre le problème suivant : il convient de maximiser le profit attendu d'une mine (bénéfices futurs) en jouant sur le taux d'extraction. En fonction de la structure de marché, concurrence, de monopole ou d'oligopole, le prix de marché sera plus ou moins élevé, le taux d'extraction sera plus ou moins important et l'épuisement des stocks plus ou moins rapide.

- Dans le cas où l'environnement prend les traits d'un bien public (utile mais abondant, donc sans valeur, exemple de l'air que l'on respire) et que l'activité économique est susceptible d'engendrer des effets externes négatifs (pollution, déchets...), il convient d'internaliser les effets externes afin que le coût privé ne soit pas supporté par la collectivité. Au titre des remèdes proposés par les économistes, les taxes fixées par l'Etat (principe du pollueur – payeur de Pigou) ou la création de marchés de droits à polluer (définition des droits de propriété) constituent les outils indispensables pour intégrer la question environnementale dans les modèles économiques.

Autrement dit, la foi dans les mécanismes du marché s'est renforcée avec le temps au point de constituer le principal cadre de référence des économistes (le marché n'est plus un outil, mais bien la représentation économique de nos échanges de promesses, celles d'acheter et de vendre des marchandises dont la valeur est libellée en monnaie).

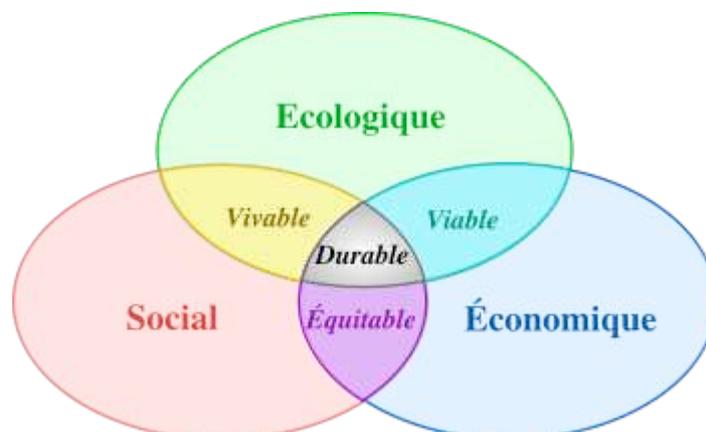
Un évènement aurait pourtant pu faire pencher la balance vers les sciences du vivant. En août 1970, le Club de Rome a demandé au Groupe d'étude de dynamique des systèmes du MIT d'entreprendre l'étude des tendances d'un certain nombre de facteurs qui déréglaient la société. Ce groupe a cherché à définir les limites matérielles qui s'opposaient à la multiplication des hommes et les contraintes résultant de leurs activités sur la planète. La problématique des auteurs du rapport Meadows (1972), au titre évocateur « *Halte à la croissance* » fut ainsi définie de la manière suivante : « *Dans ce contexte, partout les hommes sont confrontés à des théories de problèmes étrangement irréductibles et tout aussi insaisissables : détérioration de l'environnement, crise des institutions, bureaucratie, extension incontrôlable des villes, insécurité de l'emploi, aliénation de la jeunesse, refus de plus en plus fréquent des systèmes de valeurs reconnus par nos sociétés, inflation et autres dérèglements monétaires et économiques... Ces problèmes en apparence différents ont en commun, trois caractéristiques. Premièrement, ils s'étendent à toute la planète et y apparaissent à partir d'un certain seuil de développement quels que soient les systèmes sociaux ou politiques dominants. Deuxièmement, ils sont complexes et varient en fonction d'éléments techniques, sociaux, économiques et politiques. Finalement, ils agissent fortement les uns sur les autres et cela d'une manière que nous ne comprenons pas encore* » (1972, p. 139). Afin d'obtenir une évaluation générale de la situation du monde, le groupe du MIT a choisi une méthode analytique spécifique, mise au point par Forrester (1971), **la dynamique des systèmes**. Cette méthode devait mettre en évidence « *les nombreuses relations entre éléments, formant des boucles avec couplage, et pour certaines à effets décalés dans le*

temps » (1972, p. 153). Une boucle positive génère un effet d'amplification. Tout accroissement donné à l'un des éléments de la boucle amorce une suite logique de modifications dont le résultat final se traduit par une augmentation encore plus grande de l'élément de départ (la hausse de la natalité entraîne une augmentation de la population). Une boucle négative a un rôle régulateur. Elle vise à maintenir à un niveau constant une fonction qui tend à croître ou à décroître. Elle agit donc en sens inverse de la variation de la fonction (la hausse de la mortalité parvient à stabiliser une démographie galopante). A travers cette approche, le MIT souhaitait préciser dans un contexte mondial les interdépendances et les interactions de 5 facteurs critiques : explosion démographique, production alimentaire, industrialisation, épuisement des ressources naturelles et pollution. Pour les auteurs du rapport, le système global tendait inéluctablement vers une surchauffe suivie d'un effondrement. La cause de cet effondrement est la disparition de matières premières. A partir du moment où les investissements nécessaires pour maintenir un certain niveau de production ne peuvent plus compenser la dépréciation du capital, tout le système de la production industrielle s'effondre et entraîne l'effondrement des activités agricoles et des services dépendant de la production industrielle. Le système s'effondre donc suite à une pénurie de matières premières. Mais qu'advierait-il si le stock des matières premières avait été sous-évalué ? Les auteurs du rapport sont formels : c'est le niveau de la pollution qui serait la cause essentielle de l'arrêt de la croissance. Le taux de mortalité monte rapidement sous l'action conjointe des polluants et du manque de nourriture.

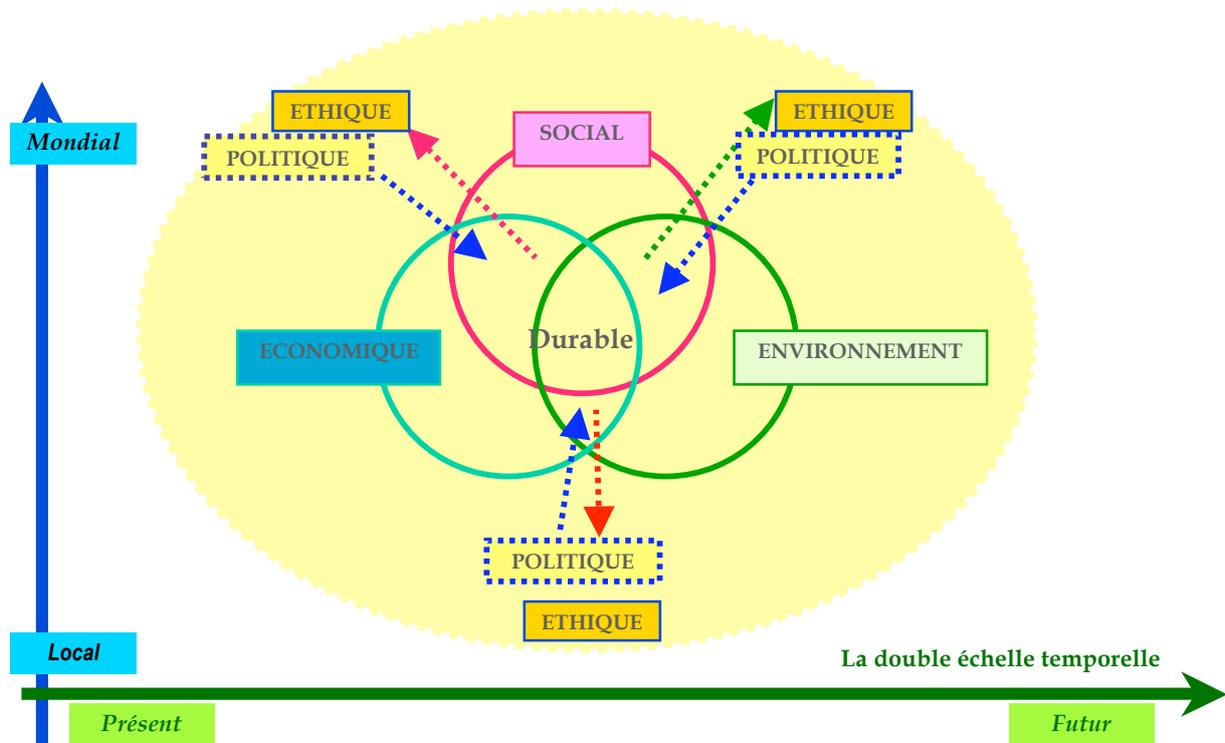
Ce scénario catastrophique conjugué au premier choc pétrolier (1973-1974) aurait normalement dû amener les économistes à réviser leurs modèles et leurs théories de manière à replacer la dimension environnementale au centre de leur vision du monde. Or face à la logique explosive du rapport Meadows, une partie des économistes opposèrent la prétendue vertu stabilisatrice des lois de l'offre et la demande. L'article de Robert Solow (1974), *The Economics of Natural Resources*, réaffirme le rôle central du système des prix de marché tout en insistant sur les possibilités de substitution entre les facteurs de production et sur l'importance du progrès technique. La substitution entre les facteurs de production (si l'élasticité de substitution par rapport au prix est forte, l'épuisement de certaines ressources naturelles sera un événement parmi d'autres et non une catastrophe) et le progrès technique permettront de maintenir la productivité de l'appareil de production et assureront une croissance « durable » malgré l'épuisement inéluctable de certaines ressources naturelles. Les générations futures disposeront certes de moins de capital naturel, mais en contrepartie

recevront en héritage un volume de capital créé par l'homme (capital technique, capital humain), beaucoup plus important, ce qui leur permettra de maintenir leur niveau de vie. En plus d'être efficace, cette approche aurait l'avantage de garantir l'équité intergénérationnelle. Il suffit pour cela que toutes les rentes issues de la gestion intertemporelle optimale de l'épuisement des ressources naturelles soient investies dans du capital reproductible qui doit se substituer aux ressources naturelles utilisées dans la production (Hartwick, 1977). Ainsi, l'idée qu'à long terme l'économie tend naturellement vers un sentier de croissance équilibrée s'est trouvée réaffirmée au milieu des années 70.

Face à cette intransigeance des économistes, une lueur d'espoir apparût dans les années 80. Suite à la mise en place de la Commission Mondiale sur l'Environnement et le Développement au sein des Nations Unies (1983) et à la publication du rapport « *Notre futur commun* », plus communément dénommé rapport Brundtland (1987), les questions d'économie et d'environnement furent inextricablement liées dans la définition et la mise en œuvre de ce que l'on désigne aujourd'hui sous le terme développement durable. Deux concepts firent l'objet d'une attention particulière : celui des *besoins* (et plus particulièrement des besoins essentiels des plus démunis, à qui il convient d'accorder la plus grande priorité) et celui de *l'équité intergénérationnelle* (l'état de nos techniques et de notre organisation sociale impose certaines limites sur la capacité de l'environnement à répondre aux besoins actuels et à venir). Si le rapport Brundtland n'a pas eu de grand impact médiatique au moment de sa parution, il permit de labelliser le concept de développement durable et de fournir une méthode d'approche intégrant les dimensions économique, écologique et sociale (Bourg, Rayssac, 2006). Un nouveau modèle de gouvernance environnementale venait ainsi de voir le jour.



Par la suite, ce triptyque s'est quelque peu modifié afin de tenir compte de la dimension spatiale (échelon local ou mondial), temporelle (approche intergénérationnelle, passage du présent au futur) et de la sphère de l'action (domaine de l'éthique et du politique).



