

# Synthèse HDR Compiègne

(2003)

Le but de ma recherche, [REDACTED], est de participer à la spécification et la résolution des problématiques associées au vocable 'environnement'.

Celle-ci s'est organisée selon deux axes:

- des études pratiques et concrètes pour favoriser la mise en œuvre de politiques de l'environnement dans les entreprises et dans les collectivités locales;
- l'élaboration de grilles de lecture des problématiques de l'environnement.

Le travail réalisé sur les couplages assurances-environnement constitue la pierre angulaire de cette recherche duale car les interrogations techniques et concrètes des assureurs [REDACTED] se sont révélées inséparables de problématiques fondamentales.

Les publications mentionnées ponctuent le cheminement de cette recherche. Les lignes suivantes tentent d'en exposer le contexte, largement développé dans le mémoire HDR soumis aux rapporteurs et membres du jury.

La première étape, engagée pendant mes études (1979-1984) a consisté à déterminer une grille de lecture de la 'crise de l'environnement' et de qualifier ce concept. Les principales propositions furent résumées dans l'ouvrage "*Symphonie n°6; impressions sur le concept 'environnement'*" et notamment le dualisme Environnement/SurEnvironnement.

La seconde étape eut pour ambition d'évaluer la pertinence du modèle défini ci-avant par une étude des couplages assurances-environnement. Celle-ci permit de le conforter et de préciser les principales problématiques posées par l'intégration de l'environnement dans nos pratiques sociales. Ainsi, cette étude détermina le périmètre d'intervention des techniques d'assurance en matière d'environnement et notamment leur incapacité à traiter le dommage écologique pur portant sur les biens inappropriés (*res nullius*). Ceux-ci sont en effet traditionnellement conçus comme le SurEnvironnement fondamental de nos pratiques sociales que critiquent les environmentalistes; ces derniers cherchant finalement à déterminer les conditions de réintégration des SurEnvironnement dans les Environnement.

Cette ambition se manifeste dans le concept de développement durable popularisé à l'occasion de la conférence de Rio de 1992. Il exprime la volonté de réaliser une synthèse entre développement économique et préoccupations sociales et environnementales. Les principales idées avancées à l'issue de cette recherche furent résumées dans l'ouvrage "*Assurance, développement durable et environnement*" publié chez Economica et dans ma thèse soutenue en 2000: "*Apports des techniques assurantielles au développement durable. Un cas concret: l'assurance des atteintes à l'environnement*".

L'approche de l'environnement à partir de laquelle s'organise cette recherche est donc fondée sur l'existence de 'SurEnvironnement' qui n'ont pas été intégrés aux processus de développement, comme les 'biens inappropriés', mais que la 'crise de l'environnement' oblige désormais à prendre en compte. C'est le but du Développement durable. Cette problématique, une fois formalisée, est alors à l'origine d'une troisième étape de recherche élaborée à partir d'une définition du Développement durable issue du modèle fondé sur l'articulation Environnement/SurEnvironnement.

Cette troisième étape, incommensurable, sera celle développée dans le futur dans l'hypothèse où un statut durable de professeur me permette d'abandonner mes activités professionnelles pour m'y consacrer totalement. Les problématiques et axes de recherches associés sont exposés dans le mémoire HDR. Ceux-ci concernent essentiellement la construction du dualisme Environnement/SurEnvironnement et l'élaboration de nouvelles grilles de lecture du fonctionnement des écosystèmes artificiels. Mais à la différence des travaux menés dans le cadre du paradigme classique, ceux-ci seront nourris des choix épistémologiques du paradigme

écosystémique que la crise de l'environnement et les sciences de l'environnement participent à construire. Le titre du mémoire HDR a été choisi pour résumer les enjeux philosophiques des préoccupations environnementales dans la science: *'Environnement: du paradigme classique au paradigme écosystémique'*.

Ainsi, l'essai *"Coût du travail et exclusion"* publié aux Editions de l'Aube tente de montrer comment une approche écosystémique de phénomènes socio-économiques fondée sur la notion de complexité permet d'avancer des grilles de lecture différentes de celles en usage aujourd'hui. Le modèle éco-énergétique de la valeur-ajoutée en est la pierre angulaire.

### *De l'environnement au dualisme Environnement/SurEnvironnement*

La première étape aboutissant au dualisme Environnement/SurEnvironnement se déroula dans un contexte d'incertitude conceptuelle concernant le mot 'environnement'.

L'explosion démographique, la pollution, la disparition d'espèces animales ou végétales, etc., alimentaient au début des années 1970 un discours multiformes, expression de la crise de l'environnement. Celle-ci est faite de l'ensemble des interrogations suscitées par l'artificialisation croissante de nos écosystèmes qui jusque dans les années 1970 était perçue comme le vecteur d'amélioration de la condition humaine. Elle manifeste un changement radical à l'échelle millénaire de nos rapports avec la Nature et le fait que, comme le souligne C.Larrère<sup>1</sup>, *"ce qui allait de soi ne l'est pas"*.

A cette époque, les juristes tentaient de créer un code de l'environnement pour donner à ce concept la même pertinence que ceux de 'code l'aviation civile' ou de 'code du blé'. La tâche fut sans doute difficile car, alors que ce projet remonte au début des années 1970, la partie législative du code de l'environnement ne fut publiée qu'en novembre 2000, soit trente années après. Aussi, la nécessité d'organiser le concept d'environnement s'est imposée à tous les environmentalistes. Ces derniers prennent vite conscience en effet que l'environnement n'est pas réductible à l'hygiène du milieu ou à l'aménagement du territoire, bien que les intégrant. D'où la nécessité de qualifier le concept 'environnement' à partir d'une distinction entre Milieu et Environnement d'une part et la nécessité de recourir au dualisme Environnement/SurEnvironnement d'autre part. L'association de nouveaux concepts pour décrypter les causes de la crise de l'environnement est résumé par la figure suivante:

Sur le fondement de ces concepts, il est alors possible de préciser les différentes catégories de problématiques relevant de l'environnement mais que l'originalité de la crise de l'environnement contemporaine est l'ambition de supprimer les développements socio-économiques fondés sur le dualisme Environnement/SurEnvironnement. L'évolution du droit, que les assureurs ont contribué à éclairer, exprime le volonté d'internaliser les coûts sociaux sur le plan économique, et l'étendre la notion de personne et de tiers. Ces deux évolutions du droit sont la conséquence de la suppression progressive du SurEnvironnement de la noosphère par l'intégration de ce dernier dans l'activité de chaque Moi/Environnement. Le principe pollueur-payeur en fut une des premières expressions.

Aussi, selon cette approche fondée sur l'existence du SurEnvironnement comme facteur de développement, le but de notre recherche porte sur les manifestations actuelles et passées de ce SurEnvironnement ainsi que sur les conditions de son intégration aux Environnement des Moi dominants. Ce fut notre première définition de la problématique de l'environnement.

---

<sup>1</sup> LARRERE Catherine, *"Les philosophies de l'environnement"*, Puf, 1997

Ce modèle posait les bases de plusieurs problématiques qui de 1986 à aujourd'hui constituent nos axes de recherche<sup>2</sup> :

- le premier donc porte sur la validité du modèle fondé sur le SurEnvironnement. L'étude des couplages assurances/ environnement permet de le faire;
- le second tend à alimenter les discours sur les principes de fonctionnement des écosystèmes naturels ou artificiels; leurs fondements communs et leurs différences;
- le troisième cherche à examiner et à définir les rapports Nature-Culture dans toutes les communautés humaines comme opposition SurEnvironnement/ Environnement.
- enfin le quatrième postule que l'environnement est un facteur de subsumation des paradigmes dominants, notamment en participant à la fondation d'un paradigme écosystémique complémentaire du paradigme classique.

### *La validation du modèle: l'étude des couplages assurances-environnement*

En juin 1992 à Rio de Janeiro, les participants au Sommet de la Terre soulignaient la nécessité de prendre en compte l'environnement comme facteur incontournable du développement économique et social.

Cette conjonction des préoccupations économiques, sociales et environnementales comme bases du développement consacrait le concept de Développement durable, popularisé en 1987 par la Commission mondiale sur l'environnement et le développement (Commission Brundtland). A la même époque, au début de l'année 1993, les principaux réassureurs opérant en France annoncèrent aux sociétés d'assurance qu'ils ne renouvèleraient pas au 1 janvier 1994 les dispositions des traités de réassurances concernant le risque 'environnement'. Par cette décision, ils marquaient leur refus de s'engager résolument dans l'assurance des atteintes à l'environnement.

Cet antagonisme oppose en quelque sorte un monde réel, celui des assureurs, à un monde virtuel élaboré au cours de grandes manifestations internationales. Il exprime les difficultés soulevées par des conceptions divergentes de la prise en compte de l'environnement.

L'étude des couplages assurances/ environnement/ développement durable permet de saisir les raisons de cette situation et notamment de soumettre à la critique le modèle construit à partir de la notion de SurEnvironnement par une recherche factuelle et concrète. Celui-ci fut conforté par l'étude des couplages assurances et environnement réalisée de 1993 à 2000.

Cette analyse a montré que l'engagement de l'assureur dans le domaine de l'environnement est volontairement limité par le cadre juridique, économique et technique dans lequel il évolue. Celui-ci ne permet pas, en l'état, d'internaliser les destructions accidentelles du "stock de capital naturel". Sur le plan juridique, un des obstacles les plus importants est la qualification précise du dommage à l'environnement; une distinction étant faite entre les dommages causés à des biens patrimoniaux et ceux échappant à la sphère marchande, qui par conséquent ne peuvent faire l'objet d'aucune estimation monétaire.

Alors que les premiers ne soulèvent pas de difficultés insurmontables pour les estimer selon les pratiques actuelles (code civil), ce qui permet aux assureurs de les intégrer dans le champ de l'assurable, les seconds relevant de la qualification de dommages écologiques purs affectant des biens inappropriés (*res nullius*) sont actuellement exclus des conventions d'assurance en raison de leur non-reconnaissance par le droit commun. L'analyse de la jurisprudence dans ce domaine aboutit à la conclusion que l'environnement, assimilé aux biens inappropriés, est peu ou pas pris en compte comme base d'indemnisation. Or, ce stock de capital naturel est identifiable au SurEnvironnement, essentiel dans le modèle de développement critiqué au nom de

---

<sup>2</sup> Nous ne pouvons établir de hiérarchie entre ces quatre axes, car les uns et les autres progressent simultanément et en synergie.

l'environnement. Il est donc le pivot, de notre point de vue, de toutes attitudes originales dans ce domaine.

L'absence de reconnaissance juridique limite alors l'estimation économique et par conséquent rend l'évaluation statistique et monétaire du risque incertaine. Or, stabilité juridique, estimation économique et évaluation technique du risque sont indispensables à l'assureur pour exercer son métier.

A cela s'ajoutent les difficultés à raisonner sur le long terme voulue par les prosélytes du Développement durable. Dans un article, à paraître, dans la revue Préventique nous avons tenté de montrer les obstacles juridiques et économiques s'opposant à un élargissement temporel du transfert des risques par la technique d'assurance.

Cependant, cette détermination des obstacles est loin d'être négative car elle participe à spécification des problématiques de l'environnement et à l'élaboration de définitions qui en rendent compte.

### La définition de la problématique

Face à la globalisation, à la découverte de la finitude de notre monde, à l'émergence d'un village planétaire, le concept de Développement durable remet sciemment en question un développement fondé sur l'existence et au détriment de SurEnvironnement. Tous les travaux sur le Développement durable traduisent une volonté institutionnelle de concevoir le développement de l'humanité dans une perspective géographique finie et surtout de ne pas faire supporter à des SurEnvironnement les conditions de la réalisation des objectifs existentiels de Moi et de l'entretien de leurs Environnement. La définition que nous avons avancée, dans le prolongement de celle élaborée à partir des nouveaux concepts, est que le Développement durable consiste à internaliser monétairement la totalité des coûts sociaux, dont l'utilisation et les dommages à l'environnement assimilés à des biens inappropriés, afin de réaliser les buts de la définition<sup>3</sup> inscrite dans tous les documents la mentionnant.

Selon une approche très monétaire, le Développement durable est par conséquent fondé sur un mode de développement tendant à valoriser la totalité des coûts sociaux sous forme de coûts privés monétarisés. Il est fait de l'ensemble des pratiques qui participent à l'internalisation financière des flux réversibles d'entropie susceptibles d'affecter la durabilité d'autres systèmes. La définition du développement durable devient: *"Le développement durable consiste en l'intégration dans le processus économique pde toutes formes d'activité économique par l'internalisation des coûts d'utilisation de cet environnement en écartant les pratiques qui font supporter à des tiers ayant ou non une personnalité juridique (notion de responsabilité) les coûts sociaux (coûts externes) générés par une activité (internalisation). Il recouvre l'ensemble des techniques et concepts susceptibles de réaliser ce but"*.

A partir de cette définition associant environnement à développement durable se pose la question de l'histoire de la séparation entre Nature et Culture, mais aussi du rapprochement entre l'approche monétaire de l'économie et l'approche que nous qualifierons d'écosystémique. Rappelons que l'assureur a besoin d'une évaluation monétaire pour faire son métier. Notre discours s'élabore à partir de cette problématique fondamentale, étayée par notre approche de l'environnement. De nouvelles questions se posent alors: sur quoi se fonde la valeur d'un objet économique? Quels sont les principes de fonctionnement des écosystèmes une fois admis une différence entre les écosystèmes naturels (*res nullius*) et artificiels (*res propriae, res communis*)? Les environnementalistes évoluent-ils dans un paradigme différent de celui auquel adhèrent nos contemporains? Et si oui quelles en sont ses caractéristiques? Quels sont alors les sociaux-types de l'environnement? Notre choix épistémologique est que l'environnement est un concept imposant une nouvelle approche que nous avons exposée, et que celle-ci oblige à subsumer de nombreux discours contemporains et à en créer de nouveaux. D'où la nécessité de développer le paradigme écosystémique.

---

<sup>3</sup> La Commission Brundtland définit le Développement durable comme celui "qui répond aux besoins des générations suivantes sans compromettre la capacité des générations futures à répondre aux leurs". Elle a noté que sa définition contenait deux concepts clés: les besoins, qui désignent "en particulier les besoins essentiels des populations démunies de la planète", et les limites, qui désignent "celles imposées, par l'état de la technique et l'organisation sociale, à l'aptitude de l'environnement à répondre aux besoins présents et futurs."

## La nécessité écosystémique

A côté d'un débat portant sur la philosophie morale (l'écologie politique) s'est édifiée une philosophie naturelle dédiée à l'environnement fondée à partir de sciences que sont la théorie des systèmes, l'écologie, mais surtout la thermodynamique. Les concepts et propositions fondamentales issues de ces trois disciplines alimentent le paradigme écosystémique

L'élément fondamental du paradigme écosystémique procède d'une vision des frères Odum où: *"les organismes vivants, les écosystèmes et la biosphère tout entière possèdent la caractéristique essentielle d'être capables de créer et de maintenir un état d'ordre intérieur, ou de basse entropie"*.

Puis, l'œuvre de I. Prigogine, apporta l'idée que l'apparition d'ordre, donc la décroissance d'entropie localement, s'accompagne d'une augmentation de celle-ci dans le milieu; le solde étant toujours positif. La fonction d'état entropie se décompose alors en deux termes: une fonction réversible, une fonction irréversible:

$$dS = d_e S + d_i S.$$

Cette innovation suscite de nombreuses controverses, mais elle est fondamentale pour l'édification du paradigme écosystémique donc de l'approche scientifique de l'environnement. Après avoir été la science de l'équilibre thermique à travers les premier et second principe, la thermodynamique est devenue la science des phénomènes irréversibles, puis des structures dissipatives. L'écosystème est alors conçu comme une structure dissipative.

Un élément fondamental de la thermodynamique de non-équilibre linéaire est le théorème du minimum de production d'entropie à l'état stationnaire pour un système soumis à des contraintes données (Prigogine, 1947). Celui-ci est ainsi formulé: *"dans un système dominé par le régime linéaire où dominant les relations de Onsager, la production interne d'entropie irréversible atteint une valeur minimum à l'état stationnaire de non-équilibre"*. La stabilité des états stationnaires hors équilibre thermodynamique serait la conséquence de cette production minimum d'entropie.

Mais, lorsque le système rentre dans un état marginal, c'est-à-dire sort des conditions d'équilibre stationnaire défini par les relations de Onsager et le théorème de Prigogine-Glansdorff, celui-ci peut évoluer vers une organisation plus complexe. La complexité serait alors une réponse du système pour 'sortir' d'un état transitoire désordonné.

Ce terme de complexité, à côté des mots écosystème, entropie, et d'autres est fondamental pour les environmentalistes. Il est à l'origine d'une abondante littérature. Cependant, à côté de nombreuses définitions, nous retiendrons désormais que la complexité d'un être conçu comme système est fonction du nombre d'éléments (quantité, qualité), du nombre de relations (quantité, qualité) entre ces éléments et de leur densité dans un espace non euclidien. Cette définition qualitative permet d'intégrer le temps et donc l'histoire comme déterminants de la complexité, rejoignant ainsi les enseignements de la thermodynamique des phénomènes dissipatifs qui établit que l'identité d'un système est, non pas la conséquence des causes qui en sont à l'origine (principe de raison suffisante), mais de l'histoire de son évolution.

Les 'sciences de l'environnement' permettent alors d'entrevoir une nouvelle manière d'entendre le réel qui contesterait les présupposés de la science classique. Aussi, à une pensée qualifiée de classique est opposée désormais une pensée écosystémique. L'une et l'autre sont structurées à partir de deux paradigmes déjà évoqués: le paradigme classique et le paradigme écosystémique. Le paradigme est alors conçu comme *"un ensemble de propositions irréductibles, non démontrables et admises comme vraies qui participent à la construction d'un ou de plusieurs discours"*.

Ce sont majoritairement les problématiques soulevées par la crise de l'environnement et les sciences de l'environnement qui, à partir de discours innovants, favorisent l'émergence d'un paradigme écosystémique, édifié à partir de propositions différentes de celles du paradigme classique.

Sur plusieurs aspects les propositions constitutives sont radicalement antagonistes. Aussi, nous sommes confrontés à une véritable alternative épistémologique avec deux paradigmes irréductibles.

Ce paradigme écosystémique participe à l'élaboration de discours originaux sur l'environnement. L'économie écologique est un de ces discours. Fondée sur des problématiques caractéristiques de la pensée environnementale, cette nouvelle discipline, en pleine incertitude sur ses résultats, puise néanmoins avec ardeur dans des disciplines comme la thermodynamique et l'écologie pour forger un nouveau discours en rupture avec ceux élaborés par les économistes classiques, néo-classiques. En retour, cette discipline permet de construire un nouveau regard sur l'économie en général, affranchie des réflexions proposées par les économistes classiques évoluant dans le paradigme classique. Puis, elle complète le corpus des principes de fonctionnement des écosystèmes qu'ils soient naturels ou artificiels. Ceux-ci sont identiques pour les deux catégories d'écosystèmes, mais la dimension noosphérique des écosystèmes artificiels crée les conditions d'écart permanent entre les flux néguentropiques et leur représentation dans la noosphère. La monnaie est l'une de ces expressions. Ces flux néguentropiques sont faits de l'ensemble des flux qui participent à l'entretien et au développement de structures dissipatives de complexité donnée. Ils sont identifiés dans notre discours aux flux d'énergie, de matière et d'informations ou, pour résumer, tout ce qui va participer à l'entretien et au développement de la complexité d'un écosystème.

La performance néguentropique d'un système quel qu'il soit est par conséquent la capacité d'un système à simultanément:

- maximiser l'énergie libre ou énergie utile susceptible de réaliser un travail (Loi de Lotka, 1922);

- minimiser la production d'entropie (Théorème de Prigogine, 1945).

Ces deux extrêmes antagonistes déterminent un espace d'évolution énergétique du système, véritable cause de tous les phénomènes observés.

Ces idées-force des sciences de l'environnement favorisent aussi l'élaboration d'une grille de lecture des écosystèmes sous forme de principes<sup>4</sup>:

A: La complexité, la diminution locale de l'entropie, l'augmentation de l'exergy<sup>5</sup>, l'augmentation de l'énergie libre et du potentiel d'énergie libre par unité du système, la production d'entropie, croissent simultanément lorsque le système s'éloigne de l'équilibre thermodynamique.

B: La complexification d'une structure est une réponse systémique à la croissance du terme irréversible de la production d'entropie non exportable ( $d_iS$ ). Par défaut, le système évolue vers la mort thermique (équilibre thermodynamique). Le maintien en situation de non-équilibre est par conséquent le résultat dialectique temporaire entre le second principe de la thermodynamique (équilibre thermodynamique) et l'écart à l'équilibre thermodynamique, conséquence de la complexification de la matière.

C: Toute structure dissipative évolue loin de l'équilibre thermodynamique en dissipant des flux néguentropiques qui circulent ou sont stockés (notion d'énergie potentielle) dans celle-ci.

D: A l'équilibre homéostatique (en biologie) ou en situation d'état stationnaire hors équilibre thermodynamique (domaine de la thermodynamique hors équilibre en régime linéaire), quel que soit le niveau de complexité d'un système, le rendement théorique max de conversion néguentropique tend vers une constante.

Les différences de performances néguentropiques ne sont donc que la conséquence d'un écart à l'équilibre croissant, donc de complexité.

E: Tout système est soumis à la fois à des phénomènes linéaires et à des phénomènes non-linéaires; ceci est particulièrement vrai pour les écosystèmes artificiels (introduction du facteur moral dans l'évolution des écosystèmes artificiels). Autrement dit l'état stationnaire et l'état marginal coexistent dans des rapports variables selon le type de système considéré. Ainsi, les écosystèmes artificiels gèrent en permanence un état marginal plus important relativement que ceux observables dans les écosystèmes naturels.

F: Tout système cherche à la fois à maximiser l'énergie libre et à diminuer la production d'entropie.

---

<sup>4</sup> nous évitons volontairement les termes de loi ou de modèle, car ceux-ci supposent des choix épistémologiques et des protocoles pour explorer ces hypothèses-propositions.

<sup>5</sup> l'exergy d'un système est définie comme le maximum de travail qu'un système peut produire en regard du milieu dans lequel il évolue.

G: Plus un système est complexe, plus l'énergie libre rapportée à chaque constituant du système est élevée.

H: En terme systémique, toutes les stratégies développées par un système conçu comme la résultante d'éléments constitutifs et de leurs relations tendent vers une maximisation de l'énergie libre par élément constitutif et une minimisation de l'entropie du système par la complexification de celui-ci<sup>6</sup>. Ces extremum de potentiels thermodynamiques déterminent un espace d'évolution du système.