Cet appel à la transdisciplinarité se limita cependant à quelques initiés ou pionniers de l'économie hétérodoxe (Daly, 1990 ; Passet, 1992 ; Brown, 1992 ; Georgescu-Roegen, 1995). En effet, la grande majorité des économistes s'écarta de ce débat en plaçant le développement durable au cœur des théories qu'ils avaient l'habitude de manipuler, en l'occurrence les théories de la croissance et du développement (Kartchevsky & Maillefert, 2009). Dans le cas des théories de la croissance, la contrainte environnementale est posée comme une limite, celle de l'épuisement des ressources rares. Il convient dès lors de poser les bases d'un modèle (irréversibilité du temps, approche mécaniste, hypothèse de substitution des facteurs de production, marchandisation de l'environnement, introduction du progrès technique...) qui permette aux hommes de s'émanciper des lois de la nature. Les théories du développement ont quant à elles suivies de multiples voies (Diemer, 2010) : (i) celle de la dénonciation de l'impérialisme, le centre, ici les pays développés, exploite la périphérie, les pays sous développés, pour leur extirper notamment les ressources naturelles (Emmanuel, 1969) ; (ii) celle de l'étude de la pauvreté absolue dans les pays du Tiers monde (Sauvy, 1952) ; (iii) celle

de la nécessité de mettre en place une planification et une intervention étatique dans des pays qui ont des conditions de vie très difficiles (Myrdal, 1963).

Cette position des économistes est selon nous symptomatique du conflit qui existe entre les lois de la biosphère, qui ignorent les règles de l'optimisation économique, et la sphère économique, qui s'est forgée ses propres modalités d'ajustement. Elle souligne également les difficultés à définir l'économie en tant que science sociale.

Le conflit entre les sciences du vivant, les sciences sociales et la science économique

Rapprocher la science économique des sciences du vivant ou des sciences sociales ne se décrète pas. En près de trois siècles, l'économie s'est émancipée des lois de la nature et de la morale. Elle s'est forgée, par convention humaine, des règles de fonctionnement qui ne tiennent plus compte de son environnement naturel ou social. Le conflit qui en résulte, est perceptible à plusieurs niveaux (Passet, 1979, 1996) : le cadre spatio-temporel, le réductionnisme et la causalité linéaire, la logique flux/stocks pour en citer quelques uns.

Le cadre spatio-temporel

En forgeant les instruments nécessaires à leur discipline, les économistes ont été amenés à retenir des hypothèses et des pistes de travail qui les ont écartés du monde du vivant et de la société en général. Plusieurs illustrations méritent ici d'être signalées :

- C'est tout d'abord le cadre atemporel des modèles qui prime dans la sphère marchande. En s'inspirant de la mécanique céleste, puis rationnelle, les économistes ont privilégié une approche statique de l'équilibre. La fonction de production ne décrit pas un processus dans le temps, mais bien une combinaison technique de deux facteurs de production (travail, capital). Cette combinaison est modifiable dans le temps en fonction des effets de substitution ou de complémentarité. En d'autres termes, le producteur peut modifier autant de fois qu'il le souhaite, sa combinaison technique. Le temps est ainsi réversible.

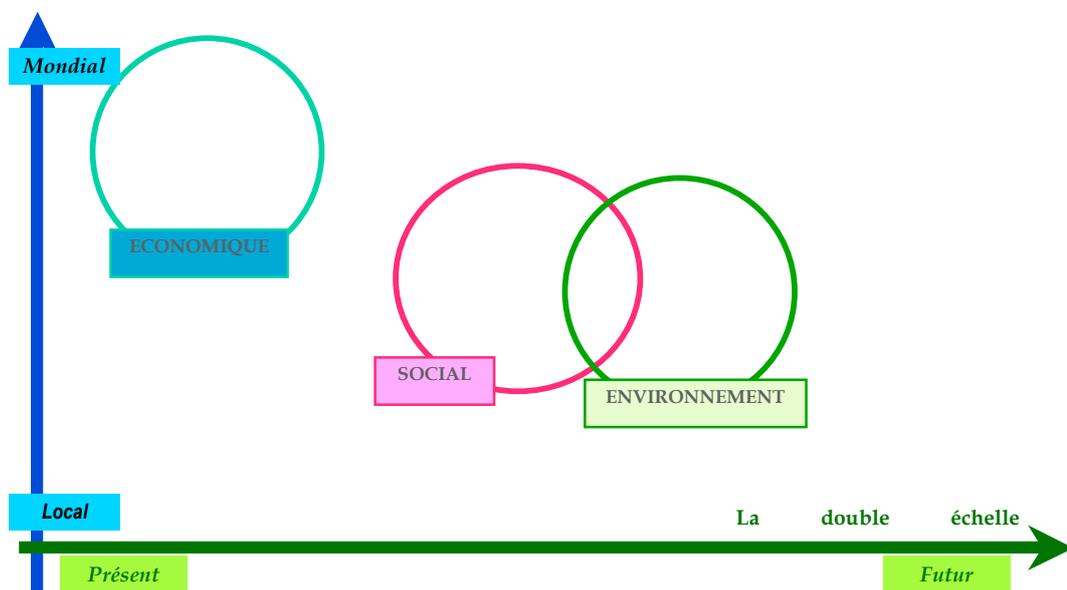
- C'est également par les principes de l'actualisation et de la capitalisation que l'économiste passe du futur au présent ou du présent au futur. Cette manière de gérer les activités économiques repose en grande partie sur la notion de profit, au centre de toutes les préoccupations du système capitaliste. Les perspectives de profit amènent les managers et les actionnaires à orienter leurs investissements vers les activités qui assurent le maximum de rendement en un minimum de temps. Le futur est ainsi ramené à ses plus simples attributs, il prend même des formes purement économiques : dispositions psychologiques des individus face au risque, rythme des innovations, degré d'obsolescence du capital, niveau de productivité (marginale à court terme, moyenne à long terme).

- Le rythme des activités économiques échappe finalement aux économistes puisqu'il est donné par la cadence qu'impose le capital au travail. C'est en effet la machine qui détermine la durée, la structure temporelle des rythmes (travail de nuit), voire l'utilisation du travail. Or la course à la productivité initiée au début des années 50, s'est considérablement renforcée dans les années 80 sous l'effet de la concurrence internationale, au point de substituer la machine à l'homme et de provoquer une dégradation des conditions de travail et un phénomène d'exclusion sociale (logique de sous emploi dans la plupart des pays développés). Ainsi les rythmes économiques entrent en conflit avec les rythmes biologiques et les rythmes sociaux, et il y a fort à parier que les nouvelles organisations bâties sur le temps partiel et la flexibilité du travail accentuent la pression constante du capital et de la technique sur le rythme des activités humaines.

Notons que le lien entre mécanisation (automatisation) et rentabilité du capital s'inscrit dans la vision de court terme des économistes. En effet, plus la part du capital prédomine dans la fonction et les coûts de production, plus la rapidité du progrès technique réduit les cycles de vie des équipements et plus s'impose la nécessité d'amortir rapidement le matériel pour limiter les éventuelles pertes de profit.

- La culture du court terme atteint même son paroxysme avec la montée en puissance des marchés financiers. Leur rôle de financement de l'économie s'est progressivement estompé au profit de l'activité spéculative. C'est le fameux « trop d'épargne » qui prime aujourd'hui. Le court terme se forge en fonction de croyances sur le long terme, et peu importe que les agents y croient ou non, le simple fait de faire des prévisions et des anticipations suffit pour se donner des valeurs (ou des prix).

Au final, le marché en tant qu'organisation économique des échanges, place les individus que nous sommes dans une logique spatio-temporelle qui n'est pas celle du monde du vivant ni celle de la sphère sociale. Les nouvelles technologies et le commerce international ont amené le marché à remettre en cause les liens locaux (commerce de proximité, système d'entraide, tissu associatif) et à privilégier une approche plus globale (Internet met en relation les citoyens, plus précisément les consommateurs, du monde entier). Le marché revendique une approche de court terme liée à une mesure bien spécifique de ses activités, celle du profit monétaire. Pour reprendre le schéma introduit page 5, nous aurions tendance à placer l'économie dans le cadran Nord-Ouest, une position qui ne permet pas d'engager un dialogue constructif avec les autres sciences et qui montre le chemin qu'il reste encore à parcourir.



Cette vision économique contraste avec celle des sciences du vivant qui s'inscrivent davantage dans la durée (rythmes biologiques, cycles biochimiques...), l'interdépendance et la circularité.

Réductionnisme et causalisme linéaire vs complexité et circularité

L'économie politique, puis la science économique, s'est positionnée très tôt comme la science des richesses. Pour ce faire, elle a adopté une approche qui part de l'individu (c'est l'atome présent dans les sciences physiques) et qui se matérialise par le phénomène

d'appropriation (par la force, par la transmission, par l'échange). Nous entrons dans « l'économie de l'avoir » pour reprendre une expression de René Passé (1979). Les droits de propriété occupent ainsi une place centrale dans la théorie économique, ils traduisent une caractéristique essentielle du système capitaliste (accumulation des richesses) et constituent la première condition d'existence d'un marché (pour pouvoir vendre, il faut être propriétaire de sa marchandise). Cependant pour être appropriables, les choses doivent avoir de la valeur. On retombe sur un paradoxe qui avait déjà été signalé précédemment, certains biens (l'environnement en fait partie) sont utiles mais abondants, dès lors ils ont peu de valeur (ils n'engendrent ni rivalité ni exclusion) et n'ont pas besoin d'être possédés.

Par ailleurs, l'individualisme méthodologique des économistes repose sur deux postulats important : la liberté et la rationalité. C'est la liberté d'entreprendre et d'échanger (logique du laisser faire, laisser passer) qui permet à l'individu de faire des choix, c'est la rationalité (par le calcul économique) qui le guide à faire les meilleurs choix. Au final, le programme scientifique des économistes est assez simple, il s'agit d'identifier un fait général (l'échange) en procédant aux cinq questions suivantes : (i) nature du fait, (ii) origine du fait (causes), (iii) nombre d'espèces ; (iv) les lois suivies ; (v) les conséquences du fait. Le principe de cause à effet, phénomène très linéaire, occupe ainsi le devant de la scène. La microéconomie, même exposée au no bridge (impossibilité de passer des choix individuels aux choix collectifs), constitue la base des travaux des économistes.

Les sciences du vivant et les sciences sociales traitent de faits à la fois complexes et interdépendants. Elles insistent ainsi sur un point important, ce sont les relations et non pas les agents qui sont privilégiées. Des relations qui s'inscrivent dans un vaste mouvement circulaire. René Passet (1979, p. 51-52) rappelle que dans le monde du vivant, le jeu des réserves (calcium des os, populations animales et végétales dans les écosystèmes) et des régulations (feed back compensateur et amplificateurs) de Claude Bernard (1877) assure la stabilité et la pérennité des systèmes malgré la présence de perturbations et d'évènements imprévus. Par ailleurs, l'évolution du vivant est caractérisée par un mouvement de diversification et de complexification. La microévolution se traduit par une adaptation de plus en plus poussée aux milieux les plus divers, avec des conséquences plus ou moins inattendues (de la simple disparition à la prolifération ou la mutation des espèces lors d'un changement de l'environnement extérieur). La macroévolution fait apparaître des systèmes plus ou moins complexes, cela va du système simple (dispositif mécanique) aux systèmes hypercomplexes (le cerveau permet à l'homme de rompre avec les schémas mécanistes et hiérarchisés, il se

nourrit du désordre, indispensable à sa stimulation et à son évolution, il constitue la sphère de l'invention).

Par ailleurs, le milieu naturel animé par l'énergie solaire, décrit un vaste mouvement circulaire que l'on retrouve au niveau de l'inanimé comme du vivant. Ce phénomène « *fournit la base de la remarquable continuité de la vie : la réciprocité et l'interdépendance de tous les processus vitaux, le développement, en des rapports mutuellement inséparables du complexe de la vie terrestre, des éléments inertes de son environnement, et les cycles de transformation renouvelés sans cesse, des matériaux de la vie entraînés par l'énergie solaire* » (Commoner, 1971, p. 24). Indéfiniment, les mêmes éléments chimiques (grands cycles géochimiques) se dispersent et se combinent pour donner les diverses formes de la matière. Joël de Rosnay (1975, p. 26) rappelle ainsi que « *tout ce qui vit est fabriqué à partir d'un jeu de construction comprenant six éléments de base : le carbone (C), l'Hydrogène (H), l'Oxygène (O), l'Azote (N), le soufre (S) et le Phosphore (P)* ». Ces éléments sont constamment régénérés au cours des grands cycles naturels, ils s'accumulent dans les réservoirs de l'atmosphère, de l'hydrosphère, de la lithosphère (biomasse) et de la biosphère (sédiments). Ces réservoirs se renouvellent (cycle de l'eau, cycle du carbone...) et transforment en permanence les matériaux qui leur parviennent de manière à ce que les conditions de vie dans lesquelles évoluent les espèces, soient maintenues. C'est le jeu complexe des boucles de régulation et d'amplification qui permet la reproduction du milieu. Mais tout cela n'est possible que dans certaines limites : aucune valeur ne peut être indéfiniment augmentée ou diminuée sans provoquer la rupture du système. Dans le monde du vivant, ce mouvement circulaire se reproduit de la même manière. Toutes les espèces se développent sur le même flux d'énergie solaire qui les relie au milieu naturel et les rend indissociables les unes des autres : « *L'énergie entre dans ce système sous la forme de rayonnement solaire. Grâce à la photosynthèse, les végétaux verts sont capables de capturer un peu de l'énergie solaire incidente et de l'employer à lier ensemble de petites molécules pour en faire les grosses molécules (organiques) qui caractérisent les organismes vivants. Les animaux qui mangent des végétaux sont capables de transformer ces grosses molécules organiques et de s'approprier l'énergie qui auparavant liait ces molécules ensemble. L'animal dispense une partie de cette énergie dans ses activités quotidiennes, et en utilise une autre pour construire de grosses molécules de substance animale pour la croissance ou la réparation des tissus. Les animaux qui mangent d'autres animaux, transforment à leur tour les grosses molécules et mettent l'énergie qui en provient – énergie qui, à l'origine, est*

arrivée sous forme de l'énergie solaire – à leur propre service » (Ehrlich, 1972, p. 97). Elles jouent par la même occasion un rôle actif dans la reproduction de ce milieu, en le transformant et lui livrant les sous produits de leurs activités biologiques (retraitement des déchets en circuit fermé) qui entrent dans les grands cycles naturels. A l'image des travaux de Barry Commoner (1971, p. 35-48), l'évolution du monde du vivant serait déterminée par les quatre lois suivantes (les quatre lois de l'écologie) : 1^{ère} loi, « Toutes les parties du complexe vital sont interdépendantes » ; 2^{ème} loi, « la matière circule et se retrouve en quelque lieu », 3^{ème} loi, « la nature en sait plus long » (autrement dit l'équilibre actuel représente le résultat de plusieurs milliards d'années d'évolution, que toute intervention extérieure risque surtout de dégrader) ; 4^{ème} loi, « il n'y a pas dans la nature de don gratuit » (tout ce qui par suite de l'effort humaine, se trouvera défait, devra être compensé. Il peut y avoir des délais, mais quels qu'ils soient il faudra payer le prix). Si aucune agression extérieure ne vient le troubler, l'écosystème tend vers un équilibre idéal.

Or c'est bien dans ce contexte que s'insèrent les activités économiques (Passet, 1979). La théorie économique n'ignore ni les interdépendances, ni les phénomènes de rétroaction, ni les questions d'équilibre. La littérature d'après guerre consacrée à l'existence et à la stabilité de l'équilibre général est là pour le confirmer (théorème d'impossibilité d'Arrow-Debreu-Sonnenschein). Cependant ces interdépendances sont strictement limitées au jeu des facteurs (capital technique, travail et progrès technique) et des représentations (marché, offre et demande, prix) économiques. Ils ne font pas référence au milieu dans lesquels les agents évoluent (les effets externes négatifs sont la simple conséquence de comportements qui cherchent à maximiser un profit, en les internalisant, on ne fait que corriger la fonction de coûts). Par ailleurs, s'il existe bien des tentatives visant à introduire la complexité et la circularité en économie (les travaux de William Forrester [1965] et de Joël de Rosnay [1975] ont cherché à expliquer des faits économiques et sociaux à partir d'une approche systémique), ces initiatives n'ont pas suscité le succès espéré. La microéconomie ou la macroéconomie (les fondements microéconomiques de la macroéconomie) continuent d'alimenter l'essentiel des travaux des chercheurs en économie.

Logique de stocks – flux

Depuis la révolution des machines à feu initiée par Sadi Carnot (1824), les économies développées ont bâti leur croissance sur un stock de matières premières. L'épuisement de ces réserves (au début illimitées comme le charbon et le pétrole) constitue l'épée de Damoclès au dessus des grandes puissances occidentales, mais également des pays en développement (c'est le cas de la Chine qui cherche aujourd'hui à sécuriser ses approvisionnements). Les économistes (Jevons, 1857 ; Hotelling, 1931) se sont ainsi penchés sur le rapport flux / stocks, c'est-à-dire sur la relation entre le taux d'extraction (variation de la quantité extraite) et les réserves de ressources naturelles. Notons que ce constat se vérifie également dans la sphère sociale. Le chômage est défini par un stock de personnes à la recherche d'un emploi, le flux des entrées et des sorties (demandes d'emplois en fin de mois mesurées par Pôle emploi) donne une information sur l'évolution et la nature du chômage. Le calcul du taux de chômage est bien un rapport flux/stock.

Par la suite, ce rapport flux / stocks a conditionné les choix opérés par les économistes. D'une part, les analyses ont été avant tout quantitatives et rarement qualitatives. On peut ainsi chercher dans la sphère sociale à réduire le chômage et non pas la durée du chômage, à présenter le chômage comme un déséquilibre du marché du travail en non pas comme une phase de transition qu'il convient d'anticiper (par un droit à la formation attribué au salarié et non à l'entreprise). D'autre part, la notion d'optimum économique s'est éloignée du principe d'efficacité (atteindre un objectif) pour ne retenir que le principe d'efficience économique (atteindre un objectif au moindre coût). Dans le cas de l'environnement, la réduction de la pollution passe par l'internalisation de coûts, une opération qui revient à convertir des coûts collectifs en coûts privés. Dans le cas de la sphère sociale, les mesures du traitement du chômage doivent intégrer le coût des politiques d'emplois et les effets attendus (ainsi on est prêt à augmenter le nombre de conseillers à Pôle emploi dans la limite où le coût de traitement d'un chômeur ne devient pas prohibitif, et ceci même si un conseiller continue à gérer près de 150 dossiers). Enfin la science économique et la gestion des entreprises ont réservé les notions de variation de stocks et d'amortissement (prise en compte de la perte de valeur) au seul facteur technique, le capital physique. Ainsi l'épuisement des ressources naturelles et la dégradation des ressources humaines (ayant pour origine un licenciement, une perte d'emploi), ce que nous nommerons successivement capital naturel et capital humain, ne sont jamais comptabilisés. Les dépenses en matière d'environnement ou à caractère social

entrent dans les dépenses de l'entreprise dans la limite des coûts de prélèvement ou de prise charge (indemnités de licenciement), lesquels n'assurent nullement la reproduction du capital naturel ou l'amélioration du capital humain. Au final, les économistes ont tendance à ne reconnaître que les flux financiers qu'ils s'efforcent de maximiser (les profits) ou de minimiser (les coûts), et négligent les variations du capital naturel ou humain.

Force est de constater que ces critères n'ont aucun fondement dans la sphère du vivant ou la sphère sociale. Alfred Lotka a montré dans ses *Elements of Physical Biology* (1925) que l'aptitude des systèmes à la survie et à la domination dépendait de leur capacité à utiliser efficacement les flux énergétiques. Ainsi les espèces s'adaptent morphologiquement aux conditions de leur milieu, de façon à utiliser au mieux l'énergie dont ils disposent. Un écosystème livré à lui-même s'oriente à long terme vers une situation d'équilibre (son climax) qui est aussi un optimum du point de vue de la gestion des flux énergétiques. De là, on peut conclure que la biosphère tend à maximiser le rapport Biomasse / flux, le principe d'efficacité préconise d'utiliser le plus « efficacement » possible un flux déterminé d'énergie pour en tirer la biomasse la plus élevée (Ramade, 1974).

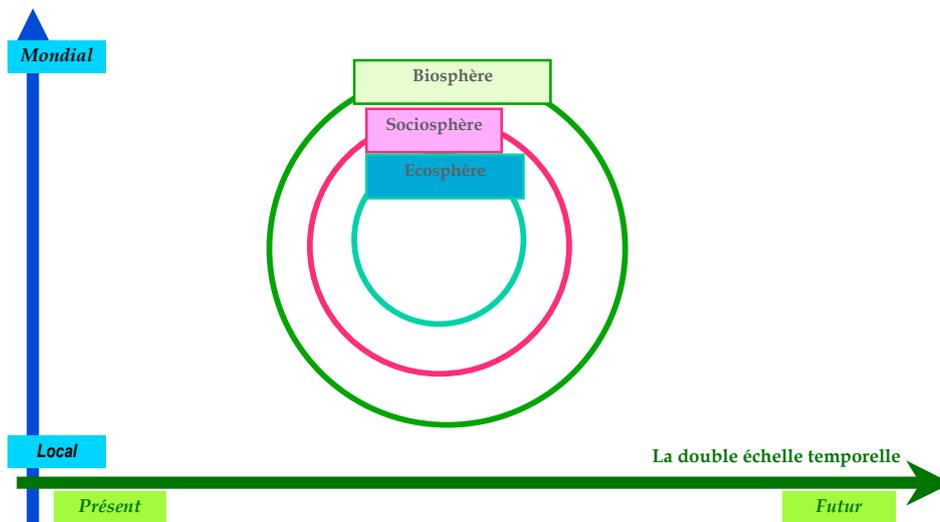
Au terme de cette seconde partie, une conclusion s'impose. On ne peut plus considérer l'activité économique indépendamment de l'ensemble des phénomènes de la biosphère et des relations humaines. Une telle approche est inacceptable. Par ailleurs, la présentation du développement durable sous la forme de trois sphères interconnectées (environnement, social, économie) est loin de correspondre à une construction de savoirs transversaux. Les économistes ont biaisé le débat en bâtissant leur argumentation sur « *le royaume instrumental des marchés et la répartition efficace des ressources* » (Gladwin, 2000). Les questions relatives aux objectifs ultimes (épanouissement des hommes, quête de l'humanité) et aux moyens (capacité de la biosphère à assurer la vie) ne sont finalement pas abordées.

La croissance durable (croissance verte) et le progrès technologique sont présentés comme de futurs alliés, des alliés rassurants mais dont les prophéties risquent de nous mener au désenchantement. Il est donc nécessaire de ré-encastrier l'économie dans la société, de définir une approche susceptible d'intégrer, dans une même logique, les phénomènes de la *biosphère*, de la *sociosphère* et de l'*écosphère*.