I: les flux néguentropiques passent par des structures de complexités différentes (notion de chaîne trophique). Les descentes du potentiel thermodynamique redox (exergy croissante, réduction) se font par des niveaux de complexité croissante; les montées de ce potentiel (exergy décroissante, oxydation) se font par des niveaux trophiques de complexité décroissante.

J: la complexification d'un système permet à celui-ci d'acquérir des propriétés irréductibles aux propriétés de ses composantes.

K: les ressources d'un système de complexité donnée sont toujours issues de systèmes de complexité inférieure, hormis les phénomènes de parasitisme.

Cette grille de lecture des écosystèmes résumée par des principes de fonctionnement permet d'élaborer de nouveaux discours sur l'économie, non plus fondés sur une approche réductionniste qui isole l'activité économique de l'écosphère, mais l'y réintègre par une approche écosystémique. En outre, chaque opérateur économique y est conçu comme un optimisateur énergétique participant à l'entretien et au développement de la complexité de l'écosystème dans lequel il s'insère. Fondée sur le modèle éco-énergétique de la valeur-ajoutée, une grille de lecture des phénomènes d'exclusion élaborée dans le paradigme écosystémique permet de disposer d'un autre discours sur ce phénomène à côté de ceux développés dans le paradigme classique par les économistes.

### Le modèle de la valeur ajoutée

A partir des fondements théoriques du fonctionnement des écosystèmes, nous avons proposé le modèle de la valeur ajoutée dont la création est due à une réflexion sur la lutte contre l'exclusion sociale; autre pilier du développement durable. La législation sur les 35 heures en fut le prétexte.

La thèse avancée est que, appréhendée isolément, la durée du travail n'est pas fondamentale en soi, ni le coût du travail d'ailleurs, mais que la dynamique de l'emploi, donc de l'exclusion, est majoritairement conditionnée par la relation entre la valeur-ajoutée (Va) et le coût du travail (Ct) d'une part, et la rémunération (i) du capital (C) d'autre part. Ces deux relations ne peuvent évoluer que dans une relation inverse l'une à l'autre. C'est à dire que si  $Va/Ct$  augmente,  $i/C$  diminue. Ces deux rapports tendent l'un et l'autre vers une constante spécifique à chacun dont la somme est égale à un.

Le modèle de la valeur-ajoutée relativise par conséquent toute politique fondée sur une baisse du temps de travail ou sur une baisse du coût du travail, obligeant à replacer celles-ci dans une perspective de relation constante entre la valeur-ajoutée et le coût du travail afférent. Mais alors que la théorie économique fonde ses discours à partir de la monnaie, nous avons voulu montrer que cette exclusion, avant d'être la résultante du jeu de l'économie politique, était la résultante d'une complexification croissante de nos écosystèmes artificiels.

La valeur-ajoutée y est alors conçue comme une néguentropisation<sup>7</sup> de l'espace, de la matière et du temps, c'est à dire un enrichissement informatif de ces ressources, sous l'effet d'un travail. Cette conception issue du paradigme écosystémique permet désormais de distinguer deux définitions de la valeur-ajoutée.

---

<sup>6</sup> Les stratégies développées ne reposent donc pas uniquement sur la compétition et la recherche de l'élimination des autres systèmes. Le don, la symbiose, l'association sont aussi des stratégies pertinentes, mais quelles qu'elles soient, elles tendent toutes vers le même but et peuvent évoluer sous l'effet des contraintes que subissent le ou les systèmes en cause.

<sup>7</sup> se reporter à l'annexe sur "l'apport des sciences de l'environnement au modèle de la valeur-ajoutée"

La première est fondée sur une approche monétaire comptable. La seconde est fondée sur une valeur-ajoutée physique. Nous retrouvons donc la dissociation célèbre entre économie monétaire et économie réelle. Le modèle de la valeur-ajoutée que nous avons proposé s'inscrit donc dans une vision de l'économie réelle fondée sur une approche écosystémique.

Pour qu'une valeur-ajoutée soit réalisée par la vente d'un bien ou d'un service, il faut auparavant créer ou produire cet objet économique, ce qui nécessite la mobilisation de plusieurs ressources: temps, énergie, espace, matière, informations. La conjonction du travail et d'informations fournis par l'opérateur économique (individu, entreprise, service public, etc.) organise la complexification des relations entre ces ressources et aboutit à l'élaboration d'un bien ou d'un service, marchand ou non marchand. La valeur-ajoutée physique précède donc toujours la valeur-ajoutée comptable qui va dépendre du jeu de la noosphère.

Cette approche fondée sur les sciences de l'environnement ne permet pas de corréliser ce processus de complexification avec les enseignements de l'économie. En effet, il est possible de complexifier un objet économique sans que cela corresponde à la satisfaction d'un besoin privé ou collectif. En outre, il peut ne pas y avoir de relations entre le travail fourni et la valeur monétaire finale du produit.

La distinction entre valeur-ajoutée physique et valeur-ajoutée économique est par conséquent fondamentale pour comprendre comment notre organisation sociale condamne certaines personnes à vivre à la marge de nos sociétés marchandes à haut degré de complexité; leur capacité à créer de la valeur-ajoutée physique par leur travail est faible ou trop coûteuse, voire négative. L'exclusion organique dépend donc de la relation entre un opérateur économique potentiel susceptible de réaliser la complexification d'un objet économique dont l'utilité sociale sera déterminée par le niveau de complexité du système dans lequel il s'inscrit. La politique économique ou sociale vient alors renforcer ou diminuer cette exclusion. Une approche écosystémique de ce phénomène permet un éclairage supplémentaire pour les parties engagées dans ce débat, alors que l'environnement en fut la motivation originelle. D'où la nécessité d'organiser une recherche, par une approche très... classique de la connaissance.

### Quelle recherche pour quel futur ?

Les travaux prenant pour thème l'environnement sont nombreux. Ceux-ci tentent d'apporter des matériaux au fragile édifice que tentent de construire des environmentalistes rarement d'accord entre eux. Aussi, il est sans doute opportun de fonder une nouvelle discipline: l'envirologie. Elle se distinguerait néanmoins d'une épistémologie de l'environnement.

En effet, l'épistémologie est une discipline universitaire qui recouvre l'étude de l'ensemble des catégories du savoir. Ainsi, il y a à côté des épistémologies portant sur les sciences de la nature ou sur les mathématiques, des épistémologies concernant les sciences humaines: le droit, l'économie, la philosophie, l'histoire, la géographie, etc. Mais comme le rappelle Jean Piaget, l'épistémologie est "*l'étude de la constitution des connaissances valables*".

Or, l'environnement ne constitue pas à proprement parler un nouveau domaine de la connaissance, mais plutôt une manière d'organiser des éléments de la connaissance pour répondre à de nouvelles problématiques. A l'instar de la médecine qui existait avant la science moderne, mais ne peut désormais progresser sans elle, la démarche environnementale impose la maîtrise de techniques et d'outils mais ceux-ci constituent des moyens et non des fins. L'environnement n'a pas à revendiquer un statut de discipline comme la physique, le droit ou la philosophie, mais doit favoriser l'organisation de discours et de pratiques répondant à des problématiques nouvelles ou considérées comme telles.

Aussi, à l'expression d'épistémologie de l'environnement qui consisterait en l'étude de la constitution des connaissances valables en environnement, il serait préférable de proposer le néologisme: envirologie. Revendiquant alors le statut de discipline, celle-ci consisterait en l'étude des discours sur l'environnement. Son objet serait de les identifier, de déterminer les paradigmes qui les structurent et d'en proposer de nouveaux selon une approche multi- et transdisciplinaire. La création de cette discipline constitue un but prioritaire. Elle est l'aboutissement naturel du travail mené jusqu'à aujourd'hui.



En résumé, les innovations publiées par Frédéric Malaval portent sur:

- une grille de lecture de la crise de l'environnement fondée sur la notion de SurEnvironnement
- une recherche sur les couplages assurances/ environnement/ développement durable;
- le modèle de la valeur-ajoutée.

Les innovations-hypothèses avancées dans la thèse d'habilitation à soumettre aux rapporteurs:

- l'identification du paradigme écosystémique et du paradigme classique;
- un modèle qualitatif de fonctionnement des écosystèmes;
- l'équivalence flux monétaires et flux néguentropiques.

Aussi, aujourd'hui, ses recherches portent sur:

- l'envirologie avec deux axes prioritaires
  - . l'opposition entre paradigme classique et paradigme écosystémique;
  - . les rapports Nature-Culture
- l'élaboration d'une grille de lecture écosystémique des phénomènes économique
- ....

+++++

## Plan

### Environnement: du paradigme classique au paradigme écosystémique

Cv et publications.....	1/2
Résumé-conclusif.....	1/15
Introduction générale.....	1/6
I: De l'environnement au SurEnvironnement.....	1/9
A: Succès et dévoiement du mot 'environnement'.....	1/9
B: Le SurEnvironnement.....	3/9
C: Le Milieu et l'Environnement.....	5/9
D: Catégories des 'problématiques' de l'environnement.....	5/9
E: La disparition des SurEnvironnement.....	7/9
F: Esquisses des rapports Nature-Culture.....	8/9
G: Du SurEnvironnement au Développement durable.....	9/9
II: Du SurEnvironnement au dommage écologique pur.....	1/10
A: La crise de l'assurance 'environnement'.....	1/10
B: Principales problématiques posées par l'assurance des atteintes à l'environnement.....	2/10
1: Evénements à l'origine de la réaction des réassureurs face aux risques d'atteintes à l'environnement	
2: Le dommage écologique pur	
3: Les définitions de la pollution	
4: Réactions des assureurs pour organiser le risque 'environnement'	
C: Développement durable et assurances.....	5/10
1: De l'environnement au Développement durable	
2: L'assurance	
3: Apports de l'assurance au Développement durable	
D: De l'assurance des atteintes à l'environnement aux principes de fonctionnement des écosystèmes.....	10/10
III: D'Epiméthée à Kant: la rupture Nature-Culture.....	1/13
A: Les fondements du schisme Nature-Culture.....	1/13
1: Les fautes d'Epiméthée et d'Eve	
2: Les problématiques posées aux environnementalistes	
3: Les sociaux-type de l'environnementalisme	
B: L'histoire du schisme Nature -Culture.....	6/13
1: Le rôle de la pensée grecque	
2: L'antagonisme Platon-Aristote	
3: La Bible	
4: Descartes et l'ambition scientifique	
5: De Bacon à Smith: le mythe du progrès	
6: Kant et les choses	

C: Les résistances au dualisme Nature-Culture.....	10/13
1: Ronsard et les autres	
2: Le rapport à l'animal	
3: Les américains et l'environnement	
4: La législation nationale-socialiste allemande des années 1930	
D: Des rapports Nature-Culture à l'envirologie.....	13/13
IV: Les sciences de l'environnement.....	1/6
IV-a: Théorie des systèmes.....	1/6
A: Système dynamique et système thermodynamique.....	1/6
B: De la DCA à la théorie générale des systèmes.....	2/6
C: Dimensions structurelles et fonctionnelles d'un système.....	3/6
D: Rétroaction positive et rétroaction négative.....	4/6
F: Ecologie et système: l'écosystème.....	5/6
IV-b: L'écologie.....	1/11
A: Ecologiste ou écologue.....	1/11
B: De la géographie à l'écosystème.....	1/11
C: Les lois de l'écologie.....	7/11
D: Un concept phagocyté: la biodiversité.....	8/11
E: De la biodiversité à l'économie de l'environnement et au droit.....	8/11
F: L'écoféminisme: un exemple de contestation sociale par l'écologie.....	10/11
IV-c: La thermodynamique: pierre angulaire du paradigme écosystémique.....	1/30
A: Introduction.....	1/30
1: L'énergie	
2: Histoire de la thermodynamique (de Carnot à Prigogine)	
B: Les trois thermodynamiques.....	5/30
1: La thermodynamique d'équilibre	
a: Le premier principe de la thermodynamique ou principe d'équivalence	
b: Le second principe de la thermodynamique ou principe d'entropie	
c: La relation entropie-désordre	
d: Fluctuations et équilibre	
2: La thermodynamique du non-équilibre	
a: La thermodynamique linéaire	
b: La thermodynamique non-linéaire	
3: Les structures dissipatives	
C: Les développements de la thermodynamique.....	11/30
1: Thermodynamique et biologie	
a: Les concentrations d'énergie	
b: Les oxydo-réductions	
c: La photosynthèse	
d: La notion de rendement énergétique	
2: Les écosystèmes: structures dissipatives	
3: Les termes incontournables	
a: Information et néguentropie	
b: Exergy	
c: Homéostasie	
e: Non-linéarité	
f: Complexité	
4: Information et complexité	

5: Le moteur à explosion	
D: Les résistances du paradigme classique.....	23/30
E: Les conséquences philosophiques de la thermodynamique des phénomènes dissipatifs.....	26/30
1: La conception du temps	
2: Les limites de l'analyse mathématique	
V: Paradigme classique et paradigme écosystémique.....	1/18
A: Introduction.....	1/30
B: Le paradigme.....	1/18
1: Le paradigme flou	
2: Une application: la pédagogie de l'environnement	
C: Eléments du paradigme classique.....	4/18
1: Relations sujet/objet	
2: De la loi au modèle	
3: Des positivistes aux constructivistes	
D: Bases épistémologiques du paradigme écosystémique.....	23/30
1: La notion de système	
2: Les concepts de temps et d'ordre	
3: Résumé (tableau)	
E: Un débouché du paradigme écosystémique: l'économie écologique.....	12/18
F: Du paradigme écosystémique aux principes de fonctionnement des écosystèmes...	13/18
1: Ecosystème naturel et écosystème artificiel	
2: Deux théorèmes fondamentaux: la loi d'énergie max. de Lotka, le théorème de Prigogine	
3: Principes de fonctionnement des écosystèmes	
VI: Du paradigme écosystémique à une nouvelle lecture de l'économie.....	1/28
A: Introduction.....	1/28
B: Rappels des problématiques de l'environnement.....	2/28
1: Les interrogations majeures	
2: Le développement durable	
a: Soutenabilité forte	
b: Soutenabilité faible	
3: L'équation de Cobbs-Douglas	
C: Les deux approches de l'environnement.....	8/28
1: L'approche classique	
a: Les fondements de l'économie classique	
b: L'environnement dans l'économie classique	
2: L'approche thermodynamique	
a: Origines	
b: Loi de Lotka et théorème de production d'entropie	
c: Applications de l'approche énergétique	
3: Limites des approches classique et thermodynamique	
D: Du modèle écosystémique à l'économie.....	17/28
1: De l'écosystème naturel à l'écosystème artificiel	
a: La noosphère	
b: Le capital humain	
2: L'équivalence flux monétaires-flux néguentropiques	
3: Application à divers phénomènes	
a: Valeur et richesse	

b: L'illusion monétaire	
a-1: L'or espagnol	
a-2: L'inflation	
c: Valeur relative des monnaies et PIB	
d: Taux actuariel et espérance de complexification	
E: La Morale et l'écosystème.....	26/28
F: Conclusion.....	27/28
VII: Le modèle de la valeur-ajoutée.....	1/33
A: Introduction.....	1/33
B: La lutte contre l'exclusion: fondement du développement durable.....	1/33
1: La dimension sociale du développement durable	
2: Exclusion et chômage: l'insatisfaction des modèles traditionnels	
a: Théorie classique et néo-classique	
a-1: Cas de l'équilibre général	
a-2: Cas de déséquilibre	
a-3: L'apport des disciplines scientifiques à la vision classique de l'économie	
a-4: Postulats de base de la théorie classique	
a-5: Productivité marginale et emploi	
a-5-1: Substantialité entre les facteurs de production.	
a-5-2: Ratios fondés sur la productivité marginale du travail	
b: L'approche keynésienne et néo-keynésienne	
b-1: Demande effective et chômage involontaire	
c: La relation de PHILLIPS	
d: La vision marxiste	
d-1: Création de valeur	
d-2: Les causes du chômage	
e: Autres théories	
f: Chômage et réduction du temps de travail (RTT)	
C: Le modèle de la valeur-ajoutée.....	15/33
1: Le modèle Va/Ct	
a: Le coût du travail	
b: La valeur-ajoutée	
2: L'utilisation du ratio Va/Ct	
3: Le rendement du capital	
4: Le système d'équations valeur-ajoutée/capital	
5: Le partage de la valeur-ajoutée entre travail et capital	
a: Valeur-ajoutée et travail	
b: Valeur-ajoutée et capital	
6: Détermination des constantes d'équilibre	
7: Complexité et employabilité	
8: Le cercle vicieux	
9: Le risque des 35 heures selon le modèle de la valeur-ajoutée	
D: Origines du modèle.....	31/33
Conclusion générale.....	1/3

## Bibliographie

- envirologie.....	1/10
- assurance pollution.....	1/11
- sciences de l'environnement.....	1/2
- épistémologie.....	1/15
- économie de l'environnement.....	1/4
- exclusion.....	1/4

## Résumé-conclusif

# “L’environnement: du paradigme classique au paradigme écosystémique”

*De la crise de l’environnement au SurEnvironnement*

L’année 2001 aura été l’année du décès de René Dumont<sup>1</sup>, candidat à la présidentielle de 1974, mais surtout porteur d’un message écologiste en rupture totale avec ceux des partis dominants couvrant l’ensemble du spectre politique. Elle est l’aboutissement politique d’une réflexion menée par des philosophes, des scientifiques, des médecins, etc. où l’on croise les noms de W. Vernadsky, R. Dubos, P. Duvigneaud et de bien d’autres.

L’explosion démographique, la pollution, la disparition d’espèces animales ou végétales, etc., alimentèrent un discours multiformes; expression de la crise de l’environnement. Celle-ci est faite de l’ensemble des interrogations suscitées par l’artificialisation croissante de nos écosystèmes qui jusque dans les années 1970 était perçue comme le vecteur d’amélioration de la condition humaine. Elle manifeste un changement radical à l’échelle millénaire de nos rapports avec la Nature et le fait que, comme le souligne C.Larrère<sup>2</sup>, “*ce qui allait de soi ne l’est pas*”. Ces doutes sur l’avenir d’une humanité, désormais acquise au modèle de développement occidental, sont la conséquence de la découverte de la finitude de notre monde, mais aussi que l’artificialisation des écosystèmes est perçue comme un risque et non plus comme un progrès. 3000 années d’histoire élaborées à partir de la construction du dualisme Nature/Culture sont questionnées.

Une étude sommaire des rapports Nature/Culture permet d’avancer une idée simple: l’écosphère, dans son ensemble, est devenue un fait culturel. En moins de dix mille ans, l’homme, d’être issu de la Nature, est devenu maître et possesseur de cette Nature. Aujourd’hui, celle-ci n’est plus un obstacle au développement de l’humanité, elle est partie de la Culture. Or, cette Nature fut conçue comme infinie alors que la Culture était de dimension finie. La fin du vingtième siècle interroge cette organisation de la noosphère et imagine de lui en substituer d’autres: c’est la crise de l’environnement.

La réflexion que je présente est indissociable du parcours de l’étudiant que je fus et qui dans le prolongement de son engagement en faveur de l’environnement et de la nature avait entamé des études en environnement à une époque où ce mot ne suscitait pas le même adhésion qu’aujourd’hui. Comme mes camarades, je fus vite gêné par l’incapacité à résumer ce que recouvrait l’expression ‘protection et gestion de l’environnement’. Aussi, craignant que l’absence d’organisation conceptuelle du mot environnement n’aboutisse à sa disparition ou à son dévoiement, l’élaboration d’une grille de lecture satisfaisante devint une priorité.

A la même époque, les juristes tentaient de créer un code de l’environnement pour donner à ce concept la même pertinence que ceux de ‘code l’aviation civile’ ou de ‘code du blé’. La tâche fut sans doute difficile car, alors que ce projet remonte au début des années 1970, la partie législative du code de l’environnement ne fut publiée qu’en novembre 2000, soit trente années après. Aussi, la nécessité d’organiser le concept d’environnement s’est imposée à tous les environnementalistes.

Ces derniers prennent vite conscience que l’environnement n’est pas réductible à l’hygiène du milieu ou à l’aménagement du territoire. Leurs interrogations débouchent sur des discours multiformes que la création d’une Ecole de l’épistémologie de l’environnement permettrait d’identifier. Néanmoins cette volonté de classification réductrice ne dispense pas d’inventer un discours supplémentaire. C’est l’objet de notre recherche.

Celle-ci nous a conduit à proposer un ensemble de nouveaux concepts dont le SurEnvironnement est le pivot. Je proposai alors dans un essai<sup>3</sup> édité en 1996, mais rédigé 12 ans auparavant, une nouvelle grille d'analyse des problématiques de l'environnement à partir de la triade: Moi, Environnement, SurEnvironnement qui aboutit à une organisation systémique nouvelle résumée sur les assertions suivantes:

1: L'Etre est une structure douée du libre-choix dont la réalisation d'Objectifs ou de Choix Existentiels se traduit par la création d'un Moi.

Pour aboutir à ses fins, le Moi a besoin d'un Environnement. Sans cet Environnement, le Moi est dans l'incapacité de réaliser ses Choix Existentiels. Or, l'Environnement est aussi une structure. L'Etre évolue dans un Milieu, alors que le Moi se réfère à un Environnement fini et à un SurEnvironnement infini.

2: Le Milieu est imposé à l'Etre alors que l'Environnement est créé par le Moi.

3: Chaque organisation est assimilable à une structure dissipative productrice d'entropie. L'entropie réversible (deS) est exportée dans le SurEnvironnement car son accumulation dans l'Environnement contrarierait la réalisation des Objectifs Existentiels, donc l'existence du Moi qui les porte.

4: Le problème d'environnement d'après ces concepts est alors la coexistence pour un même noo-espace-temps d'un Environnement pour un Moi donné et d'un SurEnvironnement pour un autre Moi. Le premier Moi voit arriver dans son Environnement l'entropie produite et exportée par l'autre Moi. Or, la présence et l'accumulation de celle-ci dans son Environnement compromet la réalisation de ses Choix Existentiels.

5: L'expression noo-espace-temps indique que l'Environnement et le SurEnvironnement forment des ensembles intégrant des aspects culturels, spatiaux et temporels.

6: Les frontières entre ces ensembles sont floues.