Définir le développement durable à partir de savoirs communs

La nécessité de ré-encadrer l'économie dans la société et dans le monde du vivant s'est fait sentir à la suite des nombreuses menaces qui pèsent sur l'intégrité et la résistance de nos systèmes naturels et sociaux. Ces menaces sont maintenant bien connues et largement soulignées par les scientifiques et les sociologues : surexploitation des réserves ichthyologiques, réduction des eaux souterraines, assèchement des rivières, érosion des sols, accumulation de produits chimiques et de métaux lourds dans les organismes et les écosystèmes, déforestation, disparition des récifs coralliens, concentration de dioxyde de carbone dans l'atmosphère, réchauffement climatique, montée des inégalités, phénomène de pauvreté absolue (pays en développement) et relative (pays développés), radicalisation du problème de sous-emploi (chômage), pression démographique, désintégration sociale (lien social), phénomène des banlieues (qui ravivent les tensions entre le centre et la périphérie)...

Pour faire référence à la théorie des ensembles, nous dirons que la relation « *économie – société – biosphère* » doit être interprétée comme une relation d'inclusion et non d'intersection (voir figure page suivante). Resurgit ainsi un dilemme bien connu en économie, celui du no bridge (impossibilité de passer des choix individuels aux choix collectifs, de la microéconomie à la macroéconomie). En effet, si chaque sphère évolue en fonction de conventions - la sphère économique fait de la monnaie et des prix, le moyen de pouvoir satisfaire un besoin ou un désir ; la sphère sociale renvoie à la recherche d'un bien être qui ne se réduit pas aux seuls aspects marchands ; la biosphère s'intéresse aux flux d'énergie, elle cherche à les comptabiliser sous la forme de bilans énergie – se pose la question du lien qu'il convient d'établir entre les trois sphères. Par ailleurs, cette relation est univoque : si les phénomènes de la biosphère ne relèvent pas tous de la sphère marchande, les activités économiques obéissent toutes aux lois du monde du vivant, c'est-à-dire aux lois de l'énergie mais également de l'information. Ainsi, l'économie doit forger ses outils et son cadre de réflexion dans la logique du milieu naturel. René Passet (1992, p. 87) précise que « le discours sur la vie nous apprend à situer l'économie dans le prolongement d'un double mouvement général : - de lutte contre l'entropie que mènent les organismes afin de maintenir et reproduire leur structure, - et d'évolution complexifiante dont la dimension cosmique n'exclut pas que les comportements y puissent jouer un rôle ».



Pour parvenir à une telle représentation du développement durable, les scientifiques devront acquérir les outils qui leur permettront d'entamer un véritable dialogue. Le physicien, le biologiste, l'écologiste, le sociologue, le psychologue, l'économiste... Il s'agit ici de préciser les savoirs communs associés au développement durable. Les trois sphères emboîtées nous renvoient à la vision entropique de l'énergie (thermodynamique), à l'évolution complexifiante du vivant (biologie), à la place du relationnel (sociologie, psychologie) et à la structuration par l'information (économie). C'est ce socle qui nous permettra de définir des modèles viables et des programmes pertinents pour le futur.

La lutte contre l'entropie, les enseignements de la thermodynamique

Pour comprendre la place que doit occuper la thermodynamique et la lutte contre l'entropie dans notre vision du développement durable, il convient de revenir sur la représentation de l'acte de production dans l'écosphère. Les économistes analysent la production à partir d'une relation technique (combinaison des facteurs, travail et capital). Cette relation n'a aucune réalité physique, elle traduit simplement le passage des inputs (entrants) aux outputs (produits finis). Afin de rompre avec cette approche, Nicholas Georgescu-Roegen (NGR, 1969) a introduit la notion de processus, à savoir de transformation contrôlée de la nature qui se déroule dans un certain contexte organisationnel, lui-même inscrit dans un contexte socio-historique particulier. Les machines à produire que sont l'usine et l'exploitation agricole

seront ainsi étudiées de concert, chacune permettant de mettre en lumière les caractéristiques de l'autre, tant sur le plan de la transformation de la nature qu'elles induisent que sur le plan des contextes culturels et sociaux dans lesquels elles s'enracinent. NGR exposera avec une clarté remarquable l'erreur fondamentale de la pensée économique occidentale, à savoir l'approche mécano-descriptive des modèles standards qui réduisent l'essence de tous les phénomènes à certains mouvements réversibles. Le processus économique, appréhendé à partir d'une relation entre la physique et l'économie, doit être conçu sur une base matérielle, laquelle se trouve assujettie à une série de contraintes.

Un processus matériel ne produit ni ne consomme de la matière énergie, il se limite à l'absorber pour la rejeter continuellement. Dès lors, ce qui entre dans le processus économique consiste en des ressources naturelles de valeur, et ce qui en sort prend la forme de déchets sans valeur.

Cette transformation qualitative ne peut être appréhendée que par la thermodynamique, une branche de la physique. La thermodynamique est née d'un mémoire de Sadi Carnot sur l'efficacité des machines à vapeur (1824). Un des résultats importants de ce mémoire a été d'obliger la physique à reconnaître pour scientifique un fait élémentaire reconnu depuis longtemps, à savoir que la chaleur se déplace toujours d'elle-même des corps chauds aux corps froids. Comme les lois de la mécanique ne peuvent expliquer un phénomène unidirectionnel et irréversible, il a fallu créer une nouvelle branche de la physique utilisant des explications non mécanistes. Ainsi, souligne NGR, « *il y aurait deux temps, un temps réversible dans lequel les phénomènes mécaniques prennent place, et un temps irréversible relié aux phénomènes irréversibles* » (NGR, 1971, p. 71). Toutefois, ce qui interpelle NGR dans le travail de Carnot, c'est sa dimension économique. En cherchant à déterminer les conditions dans lesquelles on peut obtenir un rendement de travail mécanique maximum à partir d'une quantité de chaleur donnée, Carnot aurait introduit les bases d'une relation entre le processus économique et les principes thermodynamiques. Ainsi « *aussi extravagante que cette thèse puisse apparaître prima facie, la thermodynamique [serait] en grande partie une physique de la valeur économique* » (NGR, 1969, p. 94).

NGR (1976) s'appuiera sur la thermodynamique, et plus précisément sur la loi de l'entropie, afin de pourfendre le dogme mécanique et reconstruire la théorie économique. Le premier principe de la thermodynamique nous enseigne que lors de toute transformation, l'énergie est conservée (conservation quantitative). Toutefois sa forme et sa disponibilité (dissipation qualitative) ont changé. L'énergie libre et utilisable par l'homme se dissipe

jusqu'à se transformer en chaleur – la forme la plus dégradée de l'énergie – cette énergie liée devient si diffuse qu'elle ne peut plus être utilisée par l'homme (Vivien, 1994). Ce deuxième principe de la thermodynamique, principe dit de Carnot-Clausius, est encore appelé loi d'entropie. En établissant l'irréversibilité des phénomènes physiques, en particulier lors des échanges thermiques, la loi de l'entropie décrit une loi à laquelle on ne peut échapper, d'où le caractère irrévocable de cette évolution : « *La loi de l'entropie occupe une place unique dans les sciences de la nature, c'est la seule loi physique qui reconnaisse que l'univers matériel lui-même est soumis à un changement qualitatif irréversible, à un processus évolutif* » (NGR, 1995, p. 83). Georgescu-Roegen a fait beaucoup pour la reconnaissance de la loi de l'entropie. Il est même intervenu directement dans les controverses scientifiques en étendant cette loi à la matière et en formulant une quatrième¹² loi de la thermodynamique : « *dans un système clos, l'entropie de la matière tend continuellement vers un maximum* » (1978, p. 361).

A la suite de ces phénomènes thermodynamiques, plusieurs conclusions peuvent être tirées. Tout d'abord, le processus économique est par nature entropique. La transformation des ressources naturelles en déchets traduirait le passage d'un état de basse entropie à un état de haute entropie. La lutte économique de l'homme se concentrerait ainsi sur la basse entropie de son environnement. Cependant, note Nicholas Georgescu-Roegen, le véritable produit du processus économique n'est pas un flux matériel de déchets mais bien un flux immatériel qu'il qualifie de *joie de vivre* (enjoyment of life): « *la valeur économique ne pourrait se réduire à un seul élément physique... car cette valeur dépend aussi de la valeur de nos besoins impératifs, de nos goûts acquis, et de l'effort de notre travail - éléments qui ne peuvent être identifiés à de simples transformations physiques* » (NGR, 1978, p. 370). L'accent est ainsi mis sur la vie, tandis que l'entropie, c'est la mort. Tous les êtres vivants luttent contre l'entropie. Ils sont, pour reprendre l'image d'Erwin Schrödinger (1945), des sortes de démons de Maxwell qui, au travers de leur métabolisme, capturent de la basse entropie pour produire de la néguentropie (Brillouin, 1956).

Ensuite, la basse entropie de l'environnement est rare et sa destruction est irrévocable. La thermodynamique nous explique que les choses sont rares, parce que d'une part, la quantité d'entropie faible incluse dans notre environnement décroît continuellement et inévitablement, et parce que d'autre part, nous ne pouvons utiliser qu'une seule fois la quantité donnée d'entropie faible. Ainsi la loi de l'entropie est « *la racine de la rareté économique. Si cette loi*

¹² Le troisième principe de la thermodynamique, appelé théorème de Nernst (1906) stipule que « *l'entropie d'un système quelconque peut toujours être prise égale à zéro à la température du zéro absolu* ».

n'existait pas, nous pourrions réutiliser l'énergie d'un morceau de charbon à volonté, en le transformant en chaleur, cette chaleur en travail, et ce travail de nouveau en charbon » (NGR, 1979a, p. 51). Le fait que la vie économique se nourrisse de basse entropie, a des répercussions importantes en matière de théorie économique. Il existe un lien ancestral entre entropie basse et valeur économique. La théorie de la valeur ne renvoie plus à un fait relatif (la valeur d'échange exprimée en monnaie, c'est-à-dire un prix) mais bien à un fait brut (matériel). L'utilité n'est plus la cause de la valeur économique d'un objet, la faible entropie devient désormais une « *condition nécessaire pour qu'une chose soit utile* » (NGR, 1969, p. 96). Dans ces conditions, le processus économique, généralement associé à la multiplication des utilités rares, oblige les hommes à inventer les moyens susceptibles de mieux capter la basse entropie. Grâce à sa maîtrise de l'énergie, l'homme est capable de faire croître sa puissance productive. Jacques Grinevald (1993, p. 13) parle de « *révolution thermo-industrielle* ».

Enfin, le fait de puiser constamment dans les ressources naturelles n'est pas sans incidence sur l'histoire, il constituerait même l'élément le plus important du destin de l'humanité. Les guerres, les explorations et les migrations ont souvent été liées à la richesse de la dotation des différents peuples en ressources naturelles. Il serait ainsi possible de s'interroger sur la possible substitution de la lutte des classes par la loi de l'entropie et l'exploitation des matières premières comme moteur de l'Histoire. Par ailleurs, le rythme de prélèvement des ressources naturelles dépend exclusivement du choix des individus. C'est cette liberté qu'a l'individu d'utiliser à volonté les ressources naturelles, qui serait responsable du spectaculaire progrès de la technologie. Il existerait ainsi une relation de cause à effet entre l'exploitation intensive de la basse entropie et l'essor des innovations technologiques.

Evolution complexifiante du monde vivant, les enseignements de la biologie

Si les lois de la thermodynamique constituent des « méta lois » auxquelles les hommes ne peuvent échapper (De Gleria, 1995), celles de la biologie vont s'avérer déterminantes sans être déterministes.