Cette approche suggère par conséquent que les développements futurs ne se fassent plus à partir du dualisme Environnement/SurEnvironnement, mais par la suppression de ce dernier pour l'ensemble des noo-espace-temps. Cela suppose l'internalisation totale des coûts sociaux sur le plan économique, et l'extension de la notion de tiers sur la plan juridique; donc en intégrant le SurEnvironnement dans l'activité de chaque Moi/Environnement. Aussi, selon cette approche fondée sur l'existence du SurEnvironnement comme facteur de développement, le but de notre recherche porte sur les manifestations actuelles et passées de ce SurEnvironnement ainsi que sur les conditions de son intégration aux Environnement des Moi. Ce fut notre première définition de la problématique de l'environnement.

Ce modèle posait les bases de plusieurs problématiques qui de 1986 à aujourd'hui constituent nos axes de recherche<sup>4</sup>:

- le premier porte sur la validité du modèle fondé sur le SurEnvironnement. L'étude des couplages assurances/environnement permet de le faire;
- le second tend à alimenter les discours sur les principes de fonctionnement des écosystèmes naturels ou artificiels; leurs fondements communs et leurs différences;
- le troisième cherche à examiner et à définir les rapports Nature-Culture dans toutes les communautés humaines;
- enfin le quatrième postule que l'environnement est un facteur de subsumation des paradigmes dominants, notamment par l'opposition entre un paradigme



classique et un paradigme écosystémique. Le concept de développement durable s'inscrit dans ce dernier.

### *Du SurEnvironnement au res nullius*

En juin 1992 à Rio de Janeiro, les participants au Sommet de la Terre soulignaient la nécessité de prendre en compte l'environnement comme facteur incontournable du développement économique et social.

Cette conjonction des préoccupations économiques, sociales et environnementales comme bases du développement consacrait le concept de Développement durable, popularisé en 1987 par la Commission mondiale sur l'environnement et le développement (Commission Brundtland).

A la même époque, au début de l'année 1993, les principaux réassureurs opérant en France annoncèrent aux sociétés d'assurance qu'ils ne renouvèleraient pas au 1 janvier 1994 les dispositions des traités de réassurances concernant le risque 'environnement'. Par cette décision, ils marquaient leur refus de s'engager résolument dans l'assurance des atteintes à l'environnement.

Cet antagonisme oppose en quelque sorte un monde réel, celui des assureurs, à un monde virtuel élaboré au cours de grandes manifestations internationales. Il exprime les difficultés soulevées par des conceptions divergentes de la prise en compte de l'environnement.

L'étude des couplages assurances/environnement/développement durable permet de saisir les raisons de cette situation et notamment de soumettre à la critique le modèle construit à partir de la notion de SurEnvironnement par une recherche factuelle et concrète. Celui-ci fut confortée par l'étude des couplages assurances et environnement que nous fîmes de 1993 à 2000.

Cette analyse a montré que l'engagement de l'assureur dans le domaine de l'environnement est volontairement limité en raison du cadre juridique, économique et technique dans lequel il évolue. Celui-ci ne permet pas, en l'état, d'internaliser les destructions accidentelles du "stock de capital naturel".

Sur le plan juridique, la plus importante est la qualification précise du dommage à l'environnement; une distinction étant faite entre les dommages causés à des biens patrimoniaux et ceux échappant à la sphère marchande, qui par conséquent ne peuvent faire l'objet d'aucune estimation monétaire.

Alors que les premiers ne soulèvent pas de difficultés insurmontables pour les estimer selon les pratiques actuelles (code civil), ce qui permet aux assureurs de les intégrer dans le champ de l'assurable, les seconds relevant de la qualification de dommages écologiques purs affectant des biens inappropriés (*res nullius*) sont actuellement exclus des conventions d'assurance en raison de leur non-reconnaissance par le droit commun. L'analyse de la jurisprudence dans ce domaine aboutit à la conclusion que l'environnement, assimilé aux biens inappropriés, est peu ou pas pris en compte comme base d'indemnisation. Or, ce stock de capital naturel est identifiable au SurEnvironnement dont nous avons vu qu'il à la fois essentiel dans le modèle de développement critiqué au nom de l'environnement, et donc qu'il est le pivot, de notre point de vue, de toutes attitudes originales dans ce domaine.

De plus, l'absence de reconnaissance juridique limite l'estimation économique et par conséquent rend l'évaluation statistique et monétaire du risque incertaine. Or, stabilité juridique, estimation économique et évaluation technique du risque sont indispensables à l'assureur pour exercer son métier.

Parallèlement, à la même époque le concept de développement durable marquait le souci d'appréhender le développement non plus selon une approche réductionniste fondée sur l'économique, mais d'y intégrer les dimensions sociales et environnementales.

Nous avons alors suggéré que la technique d'assurance contribue au Développement durable des écosystèmes artificiels (man-made) et humain (human), mais peu dans le domaine de l'environnement (environmental) obligeant à faire appel à d'autres outils dont elle est toutefois un complément. Notre définition de la problématique de l'environnement fondée sur la notion de SurEnvironnement était alors traduite en des termes plus techniques.

### *Une définition technique de l'environnement et du développement durable*

Face à la globalisation, à la découverte de la finitude de notre monde, à l'émergence d'un village planétaire, le concept de Développement durable remet sciemment en question un développement fondé sur l'existence et au détriment de SurEnvironnement. Tous les travaux sur le Développement durable traduisent une volonté institutionnelle de concevoir le développement de l'humanité dans une perspective géographique finie et surtout de ne pas faire supporter à des SurEnvironnement les conditions de la réalisation des objectifs existentiels de Moi et de l'entretien de leurs Environnement.

La définition que nous avons avancée, dans le prolongement de celle élaborée à partir des nouveaux concepts est que le Développement durable consiste alors à internaliser monétairement la totalité des coûts sociaux, dont l'utilisation et les dommages à l'environnement assimilé à des biens inappropriés, afin de réaliser les buts de la définition inscrite dans tous les documents la mentionnant.

Le Développement durable est par conséquent fondé sur un mode de développement tendant à valoriser la totalité des coûts sociaux sous forme de coûts privés monétarisés. Il est fait de l'ensemble des pratiques qui participent à l'internalisation financière des flux réversibles d'entropie susceptibles d'affecter la durabilité d'autres systèmes. La définition du développement durable devient: *“Le développement durable consiste en l'intégration dans le processus économique par l'internalisation des coûts d'utilisation de cet environnement en écartant les pratiques qui font supporter à des tiers ayant ou non une personnalité juridique (notion de responsabilité) les coûts sociaux (coûts externes) générés par une activité (internalisation). Il recouvre l'ensemble des techniques et concepts susceptibles de réaliser ce but”*.

A partir de cette définition associant environnement à développement durable se pose la question de l'histoire de la séparation entre Nature et Culture, mais aussi du rapprochement entre l'approche monétaire de l'économie et l'approche que nous qualifierons d'écosystémique. Rappelons que l'assureur a besoin d'une évaluation monétaire pour faire son métier. Notre discours s'élabore à partir de cette problématique fondamentale, étayée par notre approche de l'environnement. De nouvelles questions se posent alors: sur quoi se fonde la valeur d'un objet économique? Quels sont les principes de fonctionnement des écosystèmes une fois admis une différence entre les écosystèmes naturels (*res nullius*) et artificiels (*res propriae, res communis*)? Les environnementalistes évoluent-ils dans un paradigme différent de celui auquel adhèrent nos contemporains? Et si oui quelles en sont ses caractéristiques? Quels sont alors les sociaux-types de l'environnement?

Notre choix épistémologique est que l'environnement est un concept imposant une nouvelle approche que nous avons exposée, et que celle-ci oblige à subsumer de nombreux discours contemporains et à en créer de nouveaux. L'histoire des rapports Nature-Culture permet de comprendre sa construction.

Si nous avions l'audace de résumer 3000 années d'histoire de philosophie de l'environnement, nous dirions que les 3000 premières années sont jalonnées d'étapes conduisant à une séparation totale entre l'homme, dont le concept est aujourd'hui réduit au concept biologique d'*homo sapiens sapiens*, et le monde naturel. Puis à la fin du vingtième siècle, la culture occidentale chrétienne qui a sans doute créé le plus grand écart dans ce dualisme s'interroge sur l'issue de sa démarche.

Kant pour la philosophie morale (ce que l'homme peut faire); Laplace et Comte pour la philosophie naturelle (ce que l'homme peut savoir) ont achevé le mouvement de séparation entre Nature et Culture issu des mythologies grecque et hébraïque. Cette évolution se manifesta par la construction d'un paradigme qualifié de classique qui structure tous les discours et pratiques du monde occidental. Cette évolution rencontra des résistances, mais le début du 19ème siècle le voit triompher chez les classes dirigeantes. Il débute alors son expansion dans l'écosphère. Or, la crise de l'environnement, à partir d'une contestation des manifestations de ce paradigme classique, est à l'origine de l'émergence du paradigme écosystémique.

Aussi, à côté d'un débat portant sur la philosophie morale (l'écologie politique) s'est édifiée une philosophie naturelle dédiée à l'environnement fondée à partir de sciences que sont la théorie des systèmes, l'écologie, mais surtout la thermodynamique. Les concepts et propositions fondamentales issues de ces trois disciplines alimentent le paradigme écosystémique. Cependant, elles ne se développent pas de manière isolée. Elles progressent frontalement, les acquis de l'une d'entre elles enrichissant les deux autres. De plus, quoique participant à une rupture avec le paradigme classique, elles puisent dans sa richesse des éléments qu'elles s'approprient puis transforment sous l'effet de l'éclairage qu'elles apportent.

La notion de système procède d'une volonté d'appréhender des phénomènes d'un point de vue holiste. Un système apparaît alors comme un objet complexe, formé de composants distincts reliés entre eux par un certain nombre de relations.

Les composants sont considérés comme des sous-systèmes, ce qui signifie qu'ils entrent dans la même catégorie d'entités que les ensembles auxquels ils appartiennent. Un sous-système peut être décomposé à son tour en sous-systèmes d'ordre inférieur ou être traité (au moins provisoirement) comme un système indécomposable, c'est-à-dire comme un système réduit à un seul élément. L'idée essentielle est que le système possède un degré de complexité plus grand que ses parties, autrement dit qu'il possède des propriétés irréductibles à celles de ses composantes. Ce faisant, il acquiert des propriétés indéterminables à partir de celles de ses composantes, qualifiées de propriétés émergentes. L'évolution d'un système est alors conditionnée à la fois par des modifications internes mais aussi par les effets de son 'environnement'. Dans *Symphonie n°6*, je m'étais autorisé à proposer la définition suivante inspirée de celle de Joël de Rosnay dans le *Macroscopie*: "*un système est un ensemble d'éléments en interactions dynamiques, organisés en fonction d'un but*". Cette notion de système a trouvé un débouché naturel en écologie avec la création du mot 'écosystème'.

Le mot 'écologie' est ambivalent. Il désigne à la fois une discipline scientifique, mais aussi une sensibilité politique multiformes. Cette branche de la biologie anime à la fois les scientifiques qui étudient les rapports des êtres vivants avec leur milieu et les militants qui désirent une société moins polluante. Cependant, les uns et les autres fondent leurs discours sur la notion d'écosystème.

L'apport fondamental de Lindemann (1941) fut d'avoir présenté l'écosystème comme une unité industrielle dont la productivité est susceptible d'être évaluée par un bilan des "entrées" et des "sorties" d'énergie, faisant appel à des notions de thermodynamique jusqu'alors appliquées aux systèmes thermiques. La thermodynamique du vivant, initiée par Erwin Schrödinger, introduisit l'idée que les êtres vivants minimisent localement la fonction entropie, dont la croissance correspond à la mort selon le second principe de la thermodynamique. Les fonctions assurant la décroissance locale de l'entropie sont regroupées sous le terme de métabolisme. Elles correspondent aux fonctions biologiques d'assimilation et d'élimination de l'énergie. Cette notion d'équilibre reprend l'idée d'homéostasie développée par les biologistes.

Les organismes vivants se nourrissent ainsi d'entropie négative et maintiendraient un équilibre local avec le milieu dans lequel ils évoluent, résistant temporairement aux changements de celui-ci. Le début du processus est assuré par la photosynthèse à partir de l'énergie solaire.

Cette thèse constitue l'élément fondamental du paradigme écosystémique et structure tous les discours évolués sur l'environnement. Ainsi, les frères Odum les appliquèrent aux écosystèmes, considérés comme des organismes vivants: "*les organismes vivants, les écosystèmes et la biosphère tout entière possèdent la caractéristique essentielle d'être capables de créer et de maintenir un état d'ordre intérieur, ou de basse entropie*". Ce texte est révélateur des concepts sur lesquels va s'appuyer toute la pensée environnementale qui emprunte à la cybernétique. Les phénomènes d'équilibrage écosystémiques y sont traités comme des mécanismes de rétroaction ("feedback") négative (équilibre du système) ou positive (explosion ou implosion du système).

Puis, l'œuvre de I. Prigogine, apporta l'idée que l'apparition d'ordre, donc la décroissance d'entropie localement, s'accompagne d'une augmentation de celle-ci dans le milieu; le solde étant toujours positif. La fonction d'état entropie se décompose alors en deux termes: une fonction réversible, une fonction irréversible:

$$dS = deS + diS.$$

Cette innovation suscite de nombreuses controverses, mais elle est fondamentale pour l'édification du paradigme écosystémique donc de l'approche scientifique de l'environnement. Après avoir été la science de l'équilibre thermique à travers les premier et second principe, la thermodynamique est devenue la science des phénomènes irréversibles, puis des structures dissipatives. L'écosystème est alors conçu comme une structure dissipative.

Ce terme "structure dissipative" a été créé en 1969 par Ilya Prigogine pour souligner que loin de l'équilibre thermodynamique, c'est-à-dire dans des systèmes traversés par des flux de matière et d'énergie, peuvent se produire des processus de structuration et d'organisation spontanées au sein de ces systèmes, qui deviennent le siège de "structures dissipatives".

Un élément fondamental de la thermodynamique de non-équilibre linéaire est le théorème du minimum de production d'entropie à l'état stationnaire pour un système soumis à des contraintes données (Prigogine, 1947). Celui-ci est ainsi formulé: "*dans un système dominé par le régime linéaire où dominent les relations de Onsager, la production interne d'entropie irréversible atteint une valeur minimum à l'état stationnaire de non-équilibre*". La stabilité des états stationnaires hors équilibre thermodynamique serait la conséquence de cette production minimum d'entropie. Mais, lorsque le système rentre dans un état marginal, c'est-à-dire sort des conditions d'équilibre stationnaire défini par les relations de Onsager et le théorème de Prigogine-Glansdorff, celui-ci peut évoluer vers une organisation plus complexe. La complexité serait alors une réponse du système pour 'sortir' d'un état transitoire désordonné.

Ce terme de complexité, à côté des mots écosystème, entropie, et d'autres est un des mots favoris des environmentalistes. Il est à l'origine d'une abondante littérature. Cependant, à côté de nombreuses définitions, nous retiendrons désormais que la complexité d'un Être conçu comme système est fonction du nombre d'éléments (quantité, qualité), du nombre de relations (quantité, qualité) entre ces éléments et de leur densité dans un espace non euclidien. Cette définition qualitative permet d'intégrer le temps et donc l'histoire comme déterminants de la complexité, rejoignant ainsi les enseignements de la thermodynamique des phénomènes dissipatifs qui établit que l'identité d'un système est, non pas la conséquence des causes qui en sont à l'origine (principe de raison suffisante), mais de l'histoire de son évolution.

### *Du paradigme écosystémique aux principes de fonctionnement des écosystèmes*

Les 'sciences de l'environnement' permettent d'entrevoir une nouvelle manière d'entendre le réel qui contesterait les présupposés de la science classique. Aussi, à une pensée qualifiée de classique est opposée désormais une pensée systémique. L'une et l'autre sont structurées à partir de deux paradigmes déjà évoqués: le paradigme classique et le paradigme écosystémique. Le paradigme est alors conçu comme "*un ensemble de propositions irréductibles, non démontrables et admises comme vraies qui participent à la construction d'un ou de plusieurs discours*".

Ce sont majoritairement les problématiques soulevées par la crise de l'environnement et les sciences de l'environnement qui, à partir de discours innovants, favorisent l'émergence d'un paradigme écosystémique, édifié à partir de propositions différentes de celles du paradigme classique. Sur plusieurs aspects les propositions constitutives sont radicalement antagonistes.

(@résumé-tableau)

Ce paradigme écosystémique participe à l'élaboration de discours originaux sur l'environnement. L'économie écologique est un de ces discours. Fondée sur des problématiques caractéristiques de la pensée environnementale, cette nouvelle discipline, en pleine incertitude sur ses résultats, puise néanmoins avec ardeur dans des disciplines comme la

thermodynamique et l'écologie pour forger un nouveau discours en rupture avec ceux élaborés par les économistes classiques, néo-classiques.

En retour, cette discipline permet de construire un nouveau regard sur l'économie en général, affranchie des réflexions proposées par les économistes classiques évoluant dans le paradigme classique. Puis, elle complète le corpus des principes de fonctionnement des écosystèmes qu'ils soient naturels ou artificiels. Ceux-ci sont identiques pour les deux catégories d'écosystèmes, mais la dimension noosphérique des écosystèmes artificiels crée les conditions d'écart permanent entre les flux néguentropiques et leur représentation dans la noosphère. La monnaie est l'une de ces expressions. Ces flux néguentropiques sont faits de l'ensemble des flux qui participent à l'entretien et au développement de structures dissipatives de complexité donnée. Ils sont identifiés dans notre discours aux flux d'énergie, de matière et d'informations.

La performance néguentropique d'un système quel qu'il soit est par conséquent la capacité d'un système à simultanément:

- maximiser l'énergie libre ou énergie utile susceptible de réaliser un travail (Loi de Lotka, 1922);
- minimiser la production d'entropie (Théorème de Prigogine, 1945).

Finalement, les idées-force des sciences de l'environnement participent à la constitution du paradigme écosystémique mais favorisent aussi l'élaboration d'une grille de lecture des écosystèmes sous forme de principes7:

A: La complexité, la diminution locale de l'entropie, l'augmentation de l'exergys, l'augmentation de l'énergie libre et du potentiel d'énergie libre par unité du système, la production d'entropie, croissent simultanément lorsque le système s'éloigne de l'équilibre thermodynamique.

B: La complexification d'une structure est une réponse systémique à la croissance du terme irréversible de la production d'entropie non exportable (diS). Par défaut, le système évolue vers la mort thermique (équilibre thermodynamique). Le maintien en situation de non-équilibre est par conséquent le résultat d'une dialectique temporaire entre le second principe de la thermodynamique (équilibre thermodynamique) et l'écart à l'équilibre thermodynamique, conséquence et cause de la complexification de la matière.

C: Toute structure dissipative évolue loin de l'équilibre thermodynamique en dissipant des flux néguentropiques qui circulent ou sont stockés (notion d'énergie potentielle) dans celle-ci.

D: A l'équilibre homéostatique (en biologie) ou en situation d'état stationnaire hors équilibre thermodynamique (domaine de la thermodynamique hors équilibre en régime linéaire), quel que soit le niveau de complexité d'un système, le rendement théorique max de conversion néguentropique tend vers une constante.

Les différences de performances néguentropiques ne sont donc que la conséquence d'un écart à l'équilibre croissant, donc de complexité.

E: Tout système est soumis à la fois à des phénomènes linéaires et à des phénomènes non-linéaires; ceci est particulièrement vrai pour les écosystèmes artificiels (introduction du facteur moral dans l'évolution des écosystèmes artificiels). Autrement dit l'état stationnaire et l'état marginal coexistent dans des rapports variables selon le type de système considéré. Ainsi, les écosystèmes artificiels gèrent en permanence un état marginal plus important relativement que ceux observables dans les écosystèmes naturels.

F: Tout système cherche à la fois à maximiser l'énergie libre et à diminuer la production d'entropie.

G: Plus un système est complexe, plus l'énergie libre rapportée à chaque constituant du système est élevée.

H: En terme systémique, toutes les stratégies développées par un système conçu comme la résultante d'éléments constitutifs et de leurs relations tendent vers une maximisation de l'énergie libre par élément constitutif et une minimisation de l'entropie du système par la complexification de celui-ci. Ces extremum de potentiels thermodynamiques déterminent un espace d'évolution du système.

I: les flux néguentropiques passent par des structures de complexités différentes (notion de chaîne trophique). Les descentes du potentiel thermodynamique redox (exergy croissante, réduction) se font par des niveaux de complexité croissante; les montées de ce potentiel (exergy décroissante, oxydation) se font par des niveaux trophiques de complexité décroissante.

J: la complexification d'un système permet à celui-ci d'acquérir des propriétés irréductibles aux propriétés de ses composantes.

K: les ressources d'un système de complexité donnée sont toujours issues de systèmes de complexité inférieure, hormis les phénomènes de parasitisme.

Cette grille de lecture des écosystèmes résumée par des principes de fonctionnement permet d'élaborer de nouveaux discours sur l'économie, non plus fondés sur une approche réductionniste qui isole l'activité économique de l'écosphère, mais l'y réintègre par une approche écosystémique.

### *Des principes de fonctionnement des écosystèmes à une relecture de l'économie*

Considérant que l'étude des phénomènes économiques doit dépasser l'approche réductionniste développée par la théorie classique pour les réintégrer dans une conception holiste de l'écosphère, l'économie écologique puise dans le paradigme écosystémique pour construire de nouveaux discours sur l'économie et tenter de répondre aux problématiques de l'environnement.

Cependant, les économistes évoluant dans le paradigme classique ne se sont pas pour autant désintéressés de l'économie de l'environnement. Aussi, dans la littérature anglo-saxonne, il existe une différence entre les 'ecological economists' et les 'neoclassical environmental economists', que nous désignerons désormais par environnementaliste d'une part et économiste d'autre part.

Pour les économistes, la question fondamentale de l'économie est la répartition des ressources rares. Leurs discours sont structurés à partir du postulat fondamental qu'une répartition est efficace quand aucune autre ne lui est unanimement préférée. En termes économétriques, les utilités marginales procurées par la consommation d'un bien s'égalisent; c'est l'optimum de Pareto. L'approche réductionniste, partie du paradigme classique qui structure le discours des économistes, est critiquée par les environnementalistes qui élaborent leur discours à partir de flux de matière, d'énergie et d'informations dans des structures dissipatives, sans référence à une quelconque subjectivité des constituants du système. Ils réintègrent l'économie dans la biosphère par une approche écosystémique des phénomènes.

Cette approche environmentaliste dépasse le cadre d'un discours 'scientifique' pour y intégrer des éléments de morale, de philosophie, d'histoire. Aussi, les discours proposés par ce courant de pensée s'articulent autour des concepts de structures dissipatives, d'auto-organisation dans les écosystèmes naturels ou artificiels, des lois de Lotka, des lois générales de l'évolution et de la théorie darwinienne sur la compétition intra et inter-espèces, de la théorie de l'information (utilisation et stockage de l'information dans les gènes ou dans la noosphère), du rôle de l'innovation au sens économique et/ou des fluctuations au sens thermodynamique dans l'évolution des systèmes, des liens entre écosystèmes naturels et artificiels.

Cependant, les deux approches aboutissent à des impasses.

Les environmentalistes proposent des discours brillants mais inopérants pour les opérateurs économiques de nos écosystèmes artificiels. L'étude des couplages assurances-environnement a montré que les assureurs ne peuvent intégrer des notions de complexité ou d'énergie libre dans une pratique fondée sur une conception monétaire de la valeur. Quant aux économistes, malgré la création d'outils pour internaliser les biens inappropriés, leur discours reste fondé sur la rareté et le marché. Aussi, la nécessité de créer des liens entre ces deux approches issues de deux paradigmes différents est une priorité.

De plus, alors que le paradigme écosystémique fournit des propositions différentes de celles issues du paradigme classique, leur organisation n'aboutit pas à un seul et même discours. Plusieurs lectures écosystémiques de l'économie s'opposent, portées par des auteurs différents. Dans leur prolongement, nous avons construit notre propre discours à partir des principes de fonctionnement des écosystèmes que nous avons identifiés. Notamment que la croissance de la complexité des structures dissipatives permet une amélioration de leur efficacité négentropique qui aboutit à une maximisation de l'énergie libre d'une part et à une minimisation de la production d'entropie d'autre part, compte-tenu du niveau de complexité du système, toutes choses étant égales par ailleurs.

Notre discours, par conséquent, se développe à partir des principes de fonctionnement des écosystèmes naturels mais que l'on ne peut transposer exactement aux écosystèmes artificiels. Ces derniers n'échappent pas aux principes de fonctionnement des écosystèmes naturels, mais introduisent dans leur fonctionnement tous les constituants de la noosphère, c'est à dire l'ensemble des créations culturelles: connaissance, religion, morale, pratiques, etc.

Celle-ci est alors à la fois vecteur de complexification, mais aussi à l'origine des crises permanentes que connaissent nos écosystèmes artificiels soumis à des contraintes que nous créons en plus de celles dues aux évolutions de leur milieu; alors que les écosystèmes naturels sont soumis à des contraintes créées par le seul milieu. Aussi, le rôle de la noosphère est déterminant pour l'évolution de nos écosystèmes artificiels.

L'idée essentielle qui constitue la pierre angulaire de l'ensemble de nos discours actuels est l'équivalence entre les flux monétaires et les flux négentropiques. Cependant, alors que ces derniers ne peuvent faire l'objet d'aucune subjectivisation, les premiers sont en permanence soumis au jeu de la noosphère, créant les conditions d'écart permanents avec des flux négentropiques 'physiques' à l'origine d'une multitude de phénomènes que les discours contemporains qualifient de crise: inflation, spéculation, guerre, grève, bourse, valeur du travail, etc. La monnaie est une des composantes principales de la noosphère, donc des écosystèmes artificiels, alors que les flux négentropiques sont consubstantiels à l'ensemble des écosystèmes qu'ils soient naturels ou artificiels.

Le moteur du fonctionnement des écosystèmes artificiels est la différence permanente, le déséquilibre qui existe entre les flux négentropiques et les flux monétaires et qui en sont l'expression. Mais alors qu'ils devraient être strictement équivalents, des phénomènes de



subjectivisation ou de circonstances font qu'ils ne le sont jamais. Ces phénomènes de subjectivisation sont incommensurables. Des jeux de l'inconscient individuel ou collectif jusqu'aux ruses du commerce pour vendre le plus cher possible un objet économique élaboré en minimisant les coûts, cet écart permanent crée les conditions d'instabilité de nos écosystèmes, en sus de celles dues aux contraintes exercées par le milieu.

Cette équivalence stricte entre les flux néguentropiques et les flux monétaires conduit à l'idée que le total de la monnaie en circulation ou stockée correspond à des flux néguentropiques en attente de réalisation, c'est à dire qui physiquement vont participer à l'entretien d'un écosystème artificiel d'un niveau de complexité donné. Notre hypothèse est par conséquent que toutes les manifestations dites de crise (que l'on identifiera pas) sont les expressions d'une dialectique opposant les éléments de la noosphère créant les conditions de l'écart entre des flux néguentropiques qui participent à l'entretien et au développement de la complexité d'un système et l'expression de leur valeur: la monnaie. La réponse physique du système est de supprimer ces écarts créés par la noosphère.

Ce point de vue nous permet alors de proposer que la valeur d'un objet économique quel qu'il soit se fonde sur la capacité à artificialiser les écosystèmes en les isolant du monde naturel et en les éloignant de l'équilibre thermodynamique afin d'en augmenter les performances. Ceci passe par une complexification croissante de ces écosystèmes, c'est à dire la mise en relations de constituants de plus en plus nombreux avec le but d'optimiser à la fois l'énergie libre et de minimiser la production d'entropie. Cependant, la représentation monétaire de ce potentiel néguentropique en cache la réalité, créant les conditions d'une illusion de la richesse à travers la monnaie que nous qualifions d'illusion monétaire.

Nous espérons que dans un avenir proche nous pourrions formaliser nos réflexions sur la notion de taux actuariel, de cours de bourse, d'intérêts, de parités monétaires afin de préciser à la fois le cadre théorique mais aussi ses finalités. Nous livrons cependant nos premières intuitions. Ce discours s'articule autour de la notion de potentiel néguentropique, de performance néguentropique et de complexité.

### *D'une relecture de l'économie à la pratique*

Une problématique récurrente de l'analyse économique contemporaine porte sur la notion de taux d'intérêt. Une conception traditionnelle du taux d'intérêt est d'être le prix de l'argent. Cependant, les Anciens avaient déjà perçu que cette notion ne pouvait être dissociée de celle de temporalité. Aussi, la notion d'intérêt est souvent assimilée à celle d'actualisation. Ces deux éléments sont par conséquent indissociables. L'intérêt apparaît alors comme le prix de l'argent auquel il est nécessaire d'intégrer plusieurs facteurs dont les principaux à notre avis sont:

- le financement du risque de perte du capital par mutualisation avec d'autres risques (ceci est assimilable à une opération d'assurance avec la détermination d'une prime de risque);
- les coûts de gestion de l'organisation de la relation emprunteur-prêteur;
- mais surtout l'actualisation d'une unité monétaire qui paraît être, pour tous les systèmes économiques, le facteur de valorisation du temps dans la dynamique économique.

Or, si tout le monde s'accorde sur cette idée de valorisation du temps, les hypothèses sont nombreuses pour la caractériser. Selon notre approche, l'actualisation est fondée sur l'espérance de croissance de la complexité du système dans le temps qui aboutit à un accroissement de la performance néguentropique de celui-ci. Cette différence de performance néguentropique espérée

détermine la valeur actualisée de la monnaie donc de ses conditions de prêt au sein de la noosphère. Le taux d'actualisation physique fondé sur la performance néguentropique de l'écosystème artificiel qui émet la monnaie soumise au jeu de la noosphère est donc l'expression de l'espérance de croissance de l'efficacité des flux néguentropiques. Il se distingue en cela du taux d'intérêt ou du taux d'actualisation monétaire, bien que ceux-ci intègrent à la base une dimension physique fondée sur les flux néguentropiques.

Cet exemple illustre la théorie fondée sur l'existence de flux néguentropiques d'une part et de flux monétaires d'autre part, qui bien qu'équivalents d'un point de vue physique sont systématiquement modifiés par le jeu de la noosphère. C'est cette base théorique qui a aussi permis de proposer le modèle de la valeur ajoutée dont la création est due à une réflexion sur la lutte contre l'exclusion sociale; autre pilier du développement durable. La législation sur les 35 heures en fut le prétexte.

### *Le modèle de la valeur-ajoutée*

La thèse avancée fut que, appréhendée isolément, la durée du travail n'est pas fondamentale en soi, ni le coût du travail d'ailleurs, mais que la dynamique de l'emploi, donc de l'exclusion, est majoritairement conditionnée par la relation entre la valeur-ajoutée ( $V_a$ ) et le coût du travail ( $C_t$ ) d'une part, et la rémunération ( $i$ ) du capital ( $C$ ) d'autre part. Ces deux relations ne peuvent évoluer que dans une relation inverse l'une à l'autre. C'est à dire que si  $V_a/C_t$  augmente,  $i/C$  diminue. Ces deux rapports tendent l'un et l'autre vers une constante spécifique à chacun dont la somme est égale à un.

Le modèle de la valeur-ajoutée relativise par conséquent toute politique fondée sur une baisse du temps de travail ou sur une baisse du coût du travail, obligeant à replacer celles-ci dans une perspective de relation constante entre la valeur-ajoutée et le coût du travail afférent. Mais alors que la théorie économique fonde ses discours à partir de la monnaie, nous avons voulu montrer que cette exclusion, avant d'être la résultante du jeu de l'économie politique, était la résultante d'une complexification croissante de nos écosystèmes artificiels.

La valeur-ajoutée y est alors conçue comme une néguentropisation<sup>10</sup> de l'espace, de la matière et du temps, c'est à dire un enrichissement informatif de ces ressources, sous l'effet d'un travail. Cette conception issue du paradigme écosystémique permet désormais de distinguer deux définitions de la valeur-ajoutée.

La première est fondée sur une approche monétaire comptable. La seconde est fondée sur une valeur-ajoutée physique. Nous retrouvons donc la dissociation célèbre entre économie monétaire et économie réelle. Le modèle de la valeur-ajoutée que nous avons proposé s'inscrit donc dans une vision de l'économie réelle fondée sur une approche écosystémique.

Pour qu'une valeur-ajoutée soit réalisée par la vente d'un bien ou d'un service, il faut auparavant créer ou produire cet objet économique, ce qui nécessite la mobilisation de plusieurs ressources: temps, énergie, espace, matière, informations. La conjonction du travail et d'informations fournis par l'opérateur économique (individu, entreprise, service public, etc.) organise la complexification des relations entre ces ressources et aboutit à l'élaboration d'un bien ou d'un service, marchand ou non marchand. La valeur-ajoutée physique précède donc toujours la valeur-ajoutée comptable qui va dépendre du jeu de la noosphère.

Cette approche fondée sur les sciences de l'environnement ne permet pas de corréler ce processus de complexification avec les enseignements de l'économie. En effet, il est possible de complexifier un objet économique sans que cela corresponde à la satisfaction d'un besoin privé ou collectif. En outre, il peut ne pas y avoir de relations entre le travail fourni et la valeur monétaire finale du produit.

La distinction entre valeur-ajoutée physique et valeur-ajoutée économique est par conséquent fondamentale pour comprendre comment notre organisation sociale condamne certaines personnes à vivre à la marge de nos sociétés marchandes à haut degré de complexité; leur capacité à créer de la valeur-ajoutée physique par leur travail est faible ou trop coûteuse, voire négative. L'exclusion organique dépend donc de la relation entre un opérateur économique potentiel susceptible de réaliser la complexification d'un objet économique dont l'utilité sociale sera déterminée par le niveau de complexité du système dans lequel il s'inscrit. La politique économique ou sociale vient alors renforcer ou diminuer cette exclusion. Une approche écosystémique de ce phénomène permet un éclairage supplémentaire pour les parties engagées dans ce débat, alors que l'environnement en fut la motivation originelle. D'où la nécessité d'organiser la classification de ces discours, par une approche très... classique de la connaissance.

### *De l'épistémologie de l'environnement à l'envirologie*

Les travaux prenant pour thème l'environnement sont nombreux. Ceux-ci tentent d'apporter des matériaux au fragile édifice que tentent de construire des environmentalistes rarement d'accord entre eux. Aussi, il est sans doute opportun de fonder une nouvelle discipline: l'envirologie. Elle se distinguerait néanmoins d'une épistémologie de l'environnement. En effet, l'épistémologie est une discipline universitaire qui recouvre l'étude de l'ensemble des catégories du savoir. Ainsi, il y a à côté des épistémologies portant sur les sciences de la nature ou sur les mathématiques, des épistémologies concernant les sciences humaines: le droit, l'économie, la philosophie, l'histoire, la géographie, etc. Mais comme le rappelle Jean Piaget, l'épistémologie est "*l'étude de la constitution des connaissances valables*".

Or, l'environnement ne constitue pas à proprement parler un nouveau domaine de la connaissance, mais plutôt une manière d'organiser des éléments de la connaissance pour répondre à de nouvelles problématiques. A l'instar de la médecine qui existait avant la science moderne, mais ne peut désormais progresser sans elle, la démarche environnementale impose la maîtrise de techniques et d'outils mais ceux-ci constituent des moyens et non des fins. L'environnement n'a pas à revendiquer un statut de discipline comme la physique, le droit ou la philosophie, mais doit favoriser l'organisation de discours et de pratiques répondant à des problématiques nouvelles ou considérées comme telles.

Aussi, à l'expression d'épistémologie de l'environnement qui consisterait en l'étude de la constitution des connaissances valables en environnement, il serait préférable de proposer le néologisme: envirologie. Revendiquant alors le statut de discipline, celle-ci consisterait en l'étude des discours sur l'environnement. Son objet serait de les identifier, de déterminer les paradigmes qui les structurent et d'en proposer de nouveaux selon une approche multi- et transdisciplinaire. La création de cette discipline constitue un but prioritaire. Elle est l'aboutissement naturel du travail mené jusqu'à aujourd'hui.

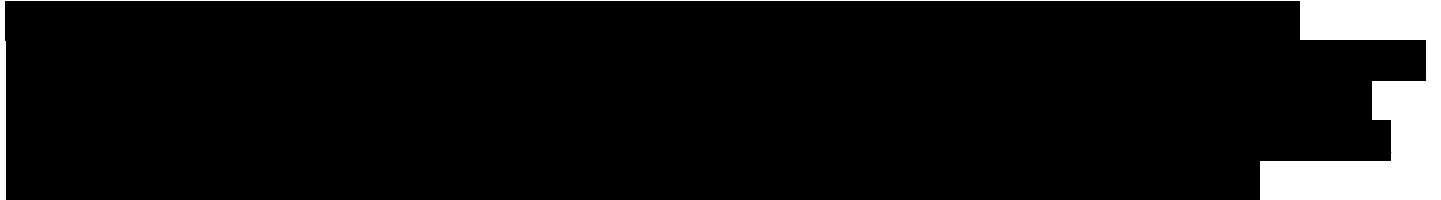
## Introduction générale

Un travail de recherche s'organise toujours à partir d'une problématique dont les éléments de réponses en suscitent d'autres, mais qui s'articulent toujours à partir d'une thèse souvent forgée dans nos premières années d'adulte. Ne prête-t-on pas à Henri Bergson (1859-1941) la litote: *"une vie, c'est une thèse"* ?

Aussi, l'ossature de ce travail repose sur une problématique initiale formalisée au cours de mes études en environnement, mais dont les racines se situent dans mon enfance, époque où la protection des animaux sauvages tenait une place très importante dans mon Environnement. Celle-ci porte sur la qualification du concept 'environnement'. Tous les discours qui en sont issus sont construits à partir de l'antagonisme Environnement-SurEnvironnement.

Le succès du mot 'environnement' à la fin des années 1990 est-il dû à l'effet d'une mode, à un arrangement sémantique pour moderniser des préoccupations ancestrales comme l'hygiène ou l'aménagement sous un nouveau vocable, ou bien alors exprime-t-il des interrogations pour le moment mal formalisées ? Notre réponse est que l'environnement et la crise de l'environnement qui lui est consubstantielle expriment une nouvelle conception de nos écosystèmes artificiels. Toute recherche en ce domaine dépasse donc la seule curiosité intellectuelle et n'est pas dissociable d'une exigence d'action présente et future que le Professeur Jacques Vigneron qualifiait de recherche-action<sup>1</sup> et désormais de recherche contextuelle.

Cette problématique et les discours que j'ai inventés sont résumés par ce document. Cependant, il est nécessaire aussi d'en préciser le contexte personnel, celui-ci étant largement à l'origine des innovations avancées dans différents écrits, dont cette HDR.



L'origine de son travail remonte aux années 1982-1983 pendant lesquelles il cherche à préciser la notion d'environnement et notamment en quoi l'émergence de ce mot au début des années 1970 exprime des préoccupations jusqu'alors inconnues. Cette première étape aboutit à l'élaboration de nouveaux concepts associés à la thermodynamique des phénomènes dissipatifs. Commencé en 1984, ce travail fut publié en 1996. Il permettait entre autres de formaliser la problématique de l'environnement à partir de ces nouveaux concepts dont celui de SurEnvironnement est le pivot<sup>4</sup>. A partir de ce travail et de la grille de lecture de l'environnement qu'il induit, Frédéric Malaval propose une définition de la problématique de l'environnement montrant en quoi elle se distingue des questions classiques d'aménagement ou d'hygiène.

La deuxième étape fut le résultat de circonstances exceptionnelles. En effet, alors qu'il travaillait dans l'assurance et menait sa réflexion sur l'environnement sous d'autres statuts que celui de chercheur professionnel, les assureurs engagèrent une réflexion sur les couplages assurances et environnement. S'engouffrant dans cette 'fenêtre d'opportunités', il publiait alors plusieurs articles et ouvrages sur ce sujet pour finaliser cette réflexion dans une thèse soutenue en novembre 2000, initiée et dirigée par le Professeur Jacques Vigneron qui l'avait auparavant associé aux enseignants du DESS Relations Publiques de l'environnement de l'Université de Cergy-Pontoise. Ce travail est fondé sur l'étude des couplages assurances/environnement pour analyser les réactions des assureurs confrontés aux risques d'atteintes à l'environnement.

Cette recherche débuta en 1993, année au cours de laquelle les réassureurs annoncèrent leur volonté de ne plus assurer les atteintes à l'environnement. Cette recherche permit de confronter la grille de lecture élaborée à partir du concept de SurEnvironnement à la pratique d'une activité ancestrale des communautés humaines: l'assurance.

Profitant de cette tribune, Frédéric Malaval relança ses recherches sur le concept d'environnement, notamment à partir de sa thèse où il posait plusieurs problématiques. En effet, l'étude des couplages assurances/environnement a montré que l'obstacle principal qui s'oppose à une intégration totale du risque d'atteintes à l'environnement par les assureurs est celui des dommages écologiques purs. Ceux-ci concernent ce que les juristes qualifient de 'biens inappropriés', ou de *res nullius*. Le concept de SurEnvironnement trouvait sa traduction juridique dans ces derniers.

Aussi, ayant débuté son parcours universitaires par des études en environnement à une époque où ce mot suscitait la défiance quand il ne provoquait pas une aversion de la majorité, il aurait pu poursuivre son cursus par des recherches en physico-chimie de l'atmosphère dans le prolongement d'un DEA sur ce thème et d'une année de recherche au sein du laboratoire des faibles radioactivités CNRS-CEA de Gyf sur Yvette. Plusieurs de ses camarades sont actuellement chercheurs professionnels. Cependant, les interrogations soulevées par ses activités associatives et ses études ne trouvaient pas de réponse dans un cadre institutionnel et dans la recherche fondamentale. Conscient que le mot 'environnement' introduisait dans les discours dominants une autre dimension que la dépollution ou la protection de la nature, il s'engageait comme amateur et à côté de ses activités professionnelles (voir cv) dans une réflexion pour qualifier dans une première étape ce concept, puis dans une deuxième étape proposer une définition de la problématique de l'environnement.

L'approche de l'environnement à partir de laquelle s'organise sa recherche est donc fondée sur l'existence de 'SurEnvironnement' qui n'ont pas été intégrés aux processus de développement, comme les 'biens inappropriés', mais que la 'crise de l'environnement' oblige désormais à prendre en compte. C'est le but du Développement durable.

Cette HDR est par conséquent pour lui, nonobstant l'exposé de ses publications, l'occasion d'exprimer de nouveaux discours et des axes de recherches sur l'environnement, à partir d'une définition précise de la problématique de l'environnement'.

Cependant si sa volonté est d'exposer ses innovations il est toutefois conscient que sa méthode diffère de celle pratiquée dans les institutions. Atout ou handicap, l'avenir le dira.

[REDACTED]

[REDACTED]

Je mentionne aussi la réflexion de Peter Galison pour montrer que la nécessité impose de rompre avec l'existant. En terme de management ou dans l'art de la guerre on parle de stratégies de rupture. L'histoire montre en effet que toutes les innovations réussies ont comme origine des stratégies de rupture surtout dans l'art de la guerre des grands conquérants. Alexandre a conduit les grecs jusqu'à l'Indus grâce à ses fantassins: la phalange; Napoléon a triomphé dans de nombreuses campagnes par la recherche de la bataille décisive; la Wehrmacht a su tirer les enseignements de l'offensive Hindenburg-Ludendorf du printemps 1918 pour faire de l'unité mécanisée autonome la clé de ses succès tactiques offensifs et défensifs de 1939 à 1945.

En science, G. Holton et d'autres ont montré qu'Henri Poincaré avait perçu et imaginé les théories de la relativité, mais comme chercheur institutionnel et malgré son génie il n'avait pas osé transgresser les interdits que le jeune A. Einstein avait ignorés.

Aussi notre postulat est que l'environnement nécessite d'opter pour des stratégies de rupture afin d'explorer de nouveaux territoires de la philosophie. Mais d'une philosophie non pas conçue comme une histoire de la philosophie, mais qui renoue avec une méthode qui a permis à la pensée grecque de rompre avec la religiosité de l'Antiquité et à la science moderne d'émerger.

Par conséquent, ce texte n'a pas pour vocation de s'identifier aux modèles de publications qui alimentent des revues comme *Mathematical Biosciences*, *Ecological Economics*, *Journal of theoretical Biologist*, *Journal of Environmental Resources and Management*, *Land Economics*, *Structural change and economic dynamics* et autres revues que je lis cependant régulièrement. Les innovations présentées sont issues de lectures diverses où magazines 'people' et ouvrages savants se côtoient.

Un simple exemple permettra de mesurer en quoi cette méthode de pensée facilite l'émergence d'innovations. François Jullien, dans un article sur le temps publié dans le *Recherche* d'avril 2001 oppose la culture occidentale à la culture classique chinoise en soulignant que dans la grammaire de cette dernière il n'y a pas de conjugaison du temps, ni au présent, ni au futur, ni au passé. Aussi, ce qui est intégré dans la culture occidentale sans jamais faire l'objet d'un questionnement apparaît sous l'éclairage de la culture chinoise comme une spécificité du monde occidental à l'origine d'une conception linéaire du temps, alors que les chinois en ont une conception circulaire.