Tout d'abord, la biologie comportementale nous rappelle que l'homme, comme tout organisme vivant, a pour finalité première de maintenir et de reproduire sa structure physique

(Passet, 1992). Il doit ainsi assouvir deux types de besoin. Il maintient son organisation interne en empruntant au milieu les molécules riches en énergie (le besoin physiologique passe par l'alimentation). Il cherche à contenir le milieu extérieur dans les limites de variations compatibles avec les exigences de la vie. Le besoin peut être ainsi défini biologiquement comme « *la quantité d'énergie ou d'information nécessaire au maintien d'une structure nerveuse, soit innée, soit acquise* » (Laborit, 1973, p. 63).

Ensuite, les différentes espèces font partie d'un écosystème biologique. Par ce terme, on entend un « *biotic assemblage of plants, animals, and microbes, taken together with their physico-chemical environment* » (Kormondv, 1969, p. 7). Au sein d'un écosystème, des êtres différents (des producteurs, des consommateurs et des décomposeurs) ont des relations entre eux et avec le milieu minéral (cycles biochimiques). Les végétaux autotrophes assimilent, par photosynthèse ou chimiosynthèse, des éléments du monde minéral qui se trouvent ainsi intégrés sous une forme réduite dans des molécules organiques ; de l'énergie est investie dans ces composés. Les animaux et les végétaux hétérotrophes sont tributaires des précédents et constituent des chaînes trophiques où, de mangeur en mangé, on assiste à un transfert de matière et d'énergie dans le monde vivant. Ce sont ces interactions incessantes qui feront lentement évoluer l'écosystème jusqu'à ce qu'un équilibre stable puisse être atteint entre les divers constituants (Odum, 1976).

Enfin, l'homme, en tant qu'être biologique, entretient une relation symbiotique avec l'énergie. Il utilise ses organes afin de puiser de la basse entropie dans l'environnement. De tels organes propres à chaque espèce vivante, sont selon la terminologie d'Alfred Lotka (1945), des organes endosomatiques. Mais progressivement, les êtres humains se sont distingués de la plupart des animaux en faisant appel à d'autres instruments qualifiés d'exosomatiques : « *The one outstanding exception is the human species. Here evolution, especially in more recent times, has followed an entirely new path. In place of slow adaptation of anatomical structure and physiological function in successive generations by selective survival, increased adaptation has been achieved by the incomparably more rapid development of « artificial » aids to our native receptor-effector apparatus, in a process that might be termed exosomatic evolution* » (Lotka, 1945, p. 188). Avec ces organes détachables, principalement des outils et des équipements techniques (voiture, avion, train...), l'espèce humaine est parvenue à accomplir de nombreuses réalisations. Les organes exosomatiques sont même devenus aussi vitaux que les organes endosomatiques ; les hommes en sont largement dépendants voire intoxiqués. Le processus économique apparaît ainsi comme une

extension de l'évolution endosomatique, en d'autres termes, comme la continuation de l'évolution biologique.

En nous révélant la vraie nature du processus économique (le processus économique serait une continuation du processus biologique), la biologie permet de tirer une série de conséquences plus ou moins fâcheuses et irrémédiables pour l'humanité :

- La première souligne l'état de dépendance du genre humain vis à vis du confort offert par les organes exosomatiques, mais également vis à vis du plaisir relatif à la consommation de masse. Cette évolution exosomatique de l'espèce humaine, déjà évoquée par Alfred Lotka (1945, p. 190) - « *People's appetite for food is limited. Their appetite for automobiles, radios, fur coats, jewelry, actually seems to follow the rule of the French proverb l'appétit vient en mangeant* » - se révèle particulièrement dangereuse étant donné qu'elle s'accompagne d'une production croissante de technologies à partir de quantités d'énergie et de matières premières puisées dans les entrailles de la terre. Ainsi, en vertu des principes de la thermodynamique (loi de l'entropie) et du fait que les quantités d'énergie et de matières accessibles sont nécessairement finies, on peut avancer que les activités industrielles ont participé à la raréfaction absolue des dotations terrestres de basse entropie. Un jour ou l'autre, nous rappelle Nicholas Georgescu-Roegen, la croissance touchera à sa fin. En effet, pour produire les organes exosomatiques, les hommes doivent employer des ressources en énergie et en minerais, une concurrence s'établira entre les "choses mortes" et les êtres vivants. "*Chaque fois que nous produisons une voiture, nous détruisons irrévocablement une quantité de basse entropie qui, autrement, pourrait être utilisée pour fabriquer une charrue ou une bêche. Autrement dit, chaque fois que nous produisons une voiture, nous le faisons au prix d'une baisse du nombre de vies humaines à venir* » (NGR, 1995, p. 67).

- La deuxième conséquence souligne, que comme toute évolution organique, l'évolution exosomatique a divisé l'humanité en espèces exosomatiques aussi différentes que les espèces biologiques. Cependant, contrairement aux espèces biologiques qui peuvent fusionner sans le moindre obstacle, le cas des espèces exosomatiques est plus problématique. La distinction entre l'Homo Indicus et l'Homo Americanus est beaucoup plus profonde et plus solide que celle qui sépare les espèces biologiques. Ainsi si l'Europe et le Japon ont connu un redressement aussi spectaculaire après la seconde guerre mondiale, c'est qu'ils appartenaient à la même espèce exosomatique que les Etats Unis, leur principal fournisseur d'équipements. La plupart des pays en développement appartiennent quant à eux à des espèces exosomatiques différentes. En d'autres termes, notre compréhension étroite du processus économique aurait

quelque peu biaisé l'amélioration des instruments exosomatiques déjà en usage dans ces pays : *«Un Homo Indicus criait à l'aide après que son âne soit tombé dans un fossé et se soit cassé une patte. Suivant, le conseil de ses autorités économiques, l'Homo americanus se précipita avec un pneu à carcasse radiale pour réparer la panne du véhicule »* (NGR, 1978, p. 343). Toutes les innovations ne sont donc pas une réussite ou n'arrivent pas toujours "à point nommé" (De Gleria, 1995). Aucune innovation ne pourra indéfiniment réussir à garantir l'accessibilité des ressources.

- Cette évolution exosomatique a enfin engendré des conflits sociaux dans les sociétés humaines. Un oiseau vole de ses propres ailes, attrape des insectes avec son propre bec.... c'est à dire avec ses organes endosomatiques. Comme ces derniers sont la propriété privée de chaque individu, ils ne peuvent faire l'objet d'un véritable conflit. L'espèce humaine échappe cependant à ce principe. L'homme a en effet utilisé les organes endosomatiques de ses congénères (esclavage, servage..) ainsi que domestiqué certains animaux (bœufs, chevaux...) afin de se libérer des contraintes de la nature. Ces actes ont débouché sur des conflits, mais pas nécessairement des conflits sociaux. Les conflits sociaux apparurent d'une part, à partir du moment où les moyens de production furent séparés du corps de l'homme (existence d'organes exosomatiques), d'autre part lorsque leur production et leur utilisation ne furent plus confinées au cercle de la famille ou d'un clan familial. A ce moment là, *« les instincts de l'homme, d'habileté professionnelle ou de curiosité gratuite, ont peu à peu mis au point des instruments exosomatiques capables de produire davantage que ce dont le clan familial avait besoin. En outre, ces nouveaux instruments, par exemple un grand bateau de pêche ou un moulin, demandaient aussi bien pour leur construction que pour leur fonctionnement, plus de bras qu'un seul clan familial ne pouvait en fournir. C'est à cette époque que la production pris la forme d'une activité sociale plutôt qu'une activité de clan »* (NGR, 1969, p. 101). Dans le même temps, la division du travail, nécessaire pour organiser la production ne fût réalisée, ni en fonction d'un quelconque rôle déterminé dès la naissance pour chacun de ses membres, comme c'est le cas dans la ruche ou la fourmilière, ni en fonction des divers talents de chacun, mais en accord avec les rôles requis par l'organisation sociale. Cette division sociale reposerait sur la distinction entre deux catégories de membres de la société : les gouvernés et les gouvernants, encore appelés *« élite privilégiée »*. La première catégorie fournit des services ayant une mesure objective (les maçons peuvent en effet compter combien de briques ont été posées). La seconde catégorie regroupe des services sans mesure objective (on ne peut en effet mesurer le travail physique des juristes, des avocats...). Dans ce contexte, il est toujours

possible pour les gouvernants d'exagérer l'importance de leur travail et de s'en servir pour affirmer leur supériorité et leur domination sur les autres membres de la société. On voit ainsi, que le conflit social (lui-même issu de la division du travail) dans les sociétés humaines n'existe que parce que l'espèce humaine en est arrivée à vivre en société par évolution exosomatique et non endosomatique. Un conflit social qui fera malheureusement partie du lot de l'humanité aussi longtemps que le mode de vie des sociétés humaines (capitalistes) dépendra de la production à grande échelle d'instruments exosomatiques.

Le retour de l'être relationnel, les enseignements de la sociologie et de la psychologie

Contrairement à l'économie qui nous renvoie à une approche comportementale individuelle de l'homme (le principe de la rationalité économique, l'homo economicus), la sociologie nous rappelle que ce que l'homme rencontre d'abord en lui et qui explique la quasi-totalité de ses comportements, ce sont les autres. Ce rapport aux autres s'inscrit dans le temps (générations passées, présentes et futures) et dans l'espace (famille, clan, groupe...). L'existence de l'être passe par une existence sociale par rapport au groupe et ses valeurs (mode de vie, interdits, signes de reconnaissance...). C'est ainsi que l'on explique les causes sociologiques de la consommation, l'effet Veblen décrit un mode de consommation attisé par la classe sociale. Par sa consommation, chaque individu revendique une appartenance à une classe sociale, il se doit ainsi de reproduire les valeurs qui lui sont associées. Paul Krugman (2010) a utilisé cet argument pour expliquer la consommation excessive des américains et leur responsabilité dans la crise des subprimes. Il note que contrairement aux enseignements de la théorie économique (qui prétend qu'une nation développée voit la part de son épargne augmenter et la part de sa consommation diminuer), le taux d'épargne a régulièrement diminué dans la société américaine. Cette baisse ne serait pas due à un consumérisme élevé (en d'autres termes, les citoyens américains ne seraient pas endettés pour augmenter leur consommation, acheter plus de téléviseurs, de voitures...) mais bien à un endettement vis-à-vis de l'immobilier. Comme un miroir, ce dernier nous retourne l'image de la classe sociale à laquelle nous appartenons. L'appartenance d'un individu à un groupe se définit par rapport au lieu de résidence et tout ce qui gravite autour (école pour les enfants, relation avec les voisins, sécurité...). Les américains sont alors prêts à s'endetter pour adopter les valeurs associées à la

classe sociale à laquelle ils souhaitent accéder. On le voit, ces valeurs, loin d'être innocentes, reflètent un certain état (imitation, conflit, fuite en avant, évitement...) des rapports sociaux.

Cette vision condamne la démarche qui consiste à mettre l'individu au centre de l'analyse afin d'aboutir au social. C'est purement et simplement refuser que les mécanismes par lesquels l'appareil productif est censé nous amener vers la satisfaction des besoins, occupent une place prédominante. Ce retour à l'Homo Sapiens (Gintis, 2000) nous invite ainsi à dissocier, comme le font les psychologues et les sociologues, les notions de besoin et de désir : « *C'est la satisfaction des désirs qui conditionne le bonheur des hommes, mais c'est la création des désirs qui les place sous la dépendance de l'appareil productif. Et c'est la satisfaction des besoins qui commande la reproduction de l'espèce* » (Passet, 1992, p. 107).