Le philosophe selon cette approche est par conséquent celui qui interroge ce qui normalement n'a pas à l'être. Or, l'environnement est un concept nouveau que nos méthodes et pratiques cognitives n'arrivent pas à spécifier. La philosophie a alors pour mission de subsumer les différents discours portant sur ce concept, pour en évaluer la pertinence et favoriser l'émergence d'autres regards.

Quelle méthode adopter pour espérer apporter des éclairages pertinents ?

L'environnement aujourd'hui est à l'image de la science moderne au XVIème siècle. Confrontée à la solidité et à l'expérience des dogmes scolastiques qui avaient structuré toute la pensée depuis la fin de l'empire romain d'occident, elle dut créer son champ de compétence.

Aujourd'hui, comme le rappelle Catherine et Raphaël Larrères, cette science moderne figure parmi les accusés responsables de la 'crise de l'environnement'. De nouveaux discours doivent par conséquent émerger en rupture avec, mais sans nier les apports de cette science moderne et de ses méthodes.

Nous abordons donc une nouvelle fois des *terrae incognitae* où l'on rencontre des problématiques récurrentes de la philosophie naturelle et de la philosophie morale, mais que la crise de l'environnement oblige à aborder avec de nouvelles perspectives.

L'objet de mon travail est déjà d'identifier les frontières entre le monde connu et ce monde inconnu, essentiel pour relever les défis posés par la crise de l'environnement. Cette première étape est résumée par le néologisme 'problématisation' qui exprime sous une forme hermétique qu'un "*problème bien posé est à moitié résolu*". Ceci fait, il est alors possible de proposer de nouveaux discours, mais conscient que ceux-ci n'auront pas la même précision que ceux élaborés au sein des institutions scientifiques pour la simple raison que ces dernières ont cinq siècles de pratiques derrière elles auxquels ont contribué une multitude de philosophes et de savants qui jalonnent l'histoire des sciences. Or l'histoire de l'environnement débute dans les années 1970. Aussi, d'un point de vue stratégique il ne s'agit pas pour le moment de créer de belles routes, mais d'explorer de nouveaux territoires en créant de mauvais chemins. Une fois que ces derniers auront permis de cartographier ces nouveaux paysages, alors nous pourrons décider où construire les belles routes.

Dans un langage issu de la thermodynamique nous dirons que le système 'environnement' est dans un état marginal, est que celui-ci doit explorer toutes les issues possibles (espace des phases) avant de s'engager sur une nouvelle branche thermodynamique.

Cette HDR est construite dans cet état d'esprit. En tant professeur des universités-associé, je préfère montrer des intuitions et des pistes de recherche, plutôt que de prétendre m'identifier à des chercheurs professionnels intégrés dans des institutions éprouvées. En outre dans un pays comme la France doté d'une grande sensibilité aux mathématiques, celles-ci apparaissent incontournables pour crédibiliser un discours aux ambitions scientifiques. Or, pour le moment ce recours aux mathématiques n'est pas une priorité. Ces mathématiques ont été développées à partir de l'idée qu'elles permettent d'accéder à un réel intelligible parfait; postulat fondamental du paradigme classique. Or, notre propos est de montrer que ce paradigme classique est la conséquence d'une histoire qui fit adopter à la communauté des philosophes un certain nombre de choix épistémologiques que subsume la critique environnementale. Donc, bien qu'ayant modestement enseigné les mathématiques, ce travail porte davantage sur l'émergence de concepts et de leurs articulations que sur le recours à un formalisme qui de notre point de vue ne serait crédible qu'une fois les concepts achevés. Cependant, la rigueur à laquelle oblige le discours mathématique est le but recherché, mais comme le rappelle René Thom (médaille Fields en 1965): "*En général, lorsqu'on a découvert quelque chose, on ne sait pas le démontrer; on n'a même pas mis le doigt sur les bonnes définitions, mais comme il y a une nécessité, on résout le problème intuitivement*".

La crise de l'environnement est cette nécessité.

L'objectif prioritaires des environnementalistes est de construire de nouveaux discours intégrant la nature, la biosphère et tous les éléments indissociables du fonctionnement de nos écosystèmes artificiels mais que les discours réductionnistes issus du paradigme classique ont écarté. Pour se faire ils ont recours à d'autres propositions que nous regroupons avec d'autres auteurs sous l'expression de paradigme écosystémique.

Or, avant d'établir les conditions d'internalisation économiques des externalités environnementales, il est, de notre point de vue, nécessaire d'élaborer une nouvelle grille de lecture de l'économie et de comprendre dans quelle mesure les discours qui ont été construits à partir du paradigme classique ont écarté la Nature, alors que celle-ci est la base de son édification.

Cette exclusion de la nature s'est manifestée dans tous les aspects de la culture occidentale scientifico-technico-chrétienne qui aujourd'hui domine le monde.

Elle culmine en philosophie naturelle avec l'œuvre de Laplace; en philosophie morale avec la séparation opérés par Kant entre les choses et les personnes; en politique avec la Révolution française et l'avènement des droits de l'homme qui cassent le lien ancestral d'un homme avec une nature que les régimes monarchiques géraient avec plus ou moins de bonheur. Cette séparation Nature-Culture se réalise définitivement dans les discours des philosophes de la fin du XVIII siècle. Le début du XIXème voit le triomphe de ce paradigme classique qui pénètre physiquement toutes les composantes de la société et cesse d'être un discours pour devenir une pratique que la colonisation va mondialiser. Or, cette pratique est contestée au nom de la crise de l'environnement. Cela entraîne l'émergence de nouveaux discours qui vont contester le paradigme classique et se fonder sur d'autres paradigmes pour élaborer des discours de rupture.

Aussi, l'angle adopté pour cette HDR est le fruit d'une réflexion épistémologique sur les conditions d'intégration dans une communauté savante. L'immense majorité des scientifiques pratiquent ce que Thomas Kuhn<sup>7</sup> (1922-1996) qualifie de 'science ordinaire'. La traduction française de l'adjectif 'ordinal' discrédite un mot qui en anglais n'a pas le sens péjoratif qu'on lui attribue en français. A titre anecdotique, je rappelle que les professeurs-associés sont qualifiés dans d'autres pays ou à d'autres époques de professeurs extraordinaires alors que les professeurs sous statut durable ont le qualificatif de professeurs ordinaires. Mon paradoxe est que d'extraordinaire je souhaite devenir ordinaire; ce qui compte-tenu du sens donné à ces deux adjectifs, est assez curieux.

La science ordinaire n'est donc pas la science vulgaire mais celle qui explore et critique les idées et thèses émises par la science extraordinaire selon la définition de Thomas Kuhn. La Connaissance est alors la résultante d'une dialectique confrontant la science ordinaire à la science extraordinaire. Mon but est par conséquent de proposer un discours extraordinaire et de demander une intégration dans un statut ordinaire pour poursuivre et diffuser des thèses que je souhaite inscrire dans une stratégie de rupture et soumettre à la critique du monde savant.

Je vous propose donc un discours de rupture fondé sur une recherche dont les buts sont:

- de préciser le concept environnement et d'identifier la ou les problématiques fondamentales exprimées par l'apparition de ce mot.
- de développer une discipline que je qualifie d'envirologie portant sur l'étude des discours sur l'environnement;
- d'identifier le paradigme écosystémique et de montrer comment celui-ci permet de bâtir de nouveaux discours sur des phénomènes connus, ayant déjà fait l'objet d'une lecture à partir du paradigme classique, notamment sur l'exclusion sociale.

La volonté de présenter une synthèse des réflexions et des problématiques actuelles aboutit à un texte davantage assimilable aux documents d'esquisse d'un architecte qu'à un dossier d'appel d'offres de maître d'ouvrage.

J'espère pouvoir consacrer la suite de ma carrière à la publication d'argumentations et de démonstrations des thèses avancées par ces lignes, mais aussi me tromper sur certaines perspectives, notamment sur l'évolution de la morale (chapitre VI / la morale et l'écosystème).



# I: De l'environnement au SurEnvironnement

## A: Succès et dévoiement du mot 'environnement'

L'édition du 13 décembre 2000 de Charlie-Hebdo mentionnait que: *“le Syndicat des industries françaises des coproduits animaux (Sifco), autrement dit le groupement des producteurs de farines animales, après s'être proclamé “partenaires de la sécurité alimentaire”, ce qui est déjà cocasse, décide aujourd'hui de devenir “partenaire de la qualité de l'environnement”, ce qui est carrément à crever de rire”*.

Cette brève allusion comique dans un hebdomadaire satirique démontre le pouvoir attracteur du mot 'environnement'. Il est probable, en outre, que dans quelques temps ce groupement adjoindra à son intitulé l'expression 'développement durable'. Pour les environnementalistes, il est assez frustrant de constater que les efforts qu'ils déploient pour exprimer de nouvelles idées sont systématiquement combattues, ce qui est normal, puis les termes qu'ils ont créés sont ensuite récupérés. Cette récupération est toutefois inquiétante car elle dissout des mots et des discours dans les problématiques qui les ont suscitées.

Sur le brouillon de Symphonie n°6, impressions sur le concept 'environnement', rédigé en 1984-85, j'écrivais qu'à *“l'origine, 'environnement' était un mot qui recouvrait de façon plus ou moins floue un état de fait. Ce mot est dévoyé de nos jours. Il est à craindre donc que par l'absence d'une terminologie précise, l'état de fait qui avait motivé l'utilisation du mot 'environnement' ne soit progressivement oublié et qu'ainsi, les problématiques perdurent faute d'un jargon approprié. Les premiers atteints par ce vide terminologique seront les écologistes dont le message se diluera dans des discours dominants”*.

Aussi, depuis cette époque, quel que soit le statut professionnel sous lequel j'ai mené cette réflexion, celle-ci a eu pour but de qualifier le concept 'environnement' et de créer des discours susceptibles de faire progresser son appréhension dans tous les domaines.

Mais alors que des précurseurs comme le professeur Jacques Vigneron s'engageaient au tournant des années 1985 dans la recherche-action<sup>1</sup>, d'autres auteurs préféraient poursuivre l'effort de qualification du concept 'environnement'.

En effet, une des difficultés majeures rencontrée par les environnementalistes est l'absence de précision conceptuelle. Aussi, une multitude de phénomènes ou d'interrogations sont regroupées sous l'expression de “problématiques de l'environnement”.

A l'occasion du 25ème anniversaire de la création du ministère de l'environnement, une brochure<sup>2</sup> éditée par cet organisme citait les thèmes suivants comme relevant de l'environnement: effet de serre, couche d'ozone, pollution des eaux, biodiversité, déforestation, désertification, exploitation des ressources naturelles, effets de l'urbanisation, multiplication des déchets, maîtrise de l'énergie, risque des biotechnologies, développement durable.

Nous pourrions multiplier à l'infini les thèmes associés au mot 'environnement' sans pour cela obtenir l'adhésion des personnes motivées à travailler sous l'égide de ce vocable. Ainsi, les phénomènes d'exclusion sociale sont venus nourrir les propos tenus au nom de l'environnement. La partie législative du code de l'environnement publiée en 2000, après avoir nécessité près de 30 années de travaux, a aussitôt suscité de vives critiques; plusieurs aspects fondamentaux de l'environnement avaient été oubliés comme la santé publique ou la politique d'aménagement du territoire.

Notre propos n'est pas d'exposer ni de critiquer telle ou telle conception de l'environnement, mais d'admettre d'emblée que ce mot suscite des discours innombrables. Cependant, l'absence de précision conceptuelle risque de noyer des préoccupations originelles, qui ne sont pas encore bien formalisées, dans des propos traditionnels, notamment ceux portant sur les questions d'hygiène ou d'aménagement du milieu. Nous voudrions aussi montrer que le mot 'environnement' n'a pas toujours bénéficié de ce capital de sympathie qui le caractérise aujourd'hui. Au début des années 1980, il n'était pas facile de revendiquer le terme d'environnementaliste. Pour souligner cette situation, il est utile de rappeler l'évocation du mot 'environnement' de l'édition 1985 de l'encyclopédie Universalis: *“Environnement, le mot est à la mode, on dit “environnement” comme on dit “structure”, c'est-à-dire sans avoir aucune idée d'un sens précis du terme. Et si “structure” a la chance de se rattacher à une doctrine philosophique : le structuralisme; environnement, lui, se cherche aujourd'hui un état civil”*.

De leur côté, Catherine et Raphaël Larrère ont rappelé dans leur article sur l'environnement du dictionnaire d'histoire et de philosophie des sciences que : *“les scientifiques accueillirent avec méfiance la notion d'environnement, d'autant que de nombreux discours tenus sur la crise de l'environnement intentent un procès à la technique et à la science”*.

Le mot 'environnement' a donc initialement suscité des réactions de méfiance d'institutions bien établies. Depuis, les choses ont évolué favorablement. La même Encyclopédie universalis, aujourd'hui, consacre un long article à ce mot, avec une multitude de renvois. Mais l'évocation du mot environnement suscite toujours de nombreuses interrogations.

A l'origine de ce travail, il y a la volonté de montrer en quoi le vocable 'environnement' est venu exprimer de nouvelles problématiques ignorées jusqu'aux années 1960. Certes, auparavant, toutes les civilisations s'étaient préoccupées de l'hygiène du milieu. De nombreux documents utilisés par la Direction des affaires sanitaires et sociales (DASS) utilisent encore une telle dénomination. Que ce soient les Chinois, les Grecs, les Romains et les autres grandes civilisations, toutes favorisaient l'hygiène par l'évacuation des déchets loin des centres de vie. La première loi sur l'eau serait chinoise et daterait de plus de trois mille années. Quant à la législation de 1976 sur les établissements classés en France, elle a comme ancêtre avéré l'ordonnance du 30 avril 1663 réglementant les industries. Plus proche de nous géographiquement, Lutèce, il y a 2000 années, disposait déjà d'un égout collecteur; en 1636 le réseau des égouts voûtés de Paris est évalué à 25 km; puis 130 km en 1854; 536 en 1870. En 1894, la loi Poubelle supprime les fosses d'aisance et généralise le tout à l'égout dans Paris. Le réseau des égouts dépasse aujourd'hui les 2000 kilomètres.

Quant à l'aménagement de l'œcoumène, il est la manifestation de toutes les grandes civilisations qui ont inscrit leur présence dans la substance de l'écosphère.

Pourquoi alors la deuxième moitié du vingtième siècle a-t-elle été à l'origine de la crise de l'environnement ? L'hygiène du milieu n'a pas attendu notre époque pour se développer. Cependant, malgré les succès de ces pratiques attestés par la croissance de la durée de vie moyenne (43 ans en France en 1913), le courant hygiéniste est supplanté, ces trente dernières années, par le courant environnementaliste qui l'absorbe et le transcende. En revanche, de forts tropismes amènent souvent l'environnement à être associé à l'aménagement.

Cette évolution ne pourrait être que sémantique, les termes et usages consacrés par nos aïeux ne satisfaisant plus nos contemporains, mais cette première explication se révèle vite limitée. Toutefois, bien qu'exprimant un concept nécessaire, le mot 'environnement' est loin, aujourd'hui, de susciter la même adhésion que le mot 'hygiène' du temps de sa splendeur. Plusieurs raisons expliquent cette situation. La plus pertinente, à notre avis, est que ce mot nouveau recouvre un ensemble de préoccupations, de pratiques, de sensibilités souvent fort éloignées les unes des autres et dont la cohérence n'apparaît pas immédiatement.

L'absence d'une conception précise du mot 'environnement' entretient cette incertitude permanente, ceci malgré un usage fort répandu. Aussi, dès 1984, la première étape de notre travail fut de proposer une qualification du concept.

### B: Le SurEnvironnement

Le premier résultat fut la création d'une figure associant plusieurs mots-concepts et leurs définitions:

#### Objectifs Existentiels

Milieu Etre      Moi Environnement SurEnvironnement

Identité1      Identité2      Limites floues

Autre      Autre

1) L'Etre évoluant dans un Milieu est ce qui produit de l'existence pour l'Autre à travers une Identité1.

Autre      Identité 1      Etre

L'Etre et le Milieu sont donc objets pour l'Autre, qui tente d'accéder à leur 'réalité' à travers une Identité1.

2) L'Etre, structure vivante dotée de la faculté de choisir détermine des Objectifs Existentiels. La conjonction des Objectifs Existentiels et de l'Etre s'exprime à travers le Moi. Le Moi est donc l'expression de l'Etre intégrant des Objectifs Existentiels qui deviennent les Objectifs Existentiels du Moi.

#### Objectifs Existentiels

Etre      Moi

3) Le Moi tend à être reconnu par l'Autre uniquement à travers une Identité2 voulue, alors que l'Identité1 est perçue. La seule ambition du Moi est d'être reconnu à travers ses Objectifs Existentiels. Aussi, le Moi se forge-t-il une Identité2 pour que son existence soit admise et reconnue par l'Autre.

Moi      Identité2      Autre

4) L'Identité<sup>2</sup> voulue par le Moi est différente de l'Identité<sup>1</sup> perçue par l'Autre sur l'Être.

Identité<sup>1</sup>      Identité<sup>2</sup>

5) La réalisation des Objectifs Existentiels du Moi nécessite un Environnement, c'est à dire un cadre noo-spatio-temporel structuré et ordonné afin de favoriser son épanouissement. Ceci correspond alors à la réalisation des Objectifs Existentiels déterminés par l'Être, devenus les Objectifs Existentiels du Moi.

L'Environnement est ce qui permet l'épanouissement du Moi, aussi le protège-t-il.

Pour entretenir la dualité Moi/Environnement, le Moi doit trouver les ressources nécessaires au développement et à l'entretien de la structure porteuse de l'association Moi/Être, mais aussi évacuer les déchets issus de l'existence de cette dualité.

Tout système vivant se caractérise par des échanges permanents avec l'extérieur de celui-ci.

Aussi, le SurEnvironnement contrairement à l'Environnement est taillable et corvéable à merci. Ce SurEnvironnement est pour le Moi exploitable et corvéable sans limites. A ce titre, il est le réceptacle aux déchets produits par l'activité du Moi et l'entretien de l'Être.

L'Environnement s'intercale entre le Moi d'essence finie et le Sur-Environnement qui est infini.

Ainsi, l'Environnement est structuré aux fins de favoriser la réalisation des Objectifs Existentiels du Moi. C'est cette structure qui permet au Moi de tendre vers l'accomplissement des Objectifs Existentiels choisis par l'Être et qu'il fait siens. Selon l'ambition de ces Objectifs Existentiels, le Moi devra élaborer une structure plus ou moins complexe. Le niveau de structuration de l'Environnement dépend de la nature des Objectifs Existentiels à réaliser.

6) A la permanence d'une ligne mathématique, est opposé la notion de "Limites floues", car cet état n'est pas figé temporellement, ni spatialement. Les limites existent, mais leur tracé se perd dans un halo agité.

Souvent, la destruction de l'Environnement d'un Moi met en péril l'Être qui le porte. De l'efficacité de la réaction, pour une fois unis, de la dualité Être/Moi dépend alors la survie de l'Être.

Le Moi protège son Environnement; sans lui, pas de réalisation d'Objectifs Existentiels. Sans cet Environnement, comment le Moi pourrait-il être reconnu par l'Autre en tant que Moi ?

Rappelons-nous en effet que le Moi ignore bien souvent l'Être. Il ne cherche qu'à être reconnu, à produire une Identité qu'en fonction de lui-même, c'est-à-dire le Moi et non pas l'Être. " Ce que je suis, je m'en moque, je suis seulement ce que je veux être ".

Le Moi a seulement conscience du Moi. Seul l'Autre a conscience de l'Être à travers une Identité.

L'Identité de l'Être est perçue. L'Identité du Moi est voulue. L'Identité que l'Autre a du Moi est différente de celle que le Moi tend à prouver à l'Autre.

Détruire l'Environnement du Moi, c'est nier sa capacité à l'existence, car sans cet Environnement, il est dans l'incapacité de réaliser ses Objectifs Existentiels.

Le SurEnvironnement est tout ce qui n'est ni le Moi, ni l'Environnement.

L'Environnement est cette structure noo-spatio-temporelle faisant référence au Moi, ordonnée aux fins de réaliser les Choix Existentiels du Moi.

Ainsi, l'Environnement est structuré. Le SurEnvironnement ne l'est pas.

Le SurEnvironnement est profondément désordonné alors que le Moi est ordonné.

Selon ce que nous avons baptisé les Nouveaux concepts, bien qu'utilisant des bases phonétiques connues, il existe donc une différence forte entre la notion de Milieu et celle d'Environnement.

## C: Le Milieu et l'Environnement

On parlera de Milieu pour décrire le cadre de vie qui fait référence à un ou plusieurs Etre. Une autre façon de décrire l'ensemble Etre et Milieu sera d'utiliser les termes : système et asystème lorsque l'Etre apparaîtra comme résultant de l'activité coordonnée de plusieurs entités individuelles. Tout Etre est donc système, et tout Milieu, asystème. On pourra utiliser aussi bien l'un ou l'autre couple de dualités.

Nous nous retrouvons par conséquent, au sein d'une même entité conceptuelle, en présence d'une séparation nette entre la dégradation du Milieu et la construction d'un Environnement. Cette dégradation du Milieu correspond à la modification de l'asystème faisant référence à un système auquel nous avons attribué une existence par l'activité d'une conscience distinguant dans des phénomènes un ensemble homogène de ce qui l'entoure. La construction et l'entretien de l'Environnement sont donc séparables conceptuellement des évolutions du Milieu.

La dégradation du Milieu n'est par conséquent qu'une partie de ce que recouvre la conception actuelle des problématiques de l'environnement.

Un essai de définition du 'problème d'environnement' doit donc être envisagé à la lueur des nouvelles conceptualisations.

## D: Catégories des 'problématiques' de l'environnement

Le problème d'environnement est, selon les Nouveaux Concepts, un conflit entre deux Moi par référence à un espace-temps qui représente, pour un des deux Moi, l'Environnement, pour l'autre Moi, le SurEnvironnement.

A ce espace-temps s'ajoute, dans le cas de l'homme, tout ce que celui-ci produit comme idéologies, philosophies, cadres spirituels dans lesquels évoluent des Moi.

L'Environnement et le SurEnvironnement sont par conséquent définissables en termes d'espaces; c'est le lieu géographique, la région, le pays, etc. En termes de temps; le passé, le présent, le futur. En termes spirituels; ce sont les philosophies, les religions, les idéologies auxquelles ont croit, que l'on respecte, qui guident la conduite des Moi. L'expression "noo-espace-temps" comprend ces trois aspects que l'on retrouve liés dans l'Environnement et le SurEnvironnement, c'est à dire l'aspect spatial, l'aspect temporel et l'aspect spirituel.

La dimension spirituelle de notre humanité est exprimée par le terme "noosphère", ou sphère de l'esprit. Elle se scinde en une multitude de nootopes. A la biosphère; en écologie l'ensemble des formes vivantes, est opposé le biotope; un ensemble de facteurs climatiques et géographiques s'intégrant dans un paysage. La noosphère est un terme utilisé pour décrire la sphère de l'esprit, c'est à dire tout ce qui est produit par l'esprit humain et qui contribue ainsi à la modification des données naturelles de la planète.

A la lueur des Nouveaux Concepts, le problème d'environnement admis communément, recouvre deux aspects que sont : le problème de Milieu et le problème d'Environnement.

Parler de "problème d'Environnement" nécessite la présence simultanée de deux Moi et d'un unique noo-espace-temps considéré séparément comme Environnement ou SurEnvironnement par les deux Moi.

La terminologie proposée ici considère que le Milieu est une entité faisant référence à l'Être qui évolue dans celui-ci. Le Milieu d'un Être -notion objective car Milieu et Être sont alors considérés comme objets d'étude et de connaissance pour l'Autre- est ce qui intervient constamment dans l'existence de l'Être. La modification de ce Milieu provoque un changement dans les conditions d'existence de l'Être et dans sa nature propre. Ce changement entraîne parfois la mort de l'Être, car l'Être et le Milieu sont en interactions incessantes. L'Être agit sur le Milieu et réciproquement.

L'Environnement fait référence à un Moi. L'Être ne choisit pas son Milieu et même parfois le subit. L'Environnement est le résultat des choix existentiels d'un Être qui trouve son expression dans le Moi.

Ce que l'on nomme environnement et ce qu'il sous-entend, c'est-à-dire le problème d'environnement, est donc séparable en deux niveaux : le problème lié au bouleversement du Milieu et le problème d'Environnement tel qu'il est conçu dans ces lignes. La pollution par le plomb d'origine anthropique, injecté dans l'atmosphère urbaine, est un bouleversement du Milieu qui modifie les conditions d'existence des Être qui y évoluent. Au contraire, selon les Nouveaux Concepts, la disparition des ours en France est un problème d'Environnement car de la survie de cet animal ne dépend pas la survie des hommes qui vivent au contact éloigné de ces bêtes. La disparition des ours est un problème d'Environnement, selon l'approche proposée dans ces lignes, car ceux-ci font partie de l'Environnement d'un ou de plusieurs Moi, mais aussi de SurEnvironnement d'autres Moi.

Cet essai de définition a pour ambition de distinguer deux approches possibles d'une même problématique regroupée jusqu'alors dans une même expression : "problème d'environnement". Cependant, la distinction, quoique facile à faire d'un point de vue formel, est beaucoup plus délicate dans la pratique. Problème de Milieu et problème d'Environnement recoupent parfois une même réalité.

Toutes les approches intégrant plus ou moins les deux notions sont par conséquent possibles. Par ailleurs, ce développement n'est valable que dans la mesure où les problèmes de Milieu, à l'instar des problèmes d'Environnement, font référence à l'homme. C'est la seule condition préliminaire. On citera comme exemple pour éclaircir ces propositions, l'ambiguïté soulevée par l'expression : "pollution volcanique".

La dégradation ou la transformation d'un Milieu induit parfois la modification profonde de l'Être qui évolue en son sein, cette modification pouvant conduire à un aboutissement fatal. Or, cette conséquence se produit parfois sans que la prise de conscience de l'Être concernant ce phénomène soit établie. La pollution de l'air ou de l'eau par le plomb a des conséquences fâcheuses pour les organismes sans que ceux-ci soient conscients des effets que l'ingestion de cet élément chimique provoque sur le métabolisme.

Le problème de Milieu est par conséquent une conscience que l'Autre a de l'objet de sa conscience et qui, par l'introduction d'un facteur nouveau, entraîne une transformation du Milieu avec comme conséquence un changement dans la nature de l'Être. Ce changement pouvant être minime ou bien fatal. Seul l'Autre en est conscient dans ce cas.

Les modifications du couple Être/Milieu ne sont que des modifications de l'objet de la conscience de l'Autre. L'étude de ces phénomènes est le privilège de la démarche scientifique.

Dans l'hypothèse d'un problème d'Environnement, nous quittons alors le monde de l'objet pour rentrer dans le monde du sujet et des sujets.

Le problème d'Environnement est pour le Moi la destruction de son cadre noo-spatio-temporel par les nuisances d'un autre Moi. Le conflit est inévitable car il n'est jamais agréable pour un Moi de voir son existence remise en question par les activités d'autres Moi prenant les fondements de ses Objectifs Existentiels pour un dépotoir.

La première critique que l'on pourrait porter à cette organisation du concept 'environnement' est d'être intemporelle. En effet, les communautés humaines se sont toujours développées dans un Milieu d'une part et par référence à un Environnement d'autre part. La conclusion qui s'impose alors est que la fin du deuxième millénaire n'aurait rien apporté de fondamental avec l'émergence des préoccupations environnementales, sinon une acuité particulière sur la dégradation de la biosphère.

Or, nous voudrions exposer une autre idée fondamentale pour les environnementalistes: la découverte de la finitude de cette écosphère d'un point de vue physique et la disparition des SurEnvironnement tant sur le plan physique que moral.

### E: La disparition des SurEnvironnement

La définition d'un problème d'environnement à la lueur des Nouveaux Concepts est que ceux-ci apparaissent lorsqu'il y a coexistence pour deux Moi d'un noo-espace-temps conçu comme Environnement pour l'un, et comme SurEnvironnement pour l'autre. Face à la finitude révélée de notre planète, nous sommes obligés d'admettre qu'il n'y a plus de SurEnvironnement. Que ce soit la restriction de l'espace consécutive à l'explosion démographique ou à l'éthique moderne, chaque Moi est soumis à une conscience universelle qui lui interdit d'entrevoir l'infinité d'un SurEnvironnement taillable et corvéable pour assurer la réalisation de ses Objectifs Existentiels à partir de la structuration d'un Environnement choisi.

Or, comme nous le verrons à travers les chapitres suivants, le modèle de développement occidental est fondé sur l'existence de SurEnvironnement dont les manifestations sont multiples, mais dont l'antagonisme homme-nature ou plutôt Culture-Nature est sans doute la manifestation la plus aboutie.

Cette suppression des SurEnvironnement soulève une problématique nouvelle. Comment assurer la pérennité des Environnement alors que le noo-espace-temps susceptible de supporter des SurEnvironnement s'est singulièrement restreint depuis plusieurs années ?

Nous aboutissons ainsi à une définition de la problématique de l'environnement et qui en fait sa modernité, se distinguant ainsi des problématiques du Milieu consubstantielles à toutes entités vivantes. Il s'agit alors de déterminer les conditions de gestion des SurEnvironnement et notamment de leur intégration aux Environnement.

C'est dans ces termes que se pose la problématique de réintégration des éléments naturels dans la sphère de nos Environnement.

Les assureurs ont contribué à souligner l'importance de la notion de dommage écologique pur. Auparavant, cependant, de nombreux auteurs avaient perçu que de cette conception de la Nature dépendait le rapport que l'Homme établissait avec elle.

## F: Esquisses des rapports Nature-Culture

A travers quelques lignes sur les rapports Nature/Culture, notre ambition n'est pas de dresser un panorama complet de ceux-ci à travers les siècles, mais seulement de glisser une idée simple; à savoir que la terre, dans son ensemble, est devenue un fait culturel. En moins de dix mille ans, l'homme, d'être issu de la Nature, est devenu maître et possesseur de cette Nature. Aujourd'hui, celle-ci n'est plus un obstacle à l'accomplissement du développement de l'humanité, elle est partie de la Culture.

De nombreuses civilisations se sont admises comme composantes de la Nature. Ainsi, au vocable "indigène", nos ancêtres préféraient souvent le terme "naturel" pour désigner les membres de la grande famille humaine, vivant plus proche de la nature. Les rapports de ces "naturels" avec la Nature étaient plus forts que ceux établis par l'homme blanc dont il détruisait les fondements ainsi que ses "naturels".

Cet état de symbiose avec la nature apparaît clairement dans les comportements des Indiens d'Amérique du Nord. La Nature est la mère qui les enfante, les nourrit, les protège. Celle-ci est peuplée de divinités, bonnes ou mauvaises, qui guident leur action. Il convient de respecter cette Nature car en la détruisant, on supprime la protection qu'elle assume. La Nature est alors protégée, car en échange elle permet la subsistance de la tribu.

Pour comprendre que les rapports des hommes avec la Nature changent selon les civilisations, il est intéressant d'appréhender les systèmes de représentation qu'ils s'en font et à l'intérieur desquels ils orientent leurs choix et légitiment leurs attitudes.

Comparons par exemple les représentations que se font de la forêt équatoriale du Congo, les Pygmées M'buti et les Bantous. Ces deux ethnies en tirent l'une et l'autre leurs conditions d'existence. Les premiers par la chasse et la cueillette, les seconds par l'agriculture sur brûlis. Pour les Pygmées, la forêt n'est pas seulement un ensemble de populations animales, végétales, c'est aussi une réalité surnaturelle, omniprésente, une divinité bienveillante à laquelle ils offrent des sacrifices et qui les remercie en poussant le gibier dans les filets.

Les clairières défrichées par les Bantous apparaissent aux M'buti comme un monde hostile où l'eau est polluée, la chaleur écrasante, les maladies nombreuses.

Pour les Bantous, en revanche, la forêt est une réalité hostile inhospitalière, un obstacle qu'il faut abattre à la hache pour cultiver manioc et maïs. L'agriculteur Bantou ne connaît pas bien la forêt. Il a peur de s'y perdre et d'y mourir, attaqué par des démons dont les Pygmées sont les complices.

Dans cette opposition se dessinent deux logiques distinctes : les M'buti vivent sans transformer la Nature alors que les Bantous, au contraire, doivent modifier celle-ci pour planter des tubercules et des céréales.

Cette allégorie africaine éclaire l'évolution des rapports Nature/Culture. A une nature divinisée succède une Nature au service de la Culture. Ce respect de la mère Nature dont l'homme actuel est issu, disparaît pour faire place à une Nature désacralisée.

La Nature est par conséquent l'incarnation d'un SurEnvironnement dont la traduction juridique est celle de *res nullius* ou de bien inapproprié. L'étude des relations entre assurances et développement durable a permis de préciser ce concept de *res nullius* confronté à l'exigence de réappropriation par nos écosystèmes artificiels. Toute la littérature sur l'environnement qui abandonne les attitudes hygiéniste ou d'aménagement se structure à partir de ce but. Le concept de Développement durable tente d'exprimer cette ambition.



## G: Du SurEnvironnement au Développement durable

Face à la globalisation, à la découverte de la finitude de notre monde, à l'émergence d'un village planétaire, le concept de Développement durable remet sciemment en question un modèle de développement bâti au détriment de SurEnvironnement. Tous les travaux sur le Développement durable traduisent une volonté institutionnelle de concevoir le développement de l'humanité dans une perspective géographique finie et surtout de ne pas faire supporter à des SurEnvironnement les conditions de la réalisation des objectifs existentiels de Moi et de l'entretien de leurs Environnement.

Cette approche suggère par conséquent que les développements futurs ne se fassent plus à partir du dualisme Environnement/SurEnvironnement, mais par la suppression de ce dernier pour l'ensemble des noo-espace-temps. Cela suppose l'internalisation totale des coûts sociaux sur le plan économique, et l'extension de la notion de tiers sur le plan juridique; donc en intégrant le SurEnvironnement dans l'activité de chaque Moi/Environnement.

Selon notre approche de l'environnement fondée sur l'existence de SurEnvironnement comme facteur de développement, notre recherche porte donc sur la manifestation de ce SurEnvironnement et sur les conditions de son intégration à l'Environnement des Moi dominants.

Cette conception de l'environnement fut confortée par l'étude des couplages assurances-environnement que nous fîmes de 1993 à 2000.

A la même époque le concept de développement durable marquait le souci d'appréhender le développement non plus à partir d'une approche réductionniste fondée sur l'économique, mais aussi par l'intégration des dimensions sociales et environnementales. Aussi, tant le concept de Développement durable que celui d'internalisation, mais aussi l'attitude des assureurs confrontés au risque environnement vinrent valider une grille de lecture de l'environnement fondée sur le SurEnvironnement élaborée 10 années auparavant.

## II: Du SurEnvironnement au dommage écologique pur.

### A: La crise de l'assurance 'environnement'

En juin 1992 à Rio de Janeiro, les participants au Sommet de la Terre soulignaient la nécessité de prendre en compte l'environnement comme facteur incontournable du développement économique et social.

Cette conjonction des préoccupations économiques, sociales et environnementales comme bases du développement consacrait le concept de Développement durable, popularisé en 1987 par la Commission mondiale sur l'environnement et le développement (Commission Brundtland).

A la même époque, au début de l'année 1993, les principaux réassureurs opérant en France annoncèrent aux sociétés d'assurance qu'ils ne renouvèleraient pas au 1 janvier 1994 les dispositions des traités de réassurances concernant le risque 'environnement'. Par cette décision ils marquaient leur refus de s'engager résolument dans l'assurance des atteintes à l'environnement.

L'origine de l'étude sur les couplages entre assurances et environnement, puis sur le développement durable, remonte à cette époque. J'étais alors associé dans un Cabinet d'assurances, après avoir assumé des responsabilités au sein de la société Winterthur assurances (voir cv).

S'intéresser aux couplages assurances-environnement permettait de faire progresser la grille de lecture de l'environnement fondée sur le concept de SurEnvironnement. Puis, le concept de Développement durable prenant une dimension qui le rend désormais incontournable dans le domaine de l'environnement, la deuxième partie de cette recherche porta sur les couplages assurances-environnement-développement durable.

Le refus des assureurs de s'engager franchement dans les risques d'atteintes à l'environnement et l'émergence du concept de Développement durable révèlent un antagonisme opposant en quelque sorte un monde réel, celui des assureurs, à un monde virtuel élaboré au cours de grandes manifestations internationales. Il exprime les difficultés soulevées par des conceptions divergentes de la prise en compte de l'environnement, mais surtout les obstacles techniques rencontrés pour réaliser les but des environmentalistes recherchant les conditions d'intégration des SurEnvironnement aux Environnement des Moi dominants.

Or, ces obstacles dont ils sont consubstantiels, sont le produit d'une histoire dont l'aboutissement est la construction d'écosystèmes artificiels. Aujourd'hui ces derniers sont rendus responsables de la crise de l'environnement. Le concept de Développement durable est une tentative de réponse pour surmonter celle-ci.

L'approche du Développement durable avancée par la commission Brundtland répond à une préoccupation globale prenant en compte l'avenir de la planète terre et de ses habitants dans son ensemble. Cette approche holistique souligne l'interdépendance des différentes zones de la planète, mais manque d'opérationnalité à l'échelle locale.

La multiplicité des modes d'organisation sociale, l'hétérogénéité des pratiques culturelles obligent à admettre que les outils du Développement durable ne sont pas les mêmes selon le niveau de développement.

Aussi, les différentes approches du Développement durable accessibles par la littérature expriment un état d'esprit, mais manquent de définitions aux portées juridiques précises. Déterminer le rôle de l'assurance dans le Développement durable est alors rendu nécessaire par la dimension qualifiable d'idéologie utopiste de celui-ci et le manque d'outils favorisant son opérationnalité.

Son peu d'ancienneté est sans doute à l'origine de cette situation.

Au contraire, le concept d'assurance est aujourd'hui bien défini. Toutes les définitions utilisées rendent compte du même objectif: garantir par un phénomène de mutualisation les conséquences de sinistres affectant les objets assurables.

Pour l'assureur, sont assurables les objets susceptibles:

- de consacrer une partie de leurs ressources à l'opération d'assurance;
- répondre aux critères de l'assurabilité.

L'opération d'assurance détermine donc un espace d'optimisation économique de la socialisation de la gestion de certaines catégories de risques: les risques assurables.

L'étude de l'apport des techniques d'assurance à l'internalisation des dommages environnementaux montre que l'assureur participe partiellement à cette internalisation, car son champ d'intervention est limité à la sphère des écosystèmes artificialisés. Aussi, la technique d'assurance contribue au Développement durable des écosystèmes artificiels, mais peu dans le domaine de l'environnement (environmental) obligeant à faire appel à d'autres outils dont elle est toutefois un complément.

L'espace d'intervention de l'assureur dans le domaine de l'environnement est volontairement limité en raison du cadre juridique, économique et technique dans lequel il évolue. Celui-ci ne permet pas, en l'état, d'internaliser les destructions accidentelles du "stock de capital naturel". Or, ce stock de capital naturel est identifiable au SurEnvironnement dont nous avons vu qu'il à la fois essentiel dans le modèle de développement critiqué au nom de l'environnement, et donc qu'il est la pierre angulaire d'une réelle qualification de l'environnement, différentes des approches hygiénistes ou d'aménagement.

## B: Principales problématiques posées par l'assurance des atteintes à l'environnement

### 1: Evénements à l'origine de la réaction des réassureurs à l'environnement

Les expériences américaines et allemandes sur l'indemnisation des dommages à l'environnement et les risques qu'elles firent courir aux assureurs opérant dans ces pays, ainsi que les incertitudes juridiques spécifiques à la France furent les principales raisons qui les amenèrent à isoler ce risque des garanties de base Incendie et Responsabilités civiles. Jusqu'à la crise de 1993, les assureurs n'avaient pas bien identifié le risque 'atteintes à l'environnement' et le garantissaient sans traitement particulier à travers ces deux garanties.

La prudence de la profession suscita une multitude de réactions révélatrices de l'expectative des assureurs face à ce risque, désormais bien identifié, mais à l'origine de nombreuses interrogations.

Plusieurs causes ont motivé les inquiétudes des assureurs face au risque 'environnement', on citera:

- l'absence d'un concept 'environnement' précis. Pour suppléer cette carence, les assureurs ont créé leurs propres définitions de l'environnement et de la pollution;
- l'incertitude juridique concernant le traitement du risque environnement
  - . la nullité de la clause claims-made ou clause de réclamation,
  - . l'audace écologique de plusieurs textes internationaux
- la situation aux Etats-Unis et en Allemagne

Tout ceci est à l'origine d'un certain nombre de problématiques non encore résolues. Les plus importantes sont:

- la quantification et la qualification des dommages à l'environnement
- les régimes de prescriptions applicables
- les rapports entre les seuils réglementaires (approche juridique-scientifique) et les engagements de responsabilité civile (notion de dommage)
  - l'alternative entre un régime de responsabilité civile classique fondé sur la notion de faute et un régime de responsabilité civile objectif fondé sur la notion de dommage
  - mais surtout la notion de dommage écologique pur qui est au cœur de l'économie de l'environnement.

### 2:Le dommage écologique pur

Les problématiques rencontrées par les assureurs pour traiter le risque 'atteintes à l'environnement' conformément à leurs usages, sont d'ordre juridique, économique et scientifique.

Sur le plan juridique, la plus importante est la qualification précise du dommage à l'environnement; une distinction étant faite entre les dommages causés à des biens patrimoniaux et ceux échappant à la sphère marchande, qui par conséquent ne peuvent faire l'objet d'aucune estimation monétaire.

Alors que les premiers ne soulèvent pas de difficultés insurmontables pour les estimer selon les pratiques actuelles, ce qui permet aux assureurs de les intégrer dans le champ de l'assurable, les seconds relevant de la qualification de dommages écologiques purs affectant des biens inappropriés (*res nullius*) constitutifs du capital naturel sont actuellement exclus des conventions d'assurance en raison de leur non reconnaissance par le droit commun.

L'analyse de la jurisprudence dans ce domaine aboutit à la conclusion que l'environnement, assimilé au statut juridique de *res nullius*, est peu ou pas pris en compte comme base d'indemnisation. Cette carence des pratiques juridiques nationales est à l'origine, à l'échelle internationale, de l'adoption de textes volontaristes dédiés à l'indemnisation de la totalité des dommages à l'environnement.

Cette distorsion entre une pratique judiciaire nationale restrictive, issue d'une histoire, et une volonté politique exprimée par des textes internationaux crée une incertitude juridique que les assureurs ne peuvent et ne veulent pas gérer.

De plus, l'absence de reconnaissance juridique limite l'estimation économique et par conséquent rend l'évaluation statistique et monétaire du risque incertaine. Les quelques éléments disponibles pour estimer les dommages à l'environnement sont révélateurs de la faiblesse de ceux-ci ou alors de leur mauvaise appréciation. Or, stabilité juridique, estimation économique et évaluation technique du risque sont indispensables à l'assureur pour exercer son métier.

Le risque d'atteintes à l'environnement, pour le moment, étant inaccessible à leurs méthodes, les assureurs ont préféré isoler celui-ci, le sérier et le traiter conformément à leurs usages, créant leurs propres définitions et concepts. Ceux-ci permettent de préciser ce qui rentre dans le champ de l'assurable et ce qui ne peut en l'état y être éligible.

En effet, la multiplicité des définitions utilisées pour définir les mots "environnement" et "pollution" constitue la première difficulté que rencontrent les assureurs pour exercer leur métier dans ce domaine; aussi ont-ils dû créer leurs propres concepts. Ils distinguent plusieurs sortes de pollution.

### 3: Les définitions de la pollution

La pollution accidentelle. La pollution accidentelle, fortuite ou soudaine est due à un événement précis et instantané; rupture d'une cuve, explosion, etc. Le phénomène présente alors un caractère aléatoire, car nul ne peut prévoir la date de survenance du sinistre. Dans ce cas, le risque est estimable. Il correspond à la probabilité de l'événement multiplié par le montant du dommage.

La pollution graduelle. La pollution graduelle est plus délicate à définir que la pollution accidentelle. Elle correspond à un événement précis, mais non remarqué à son commencement. Aussi, trois dates sont retenues pour déterminer la chronologie d'une pollution: le fait générateur ou date de naissance de la pollution, la manifestation du dommage, c'est à dire l'apparition physique de la pollution et, pour les juristes et les assureurs, la date de réclamation de la victime.

Contrairement à la pollution accidentelle où ces trois dates coïncident, fait générateur et manifestation du dommage ne coïncident jamais pour une pollution graduelle. Il s'agit des fuites et fissures ayant entraîné une pollution dont la manifestation est apparue bien après le fait générateur.

La pollution chronique. La pollution chronique est celle autorisée par l'administration. Elle n'a aucun caractère aléatoire; c'est la pollution admise par la société comme contre-partie des bienfaits procurés par notre modèle économique et social. Les autorisations administratives étant toujours délivrées dans le respect du droit des tiers, la responsabilité civile du pollueur existe malgré le respect des normes administratives dès lors que l'exploitation de l'établissement a causé des dommages à des tiers.