De son côté, la psychologie parvient à nous détacher des actions rationnelles afin de mieux nous faire entrer dans le champ des pulsions et de l'irrationnel. En partant de l'hypothèse de rationalité des agents, la théorie économique évacue du champ de l'analyse, les dimensions pulsionnelle, irrationnelle ou morale associées à chaque acte : « *Nos agents économiques peuvent être des égoïstes, des altruistes purs, des ascètes purs, ..., des jouisseurs purs... Les évaluations extérieures... sont extérieures à la sphère de l'uniformité économique... du point de vue de l'analyse économique ces choses constituent l'élément irrationnel dans l'univers de notre discours* » (Robbins, 1932, p. 96). Tout se réduit à un comportement dans l'écosphère : le producteur maximise son profit sous la contrainte technique, il doit ainsi égaliser sa recette marginale à son coût marginal ; le consommateur maximise son utilité sous la contrainte de son revenu, le rapport des utilités marginales doit être égal au rapport des prix....

L'hypothèse de rationalité s'impose ainsi comme une norme de référence, qu'il est possible d'appliquer à toutes les sphères (sociosphère, biosphère): l'Etat rationnel minimise ses dépenses sociales en fonction de la contrainte budgétaire, l'entreprise rationnelle minimise ses rejets en fonction de la contrainte technique... Or les avancées de la biologie comportementale et de la psychologie, nous amènent à considérer que les comportements rationnels ou irrationnels, conscients ou inconscients, individuels ou collectifs, se dissocient de moins en moins. Pour comprendre cet état de fait, nous nous appuyerons sur deux approches : l'une issue de la physiologie de Descartes, l'autre tirée de la biologie comportementale appliquée au cerveau.

Dans son *Traité de l'Âme* (1647), René Descartes cherche à résoudre le problème de l'interface entre le corps et l'âme en introduisant la notion d' « esprits animaux ». Ces

derniers sont « *des corps très petits et qui se meuvent très vite... en sorte qu'ils ne s'arrêtent en aucun lieu* » (1650, [1824, p.45]). Certains de ces corps prennent la forme de gouttelettes de sang, « *les plus agitées et les plus subtiles* » (ibid), lesquelles transitent du cœur au cerveau par la grande artère. D'autres passent par les pores, entrent dans les nerfs et se propagent aux muscles pour entraîner un mouvement du corps. Il existerait ainsi un vaste réseau de ramifications nerveuses par lesquelles les esprits animaux entrent en communication : les esprits qui viennent du cerveau, déterminent d'autres esprits présents dans les muscles, à entrer en activité : « *Ce qui est facile à concevoir, c'est qu'il n'y a que fort peu d'esprits animaux qui viennent continuellement du cerveau vers chaque muscle, mais qu'il y en a toujours quantité d'autres enfermés dans le même muscle qui s'y meuvent très vite* » (1650, [1824, p.47]). Si les esprits animaux sont de véritables agitateurs de mouvements, ils sont également à l'origine des images et des impressions qui se réunissent dans la glande pinéale (notre épiphyse). Cette glande occupe une place importante dans le *Traité* de Descartes, c'est le lieu de réconciliation entre l'âme et le corps. À travers cette glande, l'âme parvient à savoir ce qui se passe dans le corps et hors de celui-ci : « *L'âme a son siège principal dans la petite glande qui est au milieu du cerveau, d'où elle rayonne en tout le reste du corps par l'entremise des esprits, des nerfs et même du sang, qui, participant aux impressions des esprits, les peut porter par les artères en tous les membres* » (1650, [1824, p. 66]). La théorie de Descartes nous explique ainsi que les mouvements du corps sont provoqués par les mouvements des esprits animaux, lesquels sont activés par nos émotions, par notre esprit ou notre âme. Les conflits intérieurs ne seraient donc rien d'autre qu'une opposition au sein de la glande pinéale entre les mouvements spontanés des esprits animaux (causés par l'action du corps) et les mouvements que l'âme aimerait (par sa volonté) leur imposer : « *La petite glande qui est au milieu du cerveau, pouvant être poussée d'un côté par l'âme, et de l'autre par les esprits animaux qui ne sont que des corps, il arrive souvent que ces deux impulsions sont contraires, et que la plus forte empêche l'effet de l'autre* » (1650, [1824, p ; 78]). Au final, les esprits animaux pourraient bien amener les individus à agir indépendamment de leur raison, et même en opposition à elle.

Dans le cas du cerveau, la biologie comportementale a mis en lumière trois parties distinctes : (1) le paléo-cortex, nommé cortex reptilien (plus de 200 millions d'années), fonctionne par réflexes et de manière inconsciente. Il assure la coordination entre pulsion de survie et milieu environnant. Ses comportements sont très stéréotypés. Il est siège des fonctions primitives (faim, soif, agressivité...). (2) l'archi-cortex, nommé cerveau des

mammifères, enveloppe le paléo-cortex. Il fonctionne de manière instinctive. Il s'inscrit dans la mémoire à long terme (répétition de l'expérience agréable) et sur le plan émotionnel. (3) Le néo-cortex, nommé cerveau des mammifères supérieurs, enveloppe les deux précédents. Il se caractérise par deux régions, une aire sensorimotrice (propre aux animaux les moins développés) et une aire associative (présente chez les singes et les hommes). Le cerveau humain s'appuie sur une connexion de neurones, capables d'associer ou de dissocier les éléments qui se présentent. On dissocie généralement l'hémisphère droit (dominé par la formation des images et la pensée concrète) et l'hémisphère gauche (symbolisé par la pensée logique et l'abstraction). A première vue, comme le rappelle René Passet (1992), l'évolution du cerveau pourrait venir confirmer la théorie de la rationalité économique, l'hémisphère gauche ayant hissé l'espèce humaine à sa position dominante. Or, les trois cerveaux quoiqu'agissant en interconnexion étroite, ne sont que faiblement hiérarchisés. Ils constituent ce qu'Edgar Morin (1973, p. 143) appelle les « *trois sous-systèmes d'une machine polycentrique* ». En d'autres termes, tous les trois agissent de concert, alternativement ou simultanément. Dès lors, les comportements économiques ne seraient pas automatiquement rationnels, ils manifesteraient à la fois des considérations d'ordre rationnel et irrationnel, logique et passionnel, de lucidité et de soumission... Au niveau individuel comme au niveau collectif (prise en compte du contexte), des comportements tels que l'achat d'impulsion, le mimétisme dans un groupe, l'agressivité dans les relations humaines ... considérés irrationnels du point de vue de l'écosphère, peuvent apparaître dans la sphère sociale, comme des moyens tout à fait légitimes et normaux lorsqu'il s'agit de relâcher la pression (d'où l'expression, « *se laisser aller à ses pulsions* ») qui menace l'équilibre interne.

Vers une société de la connaissance, les enseignements de l'économie

Dans les premiers temps de l'économie politique, les économistes (Say, 1803) cherchant à décrire cette nouvelle science, lui assignèrent une mission bien précise : celle d'utiliser au mieux les ressources rares pour satisfaire les besoins des individus. Il fallait ainsi répondre à deux questions : (1) Que produire ? Il s'agissait de déterminer la nature et la quantité de biens à produire, (2) Comment produire ? Il fallait préciser les ressources et la méthode (combinaison technique) susceptibles d'atteindre les objectifs. Au final, toute activité économique devait déboucher sur la création de biens matériels. La fonction d'une entreprise se résumait à transformer des inputs (matières premières) en output (produits finis, biens,

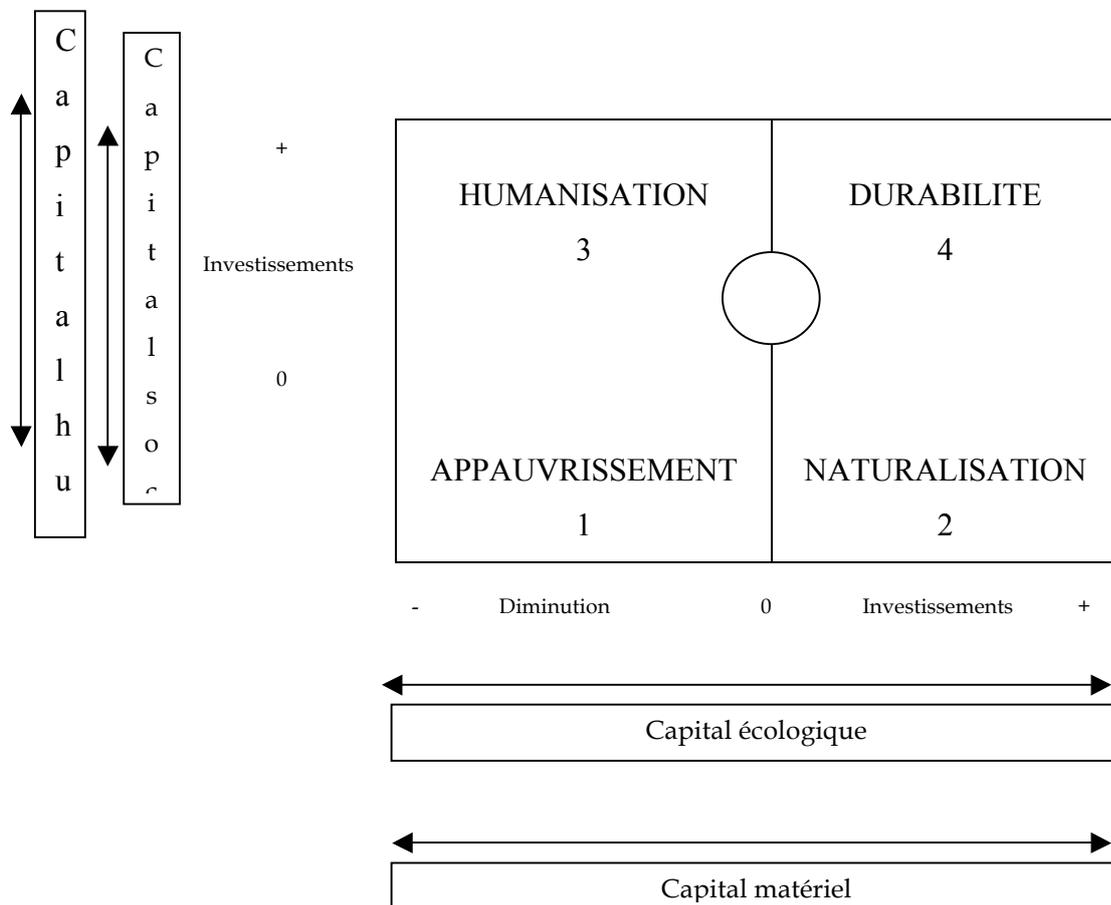
services) à partir d'une combinaison de travail et de capital. Si la production de biens matériels constitue la face apparente du système capitaliste, les économistes oublièrent de préciser que ces biens en question étaient le résultant d'une quantité d'énergie : « *Tout bien matériel... apparaît, s'il a été produit, comme le résultat d'une dépense énergétique mesurable... Toute force de travail est un potentiel énergétique susceptible de livrer de l'énergie et reconstituable par un apport d'énergie. Tout capital productif... fonctionne grâce à un apport d'énergie et fournit un travail mécanique énergétiquement mesurable* » (Passet, 1992, p. 125). Ce constat suggère deux pistes de réflexion :

- La première rappelle que l'énergie est liée à la matière par la loi d'équivalence d'Einstein ($e = mc^2$). Elle se présente à l'homme sous plusieurs formes : mécanique (travail), thermique (calorifique), électrique (ondulatoire), chimique (substances), nucléaire (atomique) et rayonnante (solaire). Chacune de ces formes correspondant à un état d'organisation de la matière, la tendance spontanée de tout système à se désorganiser et à s'orienter vers un autre état (de plus grand désordre) caractérise le phénomène entropique. Comme l'appareil productif des hommes est alimenté principalement par des énergies fossiles, l'activité économique comme le vivant ne peut échapper à l'entropie. Gérer un patrimoine énergétique en vue d'assurer la reproduction et la pérennité du développement (économique) implique donc une recherche d'efficacité consistant à structurer les flux énergétiques de façon à satisfaire au mieux les besoins. Plusieurs approches peuvent ici être mobilisées : (i) le rapport (énergie/PIB) nous informe sur l'efficacité avec laquelle l'appareil productif utilise les forces motrices pour fabriquer des biens et des services ; (ii) la notion de surplus énergétique nous indique l'aptitude du système à dégager les moyens nécessaires à sa croissance ; (iii) la réalisation de bilans éco-énergétiques (matrice input – output de Leontief) permet d'étudier la régulation des flux d'énergie dans une société ; (iv) la possibilité d'amortir le capital naturel et le capital humain comme le capital technique.

Dans ce dernier cas, on pourrait imaginer un modèle de développement durable dans lequel le capital naturel, le capital social et le capital humain viendraient compléter le capital industriel. Chaque capital serait dans l'obligation de rester intact car la productivité de l'un dépend de la disponibilité des autres. Thomas Gladwin (2000) a proposé d'évaluer les différents éléments du capital industriel (c'est-à-dire les stocks de biens de production et de consommation : usines, bâtiments, machines, outils, technologies, infrastructures et produits) en fonction de ses conséquences sur les quatre types de capital primaire : (1) écologique (ressources, processus, fonctions et services biologiques, cycliques et renouvelables), (2)

matériel (ressources géologiques ou non renouvelables comme les minerais, les combustibles fossiles et les eaux souterraines fossiles), (3) humain (connaissance, compétences, santé, alimentation, sécurité, motivation des personnes) et (4) social (ce qui a trait à la société civile, à la cohésion sociale, au respect de la vérité, à la liberté d'association, à l'ordre public...).

Une société réellement faite pour durer est une société qui organise son économie de façon à assurer la conservation de son stock de capital écologique, matériel, humaine et social. Elle doit investir et chercher à accroître ses stocks de capital primaire pour renforcer sa pérennité (Passet, 1971). Si l'on représente sur un schéma, les 4 types de capital, sous l'angle de la conservation et l'investissement en capital ou celui de la diminution du capital, on obtient quatre états différents pour l'humanité, dont un seul s'avère durable.



Le cadran 1 constitue la zone d'appauvrissement. La société vit imprudemment sur un capital qui s'évapore. Elle ne se maintiendra que jusqu'à l'épuisement ou la dispersion du capital naturel hérité (biodiversité, eaux souterraines, carburants fossiles...) étant donné qu'elle n'investit pas dans la conservation ou le renouvellement du capital. Ce type de société

n'investit pas dans sa population, notamment ses enfants. Le cadran 2 correspond à la zone de « naturalisation ». La société cherche de plus en plus à adapter les opérations économiques aux impératifs naturels. Cela se fait cependant au détriment du capital social et humain. En l'absence d'autres moyens, ces développements écologiques peuvent déclencher de forts mouvements de décomposition sociale, voire des soulèvements politiques. Faute d'intégrer la dimension humaine, la naturalisation peut aller à l'encontre du but recherché. Le cadran 3 est une zone d'humanisation dans laquelle les opérations économiques revêtent un caractère plus humain, mais au dépend du capital naturel qui diminue. Ceci peut prendre la forme d'une déforestation intensive relative à un phénomène d'urbanisation. La société créée sur cette base (diminution systématique du capital naturel) n'est pas durable à long terme. Le cadran 4 est la zone réellement durable. Les développements technologiques et économiques sont axés sur les êtres humains et la nature. Les écosystèmes ne sont plus détruits, on protège la biodiversité, on modère les flux physiques entropiques de matière et d'énergie. La société durable socialise l'ordre civique, démocratise la prise de décisions, humanise la création de capital et satisfait les besoins de l'humanité.

- La seconde suggère que l'activité économique introduit à la fois une dimension énergétique et une dimension informationnelle. Ainsi, selon Henri Laborit (1973, p. 29), « *quand un homme transforme de la matière inanimée en un produit de son industrie, à côté de la dépense énergétique que doit fournir la force de travail qu'il représente, il y a l'information qu'il apporte en établissant de nouveaux rapports entre les éléments de la matière inanimée qu'il manipule et dont il fera outils, machines ou produits consommables de son travail, en leur donnant une forme* ». Cette dimension informationnelle nous apparaît primordiale à plus d'un titre. D'une part, elle souligne que « *l'économie est une activité néguentropique structurante ayant pour effet d'incorporer de l'information structure dans la matière* » (Passet, 1992, p. 127). La croissance économique reposerait ainsi sur le stockage et la diffusion de ces connaissances. Les outils permettant de codifier et de transmettre l'information, en l'occurrence les ordinateurs, sont ainsi amenés à jouer un rôle prépondérant. On pourrait se diriger vers une dématérialisation du capital, susceptible d'économiser les flux de matière et d'énergie (ceux-ci seraient le support, nécessaire mais accessoire, de la production immatérielle). Bien entendu, il sera nécessaire de préciser les atouts et les limites d'une telle évolution (illustration de l'effet rebond lié aux NTIC : l'usage de l'ordinateur et des imprimantes ont entraîné une surconsommation de papier). D'autre part, l'entrée dans la société de services doit initier un vaste mouvement qui, par l'intermédiaire du système

d'informations, modifiera la mesure de la valeur (déplacement du calcul économique du coût marginal à l'amortissement de coûts fixes, passage du quantitatif au qualitatif) et la finalité de la vie (l'économie de la fonctionnalité substitue la fin [utiliser le service] aux moyens [s'approprier le bien qui rend le service]). Enfin, l'information doit être conçue comme le prolongement de la technique. Si l'innovation (processus de création – destruction) est bien une projection de l'esprit (analyse logique : essais, erreurs), l'accumulation et la transmission du savoir acquis nécessite l'existence d'une courroie de transmission. Ce sont les structures sociales et la mise en place d'une véritable culture de l'information (tradition, codes, conventions...) qui vont initier ce mouvement. Dans la pratique, ces innovations organisationnelles prendront la forme de réseaux de relations et de communications. Ce sont eux qui assureront la reproduction du système et qui secrèteront les normes, les symboles et les valeurs de la société.

Cette nouvelle approche, qui combine énergie et information, constitue un enjeu important pour les générations futures. Pour que la société de la connaissance prenne son envol, il convient de mobiliser les forces productives et de dégager les surplus nécessaires à l'accumulation et la transmission des savoirs. Comme le rappelle René Passet, « *c'est en libérant les esprits de l'obsession de la survie, que [la production de surplus énergétique]... favorise la diversification des recherches et des savoirs* » (1992, p. 145).

Conclusion

L'éducation au développement durable suggère la mise en place d'un socle commun de connaissances, elle pose surtout le problème de l'interrelation qu'il convient d'établir entre les trois sphères que sont la biosphère, la sociosphère et l'écosphère. Si l'économie a eu tendance à balkaniser la majeure partie des débats sur le développement durable, nous sommes en train d'entrer dans une période de frénésie intellectuelle que l'on pourra qualifier d'échanges interdisciplinaires. Au final, c'est par le dialogue et l'écoute que nous serons capables de faire émerger des principes et des règles au niveau écologique, social et économique. D'un point de vue écologique, il convient de supprimer tous les rejets toxiques dans la biosphère ; d'exploiter les ressources renouvelables (forêts, pêche, eau douce...) à un rythme égal ou inférieur à celui de leur renouvellement ; de préserver la biodiversité ; de chercher à restaurer

les écosystèmes endommagés ; de réduire les risques et les dangers ; de procéder à une dématérialisation « avisée et responsable » des produits (en remplaçant la matière par l'information) ; de revoir les processus de production et les produits pour les concevoir sous forme de flux matériels cycliques. D'un point de vue social, il s'agit de donner plus à la communauté ; d'inclure toutes les parties prenantes (notamment le monde associatif) dans les processus de décisions ; de promouvoir le respect des droits et des obligations ; de contribuer à la réduction et à l'élimination des inégalités sociales ; d'éviter toute perte de capital humain au sein de la communauté (perte d'emplois et chômage) ; d'assurer la satisfaction des besoins fondamentaux de l'humanité avant de répondre aux goûts de luxe. D'un point de vue économique, il est nécessaire de réfléchir sur la portée des outils mobilisés (taxe, normes, marchés) ; sur nos critères de mesure de la richesse (aménagement du PIB, référence à l'empreinte écologique, analyse à partir d'un IDH approfondi, évaluation de la biodiversité) et sur les modalités du dialogue (échanges entre spécialistes des sciences).

Le conflit qui a longtemps opposé sciences du vivant et science économique, écologie et économie, constitue encore une pierre d'achoppement qui ne permet pas de dessiner les contours du développement durable. Les récents travaux initiés en écologie industrielle et en écologie politique nous amènent cependant à penser que des solutions viables sont envisageables. Les concepts d'écosystème industriel, de métabolisme industriel ou de symbiose industrielle ouvrent la voie à de nouveaux modèles éducatifs, dans lesquels l'écologie absorberait purement et simplement l'économie.

Bibliographie

Azam G., & Pouchol M. (2009), « La logique économique, la durabilité et l'immatériel » in Laperche B., *et al.* (eds), *Développement durable : pour une nouvelle économie*, Peter Lang.

Bernard C. (1877), *Leçons sur les phénomènes de la vie communs aux animaux et aux végétaux*.

Boulding K. (1966), « The Economics of the Spaceship Earth » in Henri Jarret (ed), *Environmental Quality in a Growing Economy*, Baltimore, John Hopkins.

Bourg D., & Rayssac G-L (2006), *Le développement durable maintenant ou jamais*, Gallimard.

Commoner B. (1971), *L'encerclement*, Seuil.

Brillouin L. (1956), *Science and Information Theory*, Academic Press.

Carnot S. (1824) «*Réflexions sur la puissance motrice du feu et sur les machines propres à développer cette puissance* » Paris, Bachelier.

CLUB DE ROME, (1972), *Le rapport Meadows : Halte à la croissance*, trad française, Fayard.

Cook E. (1971), « The Flow of Energy in a Industrial Society », *Scientific American*, sept.

Daily H.E (1992), « Il n'y a pas de croissance durable », *Transversales Science – Culture*, n°13, Janvier – février.

Dannequin F., & Diemer A. (2009), « Le capitalisme dématérialisé comme développement durable ? », in Laperche B., Crétiéneau A-M, Uzinidis D. (eds), *Développement durable : pour une nouvelle économie*, Peter Lang.

Dannequin F., *et al.* (2000), « la nature comme modèle? Ecologie industrielle et développement durable », *Cahiers du CERAS*, n° 38, mai, pp. 62-75.

Dannequin F., & Diemer A. (1999a), « La place de la biologie et de la thermodynamique dans la théorie contemporaine : l'oeuvre scientifique de Nicholas Georgescu-Roegen », Colloque de l'ACGEPE, 26—27 septembre, Paris, 8 p.

Dannequin F., & Diemer A. (1999b), « De l'entropie à la constitution d'un programme bioéconomique : Le grand projet de Nicholas Georgescu-Roegen », *Cahiers du CERAS*, Décembre, n° 42, pp. 1- 9.