Cette pollution chronique émise dans des limites autorisées ou tolérées, est à l'origine de dommages dont le coût a été évalué à quelques pour cent du PIB par an (plus de 200 milliards de francs par an en France (?)). Cette pollution ne fait normalement l'objet d'aucune indemnisation car elle résulte d'un choix de société. En outre, les montants en jeu sont si élevés que l'indemnisation serait financièrement impossible. Aussi, l'indemnisation des dommages ne concerne en fait que les pollutions "anormales", qu'elles soient "accidentelles", "graduelles", "historiques" ou "futures".

La pollution historique. La pollution historique est due aux activités industrielles passées. Le cas le plus connu est celui du sol contaminé à la suite de la présence sur le site d'un établissement polluant. Mais, la canalisation sur une personne précise de la responsabilité civile pour fait de pollution étant souvent impossible, la pollution reste alors à la charge de la société qu'il y ait ou non dommages à des tiers.

La pollution future. Plus délicate à apprécier, la pollution future émise de façon fortuite ou non à un niveau anormal, cause des dommages indemnifiables d'un coût global que l'OCDE situe entre 100 et 200 millions de francs par an en France pour les installations fixes. Ce chiffre n'est qu'une moyenne, car les dommages peuvent être beaucoup plus élevés en cas de catastrophe. Ainsi, ils auraient dépassé deux milliards de francs dans les accidents de Seveso, en Italie (1976) et de Bhopal, en Inde (1984). Mais ces accidents sont rares et ne se produisent pas dans tous les pays.

La pollution future conduit très souvent à des indemnités ou à des mesures réparatrices; cette catégorie entrant alors dans celles des pollutions graduelles ou historiques.

Autres formes de pollution. D'autres formes de pollution sont retenues par les assureurs. On citera la pollution fautive intentionnelle, exclue des garanties des contrats d'assurance au titre de l'article L 113-1 du Code des assurances, ou encore la pollution potentielle liée à une activité nouvelle dont on ne maîtrise pas encore les conséquences possibles pour l'environnement.

Seules les pollutions accidentelles ou graduelles sont actuellement assurables, d'autres obstacles limitant les possibilités d'intervention des assureurs en matière d'environnement.

#### 4: Réactions des assureurs pour organiser le risque 'environnement'

La comparaison des versions de 1989 et de 1995 des Conditions générales du contrat-type "Assurance des risques atteintes à l'environnement" du groupement Assurpol montre ce que les assureurs acceptent de garantir au titre de la pollution et comment ils réagissent pendant les années 1993/1994 en modifiant les garanties accordées auparavant.

Schématiquement aujourd'hui, les assureurs garantissent les dommages à l'environnement à caractère aléatoire affectant un bien patrimonial.

Cela laisse de nombreux coûts environnementaux non indemnisés en cas de sinistre de pollution; les garanties financières et les fonds d'indemnisation (projet FIPA) constituant en l'état d'utiles compléments à l'assurance.

Pour déterminer l'acceptabilité ou non d'une risque environnement et ses conditions de garanties et de prime, les assureurs ont élaboré des méthodes normalisées d'analyse qui renseignent sur leur conception de l'environnement et de leurs relations avec les autres éco-outils.

Actuellement, ils préfèrent se fier à leurs propres méthodes et envisagent les politiques de l'environnement développées en interne (système de management de l'environnement) ou en externe (action des pouvoirs publics) comme des éléments d'analyse de risque et non pas comme des critères de décision. Pourtant celles-ci sont le fondement de l'intégration de l'environnement dans le cadre d'un développement durable.

## C: Développement durable et assurances

### 1: De l'environnement au Développement durable

Le montée des préoccupations environnementales a abouti à l'élaboration du concept de Développement durable. La Commission Brundtland l'a défini comme celui "*qui répond aux besoins des générations actuelles sans compromettre la capacité des générations futures à répondre aux leurs*". Elle a noté que sa définition contenait deux concepts-clé: les besoins, qui désignent "*en particulier les besoins essentiels des populations démunies de la planète*", et les limites, qui désignent "*celles imposées, par l'état de la technique et l'organisation sociale, à l'aptitude de l'environnement à répondre aux besoins présents et futurs*".

Cette définition ne porte pas seulement sur la durabilité sous le seul angle de l'environnement, mais aussi sur l'équité entre les habitants actuels de la planète et entre les générations successives. Pour la Commission Brundtland, le Développement durable consiste en l'intégration des dimensions écologiques et sociales dans le développement économique. Un vecteur de cette intégration est l'internalisation des coûts sociaux ou externes jusqu'alors ignorés du processus économique.

La nécessité de mettre en œuvre un développement durable intégrant l'environnement est à l'origine de nombreux travaux tendant à préciser l'opérationnalité de ce concept. Ces travaux portent majoritairement sur l'intégration des aspects environnementaux dans les décisions économiques et concernent:

- la définition du Développement durable;
- l'intégration juridique;
- la conceptualisation économique: soutenabilité faible, soutenabilité forte;
- la mise en œuvre d'indicateurs micro ou macroéconomiques;
- les critères d'efficacité;
- l'élaboration d'éco-outils (ISO 14000, EMAS, etc.);
- etc.

La plupart de ces outils sont destinés à optimiser l'internalisation des coûts environnementaux, mais leur succès et les politiques qui les mettent en œuvre sont conditionnés par une adaptation du concept de Développement durable aux spécificités de chaque région du monde selon son niveau de développement économique et social.

Ainsi les techniques assurantielles comme mode d'internalisation ne sont pas utilisables dans les régions dont le niveau de développement n'a pas encore permis l'émergence d'un marché de l'assurance. L'assurance est essentiellement une technique financière développée dans des sociétés ou dans des groupes sociaux ayant dépassé le stade de la survie. Elle n'est donc pas opérationnelle pour des zones sous-développées économiquement.

Aussi, évaluer l'apport de l'assurance au Développement durable oblige à se borner aux zones économiquement développées (zone OCDE) et admettre que le Développement durable dans des pays dits en voie de développement nécessite d'autres outils, sans doute différents de ceux utilisés dans la zone OCDE (normes ISO, réglementation, financement publics, techniques financières (assurances, fonds d'indemnisation), etc.).

Nonobstant cette réserve, le Développement durable consiste alors à tout mettre en œuvre pour éviter de créer des situations irréversibles menaçant la pérennité des écosystèmes qu'ils soient artificiels ou naturels.

C'est dans cette perspective que s'insèrent les techniques financières usuelles (assurances, fonds de garantie, etc.) préservant le capital qu'il soit artificiel (biens), humain ou écologique en distinguant soutenabilité faible et soutenabilité forte.

Pour les partisans d'une soutenabilité faible, il s'agit de maintenir le stock de capital global, qu'il soit humain, artificiel ou naturel, à un niveau constant, indépendamment de leurs rapports respectifs. Cette approche est celle des économistes traditionnels. Par contre, l'idée d'une soutenabilité forte défendue par les environmentalistes, impose le maintien du stock de capital naturel à un niveau critique permettant le renouvellement des écosystèmes naturels.

Aussi, indépendamment des choix de développement, définir la Durabilité oblige à en sérier le concept.

La première idée qui s'impose est que Durabilité ne signifie pas immuabilité.

Par référence aux enseignements de la thermodynamique des phénomènes dissipatifs, nous qualifierons le Développement durable comme l'ensemble des pratiques qui limitent l'accroissement du terme réversible de l'entropie dans tout écosystème. Par contre, sauf révolution épistémologique fondamentale, aucune technique ne permet actuellement de s'opposer à l'accroissement de l'entropie irréversible. Par conséquent, tous les outils favorisant la réversibilité de phénomènes affectant des écosystèmes artificiels ou naturels sont des outils de Développement durable. L'internalisation financière de l'utilisation de l'environnement et des dommages qu'il subit en est une.

Un autre éclairage du concept de Développement durable est fourni par le dualisme Environnement / Sur Environnement. Le Développement durable consisterait alors à intégrer le SurEnvironnement dans l'Environnement, alors qu'auparavant le développement se faisait sur la permanence de ce dualisme.

Enfin, la référence au droit commun, notamment par l'utilisation de la notion de tiers, et à l'économie de l'environnement permettent d'avancer que le Développement durable est fait de l'ensemble des pratiques qui participent à l'internalisation financière des flux réversibles d'entropie susceptibles d'affecter la durabilité d'autres systèmes.

L'esprit qui prévaut à l'émergence de l'idée de Développement durable est alors intuitivement perceptible. Mais sa mise en œuvre achoppe par manque d'opérationnalité, alors que désormais chaque nouveau texte sur l'environnement y fait explicitement référence.

La difficulté de proposer une définition opérationnelle est due au fait que le concept de Développement durable est récent. Celui-ci doit disposer de temps pour être achevé, l'assurance ayant mis près de 3000 ans avant d'être conçue comme une technique financière autonome dont les fondements sont bien établis.

Aussi, l'étude de l'apport des techniques assurantielles au Développement Durable suppose d'en connaître les fondements.

## 2: L'assurance

La technique d'assurance est ancienne. Les premières traces remontent à l'ère de l'Égypte antique. Aujourd'hui, celle-ci tend à mutualiser des risques à caractère aléatoire afin d'en diminuer les conséquences financières en cas de réalisation.

L'assureur, quel que soit son statut, exerce principalement ses activités dans les domaines économiques (risques dommages et responsabilités civiles) et sociaux (décès, maladie, invalidité).

Alors que la gestion d'une structure économique passe par l'optimisation des rapports entre des coûts certains, la technique d'assurance porte essentiellement sur des coûts aléatoires. Ceux-ci sont la conséquence de la survenance de sinistres affectant dans des proportions variables la pérennité de la structure qui les subit.

Aussi, indépendamment ou non de la réalisation des risques correspondants, la technique d'assurance participe à l'internalisation de ces coûts aléatoires:

- en mutualisant les conséquences financières de la réalisation d'un risque dûment identifié sur une population homogène;
- en lissant la charge financière dans le temps;
- en organisant la mobilisation des ressources nécessaires à la reconstitution du système détruit ou menacé; ce dernier ne disposant pas de celles-ci en dehors d'une opération d'assurance;
- en conditionnant sa garantie au respect de mesures de prévention et donc en rendant le risque assurable.

Or, un risque assuré est a priori susceptible de mieux surmonter les sinistres prévus au contrat qu'un risque non-assuré. Sa durabilité est donc renforcée par l'internalisation des coûts consécutifs aux dommages provoqués ou subis à l'occasion d'un sinistre susceptible de compromettre sa pérennité.

L'internalisation est un des vecteurs privilégiés de l'intégration des coûts externes (sociaux et écologiques) dans le cadre d'un Développement durable. Or, l'assurance participe à l'internalisation de coûts externes. Par conséquent, l'hypothèse de base sur l'apport des techniques assurantielles au Développement durable est que ce qui est assurable est durable.

La présentation de la technique de l'assurance permet de comprendre comment s'opère ce processus d'internalisation de coûts aléatoires. Celui-ci se réalise avant la survenance du sinistre par la prévention et la mutualisation et après par l'indemnisation des dommages garantis au contrat. Cette séparation avant et après le sinistre facilite la discussion sur les apports de l'assurance au Développement durable. Dans le cas de l'environnement, elle situe la position de l'assureur vis à vis des autres outils d'intégration de l'environnement que sont les politiques internes (SME) à la structure ou externes (réglementation).



### 3: Apports de l'assurance au Développement durable - discussion

Cette discussion est entreprise à partir des grandes catégories de capital identifiées dans la littérature sur le Développement durable que sont:

- le capital humain;
- le capital artificiel (man-made) qui correspond aux biens construits par l'homme;
- le capital naturel en distinguant le capital renouvelable du capital non renouvelable.

Les assureurs pratiquent leur métier à partir de branches d'assurances inscrites dans le Code des assurances fondées sur des catégories admises par le droit:

- les hommes (assurance-vie),
- les choses (assurances Incendie, Accident, Risques Divers (IARD)).

L'environnement relevant *a priori* de la catégorie des choses, les assureurs, se fondant sur la pratique judiciaire, distinguent alors les biens relevant du statut de *res propriae* de celui de *res nullius*;

Aussi la conjonction des catégories du Développement durable et de celles des assureurs crée quatre catégories de l'environnement:

- ressources renouvelables / *res propriae* (ex: bois, animaux domestiques)
- ressources renouvelables / *res nullius* (ex: animaux sauvages)
- ressources non renouvelables / *res propriae* (ex: charbon, pétrole)
- ressources non renouvelables / *res nullius* (ex: air, eau)

La discussion sur le rôle de l'assureur dans le Développement durable s'opère à partir de cette classification, en amont et en aval de la réalisation du sinistre, c'est à dire dans la prévention et dans l'indemnisation des dommages affectant chaque capital ou ressource.

Il est ensuite établi les points favorables ou défavorables des techniques assurantielles comme outils de Développement durable à partir de la définition avancée par ce travail.

La conclusion est que pour le capital humain ou artificiel, plusieurs éléments montrent que les techniques d'assurances participent à l'internalisation de coûts externes et par là favorisent leur durabilité.

Par opposition, dans le cas particulier de l'environnement, le rôle des techniques d'assurances est limité aux dommages à l'environnement ayant un caractère patrimonial, actuel, aléatoire.

Ce travail montre que, schématiquement, les assureurs excluent de leurs garanties les dommages chroniques et/ou écologiques purs.

L'internalisation de ceux-ci relève alors davantage d'une politique microéconomique (mise en place de Systèmes de management de l'environnement) ou macroéconomique (politique de l'environnement des Etats ou des collectivités territoriales) ou bien d'autres techniques financières (fonds d'indemnisation type FIPA, garanties financières).

Par contre le rôle de l'assureur se précise dès lors que les dommages sont quantifiables sans équivoque (incertitude juridique) et que les éléments sont réunis pour rendre un risque potentiellement assurable. Ce qui est le cas du capital artificiel ou du capital humain. L'assurance apparaît donc comme un outil d'internalisation de l'environnement en complément d'autres éco-outils.

Aussi, dès lors que l'activité susceptible de générer des dommages rentre dans le champ de l'assurable, la non-assurabilité est un bon indicateur de non-durabilité. L'approche assurantielle permet d'en déceler les raisons et par conséquent d'entrevoir le rôle d'autres outils ou les travaux à réaliser pour favoriser l'assurabilité. Ceci afin de favoriser une meilleure assurabilité des atteintes à l'environnement, et donc une internalisation complète des coûts environnementaux à caractère aléatoire non volontaire.

Ce travail n'est cependant réalisable qu'à partir du moment où certaines interrogations concernant l'environnement sont levées. Or, celles-ci débordent largement un cadre purement technique et nécessitent le recours à d'autres méthodes de perquisition comme la philosophie. Donc, indépendamment et en complément des études factuelles évoquées ci-avant, la résolution des problématiques identifiées dans ce travail suppose, à mon avis, l'émergence d'une épistémologie de l'environnement qui déterminera les conditions de création de SurEnvironnement dont la Nature est un élément fondamental, mais aussi le développement d'une économie de l'environnement fondée sur des approches écosystémiques. Cependant, pour être opérationnels, ces travaux doivent être rapprochés de ceux développés depuis des siècles par les économistes et être utilisables par les éléments de nos écosystèmes à haut niveau de complexité comme les assureurs.

#### D: De l'assurance des atteintes à l'environnement aux principes de fonctionnement des écosystèmes

L'assureur, en tant qu'acteur social fort de nos sociétés est sollicité pour participer à l'intégration de l'environnement dans les activités des sociétés modernes. Or, sur ce point celles-ci ne lui fournissent pas le cadre lui permettant d'exercer son métier.

Un des points d'achoppement est celui posé par l'indemnisation des dommages écologiques purs. Il suppose une intégration de la nature dans la sphère des activités humaines, alors que toute notre civilisation s'est forgée à partir d'une rupture avec ce monde naturel.

Aussi, si l'on veut favoriser l'émergence d'une morale de l'environnement et du développement, il convient de comprendre comment nos sociétés s'organisent à partir des lois de fonctionnement des écosystèmes et comment les facteurs moraux interviennent. Eluder l'une ou l'autre approche de nos outils de représentation des écosystèmes artificiels condamnerait des conceptions unilatérales niant l'originalité des problématiques de l'environnement.

Exclure la dimension culturelle de l'étude des écosystèmes artificiels reviendrait à considérer l'homme comme un être de la nature; mais d'un autre côté, oublier les contraintes naturelles serait une erreur identique à la précédente.

Les axes de recherche pour favoriser l'assurabilité et l'internalisation des dommages à l'environnement dans une perspective de développement durable supposeraient alors une détermination des paradigmes et archétypes majeurs offerts aux consciences humaines et aux organisations collectives.

#### III: D'Epiméthée à Kant: la rupture Nature-Culture

Si nous avions l'audace de résumer<sup>1</sup> 3000 années d'histoire de philosophie de l'environnement, nous dirions que les 3000 premières années sont jalonnées d'étapes conduisant à une séparation totale entre l'homme, dont le concept a évolué pendant cette période, et le monde naturel.

Puis, à la fin du vingtième siècle, la culture occidentale par ses dimensions scientifiques et chrétiennes, qui a sans doute créé le plus grand écart dans ce dualisme, s'interroge sur l'issue de sa démarche alors que paradoxalement son modèle de développement s'est étendu à l'ensemble de l'écosphère. Le nombre d'hommes et de femmes totalement affranchi de toute influence occidentale ne dépasserait pas aujourd'hui les vingt mille.

Toute la philosophie occidentale se résumerait, du point de vue qui nous intéresse, à l'histoire de cette séparation Nature-Culture. La crise de l'environnement interroge une nouvelle fois ce mouvement. Que ce parcours soit retracé en 15 ou 100.000 lignes importe peu dès lors que l'angle rédactionnel est accepté.

### A: Les fondements du schisme Nature-Culture

*“Cependant, aujourd’hui, après plusieurs siècles empreints de confrontation, de peur, de volonté de dominer, les rapports Nature-Culture deviennent plus conviviaux. La raison en est simple. La Nature a perdu le combat l’opposant à la Culture; tel le vaincu obligé de se soumettre ou de disparaître, la Nature est devenue Culture. Cette Nature vaincue et transformée par la Culture est désormais un fait culturel; partie intégrante de celle-ci. La destruction de cette Nature humanisée n’est plus alors saluée comme une victoire sur les éléments, mais comme l’annonce de la défaite imminente de la Culture, obligée dans son élan, de détruire chaque jour un peu d’elle-même en tuant le dernier loup, en abattant le dernier arbre.*

*Désormais en éliminant la Nature, nous éliminons la Culture, donc un peu de nous-mêmes. Une question fondamentale s’impose alors à notre conscience. La Culture a-t-elle la capacité de survivre à la mort de la Nature ? Cette Nature que la Culture a combattue et vaincue emportera-t-elle l’ultime bataille en aspirant dans sa chute cette Culture rivale et soeur ?*

*Ainsi est née la prise de conscience de protéger la Nature: la Culture peut-elle exister sans la Nature ? La Culture survivra-t-elle à la déchéance de la Nature ? Cette Culture séparée de la Nature est un monde désenchanté dans un univers inquiétant: “L’ancienne alliance est rompue; l’homme sait enfin qu’il est seul dans l’immensité indifférente de l’Univers dont il a émergé par hasard”, écrit Jacques Monod dans *Le Hasard et la Nécessité*”.*

Ces phrases reprises de notre ouvrage *Symphonie n°6* tentent de résumer, par l’emploi de noms propres, la problématique fondamentale à l’origine de la crise de l’environnement. C’est là que réside son originalité au regard de 3000 années d’aménagement et d’hygiène du milieu.

Cette séparation s’est manifestée au cours des siècles pour être définitivement formalisée d’un point de vue philosophique au tournant des 18 et 19ème siècle, puis s’étendre à nos pratiques sociales pendant le 19ème (révolution industrielle-colonisation) pour culminer enfin pendant la deuxième moitié du 20ème (mondialisation du modèle occidental).

La crise de l’environnement débute dans les années 1970, remettant en question ces 3000 années de ‘développement’ fondées sur la rupture Nature-Culture, à travers le concept d’environnement dans une première étape, puis de développement durable, désormais référence incontournable dans tous les discours politiques.

Les fondements de cette civilisation européenne scientifique et chrétienne se trouvent majoritairement dans la philosophie grecque et la religion hébraïque, dont une rupture fameuse conduisit au christianisme. Certes, les apports d’autres civilisations furent loin d’être négligeables. On devrait notamment noter notre propension à travailler aux celtes, l’organisation politique aux Romains, la démocratie aux germains, etc. Mais la scission Nature-Culture s’est largement opérée à partir de l’héritage grecquo-biblique.

Ainsi, les historiens du paysage (Victor Schama) opposent souvent la sphère grecquo-latine urbanisée, dont l'*urbs* est le symbole, à la sphère germanique dont l'arbre et la forêt sont par opposition les références. Il n'est donc guère étonnant que dans leur souci de revenir à leurs racines teutoniques, les nationaux-socialistes allemands des années 1930 se soient perçus comme les initiateurs des premières législations cohérentes de protection de la nature et de l'environnement. La sensibilité à l'environnement dans l'Europe du Nord est une autre manifestation de cette césure.

Pourquoi alors construire de nouveaux discours sur l'histoire et la philosophie pour tenter d'éclairer la crise de l'environnement ? Simplement pour comprendre comment s'est opéré ce schisme nature-culture, qui a abouti, selon les nouveaux concepts, à un modèle de développement fondé sur l'existence de SurEnvironnement. La crise de l'environnement a alors favorisé l'émergence de discours et de pratiques pour tenter de les réintégrer aux Environnement des Moi dominants.

### 1: Les fautes d'Epiméthée et d'Eve

Les grecs avaient déjà compris pourquoi nous artificialisons nos écosystèmes. A l'origine de leur mythologie, les dieux créèrent les hommes et les autres êtres animés, puis chargèrent Prométhée et Epiméthée de dispenser des offrandes à leurs créations (Platon, Protagoras). Les deux frères se mirent d'accord pour qu'Epiméthée fasse le partage des biens que Prométhée viendrait superviser. Epiméthée mobilisa toute sa sagesse afin de doter tous les êtres de ressources pour qu'ils puissent survivre et se perpétuer. Quand vint le tour de l'homme, Epiméthée avait épuisé tous les biens qu'il avait à sa disposition. L'homme se retrouvait sans atout dans la nature.