Dannequin F., *et al.* (1999a) « *Ecologie industrielle et développement durable* » Colloque de Reims, Hermès, 8 p.

Dannequin F., *et al.* (1999b) « *Industrielle ou politique ? Quelle écologie pour le développement durable ?* » International Conference on Industrial Ecology and Sustainability, Université technologique de Troyes les 22-25 septembre, 8 p.

Dannequin F., *et al.* (1998) « *Thermodynamique, biologie et économie chez Georgescu-Roegen* » Colloque de Reims, journées Hermès, 7 décembre, 8 p.

Dannequin F., & Diemer A. (1998) " *Nicholas Georgescu-Roegen, penseur de la production, penseur de la révolution industrielle*", Colloque international "L'oeuvre scientifique de Nicholas Georgescu-Roegen", Strasbourg, novembre, pp. 1 – 32.

De Gleria S. (1995) «Nicholas Georgescu-Roegen : A Mind That Thought Above his Time », *Economia Internazionale*, vol 48, n°3, Août, pp. 317 - 346.

Dragan J.C, *et al.* (1993) «*Entropy and Bioeconomics* » Proceedings of the First International Conference of the European Association for Bioeconomic Studies, Rome, 28-30 Novembre 1991, Milan: Nagard.

Diemer A. (2010), « L'écologie industrielle, retour sur le mythe de l'innovation », Forum IV, « *Environment, Innovation and Sustainable Development* », Marseille, 7 – 8 octobre 2010, 25 p.

Diemer A. (2010), « Marchés financiers et psychologie économique », in Diemer A. et Dozolme S. (eds), *Les enseignements de la crise des subprimes*, Clément Juglar.

Diemer A. (2009), « Du développement soutenable aux programmes de décroissance : La naissance d'un véritable programme scientifique pour l'écologie politique », 3èmes journées du développement du GRES, 10 – 12 juin 2009, Bordeaux, 20 p.

Diemer A. (2009), « Du développement soutenable à la préservation de la biodiversité : comment valoriser les services écologiques ? », Journée d'études « *Biodiversité et gestion de l'espace* », Université Blaise Pascal, Clermont Ferrand – IUFM Auvergne, 13 mai, 23 p.

Diemer A. (2007), « Energie et développement durable, quelques pistes de réflexion », Journées d'études *Energie et développement durable*, 13 et 14 novembre, Université Blaise Pascal, Clermont-ferrand, 21 p. Paru sous le titre « La question énergétique au cœur du développement durable ? », *Cahier du CERAS*, Université de Reims, Janvier 2008, pp. 1-33.

Diemer A., & Labrune S. (2007), « L'écologie industrielle : quand l'écosystème industriel devient un vecteur du développement durable », *Revue Développement Durable et Territoires Fragiles*, octobre, pp. 1-23.

Dysson G. (1997), *Darwin Among the Machines*, Londres, Penguins.

Dupont de Nemours (1768), *Physiocratie ou constitution naturelle du gouvernement le plus avantageux au genre humain*, Librairie Merlin, Paris.

Ehrlich P. (1972), *Population, Ressources, Environnement*, Fayard.

Forrester J.W (1971), *World Dynamics*, Cambridge, Wright Allen Press.

Georgescu-Roegen N. (1995) «*Demain, la décroissance: entropologie-écologie-économie*», Sang de la Terre.

Georgescu-Roegen N. (1992) «*Georgescu-Roegen Nicholas about himself*» dans l'ouvrage de Szenberg M., « *Eminent Economists : Their Life Philosophies* », Cambridge.

Georgescu-Roegen N. (1987) «*Entropy* » in J. Eatwell, M. Milgate, P.K Newman, The New Palgrave, A Dictionary of Economics, vol I, London, Mc Millan Press, pp. 153 – 156.

Georgescu-Roegen N. (1988) «Closing Remarks : About Economic A Variation on a Theme by David Hilbert» *Economic Development and Cultural Change*, n° 36, Avril, pp. 291-307.

Georgescu-Roegen N. (1986) "Man and production", in Baranzani M. et Scazzieri R. (eds) "*Foundations of economics*", Basil Blackwell.

Georgescu-Roegen N. (1981) «*Neo-Populism and Marxism : A Comment on Utsa Patnaik* », *Journal of Peasant Studies*, vol 8, n°2, pp. 242-243.

Georgescu-Roegen N. (1979a) «*Demain, la décroissance: entropie-écologie-économie*» Pierre Marcel Favre. Réédition aux éditions Sang de la Terre (1995).

Georgescu-Roegen N. (1979b) «*Energy Analysis and Economic Valuation* » *Southern Journal of Economic* vol 45, pp. 1023-1058.

Georgescu-Roegen N. (1979c) "Methods in economic science", *Journal of economic issues*, vol XIII, n°2.

Georgescu-Roegen N. (1978) «De la Science Economique à la Bioéconomie », *Revue d'Economie Politique*, t LXXXVIII, n° 3, Mai-Juin, pp. 337 - 382.

Georgescu-Roegen N. (1978) "Mechanistic dogma and economics", *British review of economic issues*, 2.

Georgescu-Roegen N. (1977a) « What thermodynamics and Biology Can Teach Economists », *Atlantic Journal Economic*, vol 5, pp. 13 – 21.

Georgescu-Roegen N. (1977b) «What Thermodynamics and Biology Can Teach Economists », *Bio-Science* vol XXVII, avril, pp. 266 - 270.

Georgescu-Roegen N. (1977c) «Inequality, Limits and Growth from a Bioeconomics Viewpoint » *Review of Social Economy*, vol XXXV, pp. 361 - 375.

Georgescu-Roegen N. (1976), *Energy and Economic Myths*, New York, Pergamon Press.

Georgescu-Roegen N. (1975) «*Bio-Economic Aspects of Entropy* » dans «Entropy and Information in Science and Philosophy » J. Zeman, Amsterdam Elsevier.

Georgescu-Roegen N. (1974) «*Dynamic model and Economic Growth*» *Economie Appliquée* tXXVII n°4, pp. 529 – 562.

Georgescu-Roegen N. (1972) «*Process Analysis and the Neoclassical Theory of Production* » *American Journal of Agricultural Economics* vol 54, mai 1972, pp. 279 - 294.

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

Georgescu-Roegen N. (1970) «*The Economics of Production* » *American Economic Review* vol 60, pp. 1 - 9.

Georgescu-Roegen N. (1969a) «*Process in Farming versus Process in Manufacturing : A Problem of Balanced Development* », p. 497 – 528, publié dans l'ouvrage de Nunn .C et Papi .U «*Economic Problems of Agriculture in Industrial Societies* » London Mc Millan.

Georgescu-Roegen N. (1969b) «*The Institutional Aspects of Peasant Communities : An analytical View*» dans Clifton.R, Wharton.J «*Subsistence Culture and Economic Development* », Chicago Aldine, pp. 61 - 99. Réédition dans «*Energy and Economic Myths* » (1976) Pergamon Press, p. 199-235.

Georgescu-Roegen N. (1966) «*Analytical Economic-Issues and Problems*» Havard University Press, Cambridge, «*La Science Economique: ses problèmes et ses difficultés*» Dunod 1969.

Georgescu-Roegen N. (1965) «*The Institutionnal Aspects of Peasant Economics : A Historical and Analytical Review* » *Proceedings of the Agricultural Developpement Council Seminar on Subsistence and Peasant Economies*. C.R Wharton, Honolulu, Mars.

Georgescu-Roegen N. (1960) "*Economic Theory and Agrarian Economics*" Oxford Economic Papers vol XII, pp. 1 - 40.

Gintis H. (2000), *Game Theory Evolving*, Princeton University Press.

Gladwin T.N (2000), « Plaidoyer en faveur d'un développement durable », *Les Echos, L'art de la stratégie*, n°12, 8 juin.

Grinevald J. (2005), « Georgescu-Roegen, bioéconomie et biosphère », p. 44-57, in Bernard M., Cheynet V., Clémentin B., *Objectif décroissance. Vers une société harmonieuse*, Parangon.

Grinevald J. (1996) « Nicholas Georgescu-Roegen : La Ley de la Entropia y el Proceso Economico » Madrid, *Fundacion Argentaria/ Visor* 1, pp. 1 - 37.

Grinevald J. (1993) "Georgescu-Roegen-Roegen : bioéconomie et biosphère" ; *Silence*, n°164, avril.

Harribey J.M (1997), *L'économie économe, le développement soutenable par la réduction du temps de travail*, L'Harmattan, Paris.

Heurgon E., & Landrieu J. (2007), *L'économie des services pour un développement durable*, L'harmattan.

Illich I. (1975), *Energie et Equité*, Seuil.

Illich I. (1973), *La convivialité*, Seuil.

Jonas H. (1979), *Le principe de responsabilité. Une éthique pour la civilisation technologique*. Cerf, Paris.

Laborit H. (1973), *Société informationnelle*, Du Cerf.

Krugman P. (2010), « Crises et inégalités : des causes communes », *Alternatives économiques*, n°295, octobre, pp. 104 – 107.

Larrere C., & Larrere R. (1997), *Du bon usage de la nature. Pour une philosophie de l'environnement*, Alto-Aubier.

Kartchevsky A., & Maillefert M. (2009), « Les approches du développement durable : des théories aux politiques », in Laperche B., Crétiéneau A-M, Uzinidis D. (eds), *Développement durable : pour une nouvelle économie*, Peter Lang.

Latouche S. (2005), « A bas le développement durable ! Vive la décroissance conviviale », p. 19-27, in Bernard M., Cheynet V., Clémentin B., *Objectif décroissance. Vers une société harmonieuse*, Parangon.

Morin E. (1973), *Le paradigme perdu : la nature humaine*, Seuil, Paris.

Odum H.T (1971), *Environment, Power and society*, Wiley Interscience.

Odum E.P. (1971) *Fundamentals of Ecology*, Philadelphia, W.B. Saunders Company, 3rd ed.

Odum E.P (1983), *Basic Ecology*, Saunders College Publishing, Philadelphia.

Passet R. (1971), « Une science tronquée », *Le Monde*, 12 janvier.

Passet R. (1979), *L'économie et le vivant*, Payot.

Prigogine I. (1972), « La thermodynamique de la vie », *La recherche*, juin.

Quesnat F. (1765), Le droit naturel, *Journal de l'Agriculture, du Commerce et des Finances*, septembre. Réédition dans les *Œuvres économiques et philosophiques de François Quesnay*, Auguste Oncken (1888), Jules Peelman & Cie, Paris.

Ramade F. (1974), *Eléments d'écologie appliquée*, Ediscience, Paris.

Rees W., & Wackernagel M. (2005), *Notre empreinte écologique*, Ecosociété.

Robbins L. (1932), *A Essay on the Nature and the Significance of Economic Science*, Londres, McMillan.

Rosnay J. (1975), *Le macroscope*, Seuil.

Schrodinger E. (1945), *What is Life ?* Traduction française, Qu'est ce que la vie ? Christian Bourgeois Editeur, Paris, 1986.

Solow R. (1973), "Is the end of the world at hand ?", *Challenge*, 16, 1, pp. 39-50.

Vivien F.D (2005), *Le développement soutenable*, La découverte.

Vivien F.D (2003), « Jalons pour une histoire de la notion de développement durable », *Mondes en Développement*, vol 31, n°121, pp. 1 – 21.

Vivien F.D (2000) « Industrielle ou politique ? Quelle écologie pour le développement durable ? » in Bourg D., Erkman S. (eds) *Industrial Ecology and Sustainability : Proceedings*, Troyes/ICAST.

Vivien F. D. (1994) "*Economie et écologie*", La découverte.