Prométhée, se considérant responsable de l'erreur de son frère, décida de se rendre en cachette dans l'atelier d'Hephaïstos (Dieu des arts) et d'Athéna (déesse de la sagesse) pour y dérober le feu. Prométhée donna alors le feu aux hommes et leur apprit aussi comment l'utiliser. Il fut cependant puni pour ce délit qui permit aux hommes de survivre dans une nature inamicale.

A la même époque, la mythologie hébraïque développait une autre conception de la place de l'homme dans la nature. Celle-ci est plus connue car elle participe à la fondation de la civilisation chrétienne qui évinça à son profit les mythologies antiques fondées à partir d'un même archétype indo-européen où nous retrouvons Zeus, Jupiter, Odin et les autres.

Dans l'Ancien Testament, Dieu prit l'homme et l'établit dans le jardin d'Eden pour cultiver le sol et le garder, tout en lui prescrivant de manger de tout arbre du jardin, sauf l'arbre de la connaissance, du bonheur et du malheur, car *“du jour où tu en mangeras, tu devras mourir”*. Puis Dieu créa la femme et celle-ci succombant à la malice du serpent mangea un fruit de l'arbre interdit et partagea son forfait avec son mari.

Le serpent fut condamné à ramper; Adam et Eve furent chassés du jardin d'Eden.

Depuis, nous ne faisons que subir les bêtises d'Epiméthée et d'Eve et cherchons à artificialiser les écosystèmes naturels pour les rendre vivables et recréer le jardin d'Eden d'où nous fûmes chassés.

Toute la philosophie et la religion de l'Occident sont structurées par ces deux buts. Or, les environnementalistes, aussi à la recherche de leur réalisation, s'engagent sur d'autres chemins que ceux créés d'Epiméthée à Kant.

## 2: Les problématiques posées aux environnementalistes

Les problématiques soulevées par l'expression de crise de l'environnement participent à une relecture de l'histoire du monde occidental qui une fois de plus à la fin du vingtième siècle s'interroge sur un mouvement qui, depuis les premières civilisations européennes jusqu'à l'extension de cette civilisation dans le reste du monde, a bâti ce succès par une rupture avec la Nature.

Notre propos n'est pas celui d'un historien, mais se contente de montrer à travers quelques événements et philosophes ce cheminement qui a suscité la critique environnementale. Il se résume par une première phase de séparation sous plusieurs aspects de la Nature et de la Culture, puis l'émergence de la crise de l'environnement, qui aboutit à une tentative de réappropriation de la Nature au sein de la Culture.

Le fait est remarquable et s'inscrira pour les historiens du futur (si il y en a) parmi les évolutions fondamentales de la fin du vingtième siècle. Mais alors que le développement des machines thermiques n'est que l'aboutissement technique d'un processus que la raison grecque, l'organisation romaine, le christianisme ont initié et que Kant pour la philosophie morale, Laplace et Comte pour la philosophie naturelle ont achevé, le mouvement démarré avec la crise de l'environnement est loin d'avoir atteint sa vitesse de croisière. Il en a été de même pour l'élaboration du paradigme classique. Deux exemples illustreront ce constat.

Le christianisme n'a pas deux mille années d'existence en Europe. La totalité de l'Europe occidentale est devenue chrétienne environ 1000 années après la naissance du Christ pour subir ses premières attaques au cours du 18ème siècle. Les russes furent christianisés à cette époque. Les premiers foyers de développement du christianisme furent les pays du Moyen-Orient et d'Afrique du Nord où il fut évincé par l'Islam à partir du VII siècle. Saint-Augustin (354-430) était l'évêque d'Hippone, ville de l'actuelle Algérie.

Quant aux enseignements de la mécanique céleste, leur portée est limitée. 53 % des américains ignorent que la terre tourne autour du soleil en une année<sup>4</sup>.

Aussi, il est assez facile d'admettre que bien que structurant largement l'organisation de la société occidentale, le paradigme classique est loin d'être totalement internalisé à nos pratiques. Il subit comme tous les paradigmes, la concurrence d'autres notamment ceux fondés sur un discours religieux. Cependant, malgré le réductionnisme des lignes suivantes, nous voulons montrer comment les interrogations suscitées par la crise de l'environnement s'inscrivent dans une perspective historique.

En effet, c'est avec les réflexions de Kant que les bases philosophiques du paradigme classique sont achevées. Avant lui Descartes et Bacon figurent parmi les auteurs à avoir participé à la séparation culture-nature.

A travers notre essai Symphonie n°6, puis nos travaux sur les couplages entre assurances, environnement et développement durable, nous avons tenté de qualifier la problématique de l'environnement par la création de néologismes auxquels nous avons associé des termes issus du droit ou de l'économie. Cependant, alors que nous développons ces réflexions, d'autres environnementalistes cherchaient aussi à qualifier le concept 'environnement' et les spécificités de la crise de l'environnement. Nous aboutîmes tous à l'idée que l'environnement était loin d'être réductible aux techniques de biorémediation pour dépolluer les sols ou à la physico-chimie de l'atmosphère, mais qu'il est à l'origine de la prochaine révolution copernicienne.

Cette crise de l'environnement est née de la découverte de la finitude de notre monde et du constat que ce qui jusque-là semblait aller de soi: respirer, boire, ne l'était plus.

Rappelons simplement qu'au milieu de dix-neuvième siècle, le Pacifique était une mer inconnue. Sa cartographie fut motivée par le conflit opposant américains et japonais pendant la seconde guerre mondiale. La découverte des profondeurs de la mer fut rendue possible par l'invention du scaphandre autonome (toujours pendant la seconde guerre mondiale). Quant à l'espace, il est maintenant établi que l'homme ne peut y vivre. Nous vivons donc sur une boule, cette boule n'est pas infinie. Maintenant nous en avons conscience.

Passons sur les origines de la crise de l'environnement. Tout a été dit, tout a été écrit sur ce sujet au cours des trente dernières années et se résume au constat de la finitude qui se traduit par l'incapacité physique d'éviter les conséquences de nombreuses problématiques par le recours à un quelconque SurEnvironnement. La crise de l'environnement est par conséquent née de la découverte de la finitude de l'écosphère; du constat qu'elle supporte des évolutions perçues comme exponentielles; mais aussi que l'artificialisation constante des écosystèmes est désormais perçue comme une menace pour le développement de l'humanité.

Un exemple de cette relativisation de la notion d'infini est fourni par l'étude de l'atmosphère qui en a modifié notre perception. Hier, donnée inconnue, on sait désormais que l'air respirable par nos organismes, quand il n'est pas pollué, est une couche de 3 km d'épaisseur, la distance entre la Tour Eiffel et la Tour Montparnasse. Ce chiffre de 3 km est le seuil d'utilisation d'appareils respiratoires dans la réglementation aéronautique pour les aéronefs non pressurisés: planeurs, aviation légère, avion de chasse, hélicoptère, etc. L'air respirable est donc de quantité finie... et pollué.

Or, tous nos savoirs et toutes nos pratiques sont fondés sur la notion d'infini. Le terme de SurEnvironnement a été inventé pour rendre compte de cette désormais évidence. Toutes nos organisations sociales modernes repose(ai)nt sur le dualisme

Environnement/SurEnvironnement; les SurEnvironnement disparaissant en raison de l'évolution de l'écosphère et de la Morale. L'expression de ce dualisme permet de définir la méthode environnementale comme l'ensemble des moyens permettant d'intégrer les SurEnvironnement dans l'Environnement, en mettant des majuscules à ces deux mots pour montrer qu'ils recouvrent des concepts différents de ceux admis aujourd'hui.

Aussi, quelles que soient leurs sensibilités personnelles, tous les environnementalistes cherchent à étudier et à imaginer de nouveaux savoirs et de nouvelles pratiques intégrant les contraintes révélées avec l'expression de 'crise de l'environnement'. Ainsi sont apparues les notions d'internalisation, de développement durable, de dommages écologiques, d'éco-management, et une multitude d'initiatives, de recherches, de politiques, de philosophies, pertinentes ou pas, efficaces ou pas. On ne sait pas. L'avenir le dira. Cependant, après trente années d'environnementalisme le moment est peut-être venu de cartographier le paysage. C'est le rôle d'une épistémologie de l'environnement requalifiée 'envirologie'.

### 3: Les sociaux-type de l'environnementalisme

Le discours sur l'environnement ne se limite pas à une approche réductionniste scientifique, technique, économique ou juridique, mais utilise l'ensemble des composantes de notre noosphère pour se construire. Ainsi, à côté d'angoisses concrètes sur l'avenir physique de notre planète, s'est posée la question de la valeur morale que nous pouvions attribuer à des objets exclus de la sphère de la Morale jusqu'alors réservée à la seule humanité dont le périmètre ne fut pas toujours celui qu'il est aujourd'hui. Les débats sur l'esclavage des populations d'Afrique noire au XVIII siècle et au XVIème la controverse de Valladolid sur l'âme des Indiens d'Amérique du Sud en sont d'exemplaires manifestations. Aujourd'hui se pose la question de l'âme des animaux et notamment des primates supérieurs.

La question des valeurs morales met en jeu divers arguments qui s'organisent sur une échelle dont on trouve à une extrémité, selon l'expression de Catherine Larrère, le bricolage des schémas anthropocentriques préexistants kantien ou utilitaristes fondant le paradigme classique. A l'autre extrémités sont regroupés des discours plus dangereux redonnant à la Nature une prééminence par des politiques volontaristes de diminution des populations d'*homo sapiens sapiens*; c'est l'écologie profonde.

Ainsi, l'une des extrémités de l'échelle regroupe des approches environnementalistes considérant que la tradition philosophique, morale, scientifique et religieuse occidentale dispose d'un arsenal théorique et idéologique suffisant pour faire face aux problèmes posés par la crise environnementale. On trouve dans cette catégorie des morales anthropocentrique comme celle qui prévaut à l'édification d'un Développement durable. A l'autre extrémité, on trouve une critique plus radicale considérant que les racines de la crise environnementale sont dans cette culture occidentale et que, bien loin de fournir des éléments de solution, cette tradition fait partie du problème. La morale y est alors écocentrique, le concept d'homme tel qu'il est aujourd'hui, c'est à dire réduit à l'espèce *homo sapiens sapiens* n'est alors qu'un élément de l'écosphère parmi d'autres et surtout sans prérogatives particulières.

Toutes ces interrogations ont conduit à la recherche d'une nouvelle éthique, d'une redéfinition globale de nos rapports avec la Nature. Encore faut-il distinguer le concept de nature de celui d'environnement. Le premier est précis, il regroupe en droit civil l'ensemble des objets inappropriés. Le second n'a toujours pas de définition juridique. Cependant, la nature en fait partie. Aussi, il est nécessaire de distinguer ce qui relève d'une philosophie de la nature (concept précis) d'une philosophie de l'environnement (concept flou).

Ce rapport à la nature a souvent été l'expression d'une contre-culture, que ce soient chez les puritains ou les naturalistes. Manifestation terrestre de l'enfer pour les uns, jardin d'Eden pour les autres, les conceptions et représentations de cette nature abondent, mais la critique principale portée par les environnementalistes est que cette nature a été instrumentalisée au service du développement d'un modèle social qui la détruit.

Comment alors doter la nature d'une valeur morale alors que l'Occident ne lui aurait attribué qu'une valeur instrumentale et en fait un objet dont on se sert, un objet au service de l'homme ? Les problèmes posés par l'indemnisation des dommages écologiques purs à l'origine du refus des assureurs de s'engager sans hésitation dans l'assurance des atteintes à l'environnement est une des manifestations de cette interrogation.

Plusieurs étapes jalonnent cette instrumentalisation de la nature dans la pensée occidentale, mais alors qu'aujourd'hui, les communautés savantes sont les premières à nourrir de leurs réflexions la crise de l'environnement, pendant longtemps philosophie morale (ce que l'homme peut faire) et philosophie naturelle (ce que l'homme peut savoir) ont travaillé à la réalisation de la société idéale entrevue par les grecs et les hébreux, fondée sur une rupture avec la nature.

## B: L'histoire du schisme Nature-Culture

### 1: le rôle de la pensée grecque

Tous les ouvrages de philosophie attribuent aux grecs la création de la philosophie. Que faisaient alors les autres grandes civilisations ?

Les Grecs sont en effet les premiers à avoir dissocié le sujet qui pense de l'objet qu'il étudie, créant la philosophie morale (comment l'homme doit se comporter) et la philosophie naturelle (que peut-on connaître de la nature ?); avec pour nous environnementalistes une question essentielle: quel est le statut de l'homme dans ce monde ? Les réponses à ces interrogations sont à l'origine de tous les grands courants politiques qui s'approprient l'environnement pour consolider leur conception du monde et de son organisation.

Chez Aristote, la nature est fortement anthropocentrée et hiérarchisée. La finalité naturelle de la subsistance culmine en l'homme: *“Les plantes existent pour les animaux, et les animaux pour l'homme, les animaux domestiques pour le travail qu'il en tire et la nourriture, les animaux sauvages, sinon tous, du moins la plupart, pour sa nourriture et pour d'autres secours, puisqu'il en tire vêtements et autres instruments. Si donc la nature ne fait rien d'inachevé ni rien en vain, il est nécessaire que ce soit pour les hommes que la nature ait fait tout cela”*. Une telle vision hiérarchique a des répercussions sur la conception du naturel.

Dans bien des cas celui-ci correspond non pas à ce qui est vrai dans la majorité des cas, mais à la norme ou à l'idéal posé par les animaux supérieurs, et, tout spécialement, par l'homme, *“l'animal le plus conforme à la nature”*. La hiérarchie se répercute à l'intérieur de l'humanité, par la supériorité de l'homme sur la femme (qui n'est qu'un homme incomplet), du Grec sur le Barbare, de l'homme libre sur l'esclave.

## 2: l'antagonisme Platon-Aristote

Parallèlement à une conception de l'homme dans ses rapports avec les éléments naturels, Platon développe une manière de percer les secrets de cette nature fondée sur la substitution du quantitatif et du géométrique aux qualités aristotéliennes. La science moderne qui émerge au 16ème siècle en Europe peut être alors comprise comme une reprise de l'ambition platonicienne d'accéder à la structure intelligible, essentiellement mathématique, du réel. C'est d'ailleurs, dans la continuité d'une tradition authentiquement platonicienne, que Galilée affirme la structure géométrique de l'univers: *“Il est écrit dans la langue mathématique et ses caractères sont des triangles, des cercles et autres figures géométriques, sans le moyen desquels il est humainement impossible d'en comprendre un mot”*.

La séparation entre le monde naturel et l'homme s'en trouve alors accentuée car on ne peut plus considérer l'homme, à la façon d'Aristote, comme *“l'animal le plus conforme à la nature”*. L'homme, par sa capacité à penser la nature par les mathématiques, s'éloigne du statut animal, même évolué, pour accéder à une marginalité dans le cosmos au même titre que les dieux. Ce débat permanent sur la place de l'homme dans la nature, débuté il y a 2500 ans, dure encore. Il a marqué deux millénaires et demi de philosophie des présocratiques jusqu'à James Lovelock, le réinventeur de Gaïa, en passant par Saint Augustin, K. Marx et tous les autres déjà cités ou à citer.

Même les physiocrates, ces théoriciens de l'ordre naturel, qui tentent, à l'aide d'un finalisme trouvé chez Malebranche, de dire l'accord entre l'homme et la nature, admettent cependant que l'ordre social -qu'ils disent “naturel”-, *“le plus avantageux aux hommes n'est peut-être pas le plus avantageux aux autres animaux”*. Le débat sur les rapports entre des ‘lois’ de la nature auxquels les hommes n'échappent pas et une spécificité qui les distinguent de cette nature, se poursuit actuellement avec celui portant sur les principes de fonctionnement des écosystèmes naturels et des écosystèmes artificiels. Nous y retrouvons aussi l'opposition entre deux conceptions de création de connaissances: celle formalisée par Aristote et celle de Platon.



Un détail de la gigantesque fresque du Vatican peinte par Raphaël en 1510, L'Ecole d'Athènes, montre Platon, le doigt pointé vers le haut, vers le royaume de la pensée abstraite et de l'idéalisme intellectuel. A sa droite, Aristote désigne la terre, qui était pour lui la source ultime, à travers nos sens, de toutes nos pensées.

Depuis les Grecs, rien n'aurait été sensiblement modifié dans le champ de la philosophie qu'ils ont labouré comme aucun autre peuple. Pourtant, dans ce monde gréco-romain, émerge la future religion de l'Europe, qui va substituer à un monde conçu à partir d'une pluralité de dieux, un monde dont l'unicité est assurée par son créateur. Le christianisme naissant va aussi contribuer à une séparation de l'homme de la nature.

### 3: la Bible

La mythologie environnementaliste est en partie fondée sur la déclaration émouvante du chef Seattle lorsque le président Franklin Pierce voulut acheter le territoire de sa tribu: *“Comment pouvez-vous acheter ou vendre le Ciel ? Ou la terre ? Cette idée nous est étrangère. Puisque nous ne possédons ni la douceur de l'air ni la fraîcheur de l'eau, comment pourriez-vous les acheter ?”*

Par opposition, on cite cet extrait de la Bible *“Dieu bénit l'homme et lui dit ‘Soyez féconds et prolifiques, remplissez la terre et dominez la. Soumettez les poissons de mer, les oiseaux du ciel, les bestiaux et toute bête qui remue sur terre”,* (Le Pentateuque, la Génèse, TOB).

Cette Bible, dans l'Europe occidentale romaine, détermine les rapports de l'homme avec la Nature. Les sensibilités qui en sont issues sont innombrables, les exégèses aussi, mais le message dominant est une nature au service de l'homme que la science moderne qui émerge au 16ème siècle va contribuer à connaître et donc maîtriser.

### 4: Descartes et l'ambition scientifique

Avec René Descartes, la pensée aristotélicienne qui domine les pratiques de connaissance pendant le haut Moyen-âge, époque de la fondation des cathédrales et des universités, allait recevoir un coup sévère. Le 10 novembre 1619, René Descartes, qui allait bientôt devenir l'un des fondateurs de la philosophie moderne, n'était encore qu'un soldat de vingt-trois ans, de temps en temps mathématicien. Ce jour-là, il eut la vision stupéfiante d'un monde mécaniste composé de matière inerte, mû de manière prévisible selon des schémas calculables par les mathématiques; des schémas discernables et maîtrisables par l'analyse intellectuelle grâce à une observation attentive et objective. Au sens propre du terme, la vision de Descartes a marqué le début de la révolution scientifique et met fin au conflit entre Platon dont le monde est créé par l'esprit et celui d'Aristote accessible par le sensible. Avec sa formule célèbre *“Je pense donc je suis”* donne les bases philosophiques pour penser ce monde par une dialectique permanente entre une nature pensée et une nature vécue.

La science moderne enlève à la nature sa dimension magique. Pour Galilée, la nature est descriptible en langage mathématique et cela permet de la maîtriser et de la contrôler. En 1804, le code civil de Portalis consacre la propriété comme moyen de disposer des ressources environnementales. La Hollande, pays où vécut Descartes, est présentée comme le pays où la nature est faite par l'homme.

Avec Copernic, Galilée, Kepler et Newton, la révolution scientifique moderne, on l'a assez dit, est antiaristotélicienne. Elle met fin au monde clos, au cosmos fini. A la vision du monde empruntée à Aristote qu'avait imposée la physique médiévale, se substitue un univers indéfini et même infini, ne comportant plus aucune hiérarchie naturelle. Cela signifie l'abandon de la théorie des lieux, du "mouvement naturel", où tout déplacement requiert une cause. Le principe d'inertie établit que le mouvement, comme le repos, est un état, qu'il n'est pas nécessaire d'expliquer; seuls les changements de mouvement ont besoin d'une explication. C'est l'inertie, ce mouvement qui n'existe pas mais conceptualisé pour expliquer tout mouvement, que l'on va désormais dire "naturelle". La révolution scientifique moderne se fait contre les évidences du sens commun, celles du soleil qui se lève et de la pierre qui tombe, dont la physique aristotélicienne donnait une description cohérente. Cependant, cette dernière laisse en héritage l'obligation d'observation, tout en cédant néanmoins la place à la science d'essence platonicienne qui permet de dominer la nature: *"Au lieu de cette philosophie spéculative qu'on enseigne dans les écoles, on peut trouver une pratique par laquelle, connaissant la force et les actions du feu, de l'eau, de l'air, des astres, des cieux et de tous les autres corps qui nous entourent, aussi distinctement que nous connaissons les métiers de nos artisans, nous les pourrions employer en même façon à tous les usages auxquels ils sont propres, et ainsi nous rendre maître et possesseur de la nature"* (Descartes, Le discours de la méthode).

Sur le plan métaphysique, Descartes et son concept mécaniste d'animal-machine crée les conditions d'une rupture ultime entre l'homme et le reste du monde vivant. La souffrance animale n'est qu'apparence car ceux-ci n'ont pas d'âme; siège de la morale et des sentiments. L'esclavage est justifié moralement par le fait qu'on ne met pas des hommes en esclavage, mais des choses sans âme. Une Nature-objet séparée du sujet pensant qu'est l'homme doté du *cogito* peut alors devenir une nature instrumentalisée au service d'un but: le progrès.

### 5: de Bacon à Smith: le mythe du progrès

La philosophie de Bacon (1560-1626) représente une des grandes ruptures avec la scolastique. Elle fonde un discours de type mystico-religieux où le progrès permet la restauration d'un temps archaïque édenique. La nature est alors promesse d'un jardin d'Eden qu'il faut cultiver à la sueur du front. Selon Bacon, Dieu a écrit deux livres, la nature et la Bible. Ces deux livres sont égaux en dignité et en importance. Ils sont aussi distincts, et il est catastrophique de les mêler, donc de faire intervenir des passages de la Bible pour discuter de questions concernant la connaissance de la nature.

En prononçant la séparation de la philosophie naturelle et de la religion, Bacon a contribué à constituer l'espace de sciences qui acquièrent leur autonomie vis à vis du discours religieux. En outre, il a fondé la recherche scientifique sur l'idée que la nature est régie par des lois; lois qui existent antérieurement à, et indépendamment des fictions que l'esprit peut inventer à leur sujet.

Le prolongement politique de ce discours est que l'absence de troubles et de séditions est un des objectifs des gouvernants. Ceux-ci ne doivent pas irriter le peuple et veiller, en revanche, à l'accroissement du bien-être; la pénurie étant cause ordinaire de conflits.

Le progrès des sciences permet alors d'espérer un accroissement des richesses utiles à la vie (et notamment alimentaires), mais aussi la détermination des lois naturelles qui régissent les hommes et que les princes doivent appliquer.

Bacon ouvre alors la voie à la science politique qui permettra de retrouver les paradis perdus (Atlantide, jardin d'Eden), la science en général permettant le progrès. Mais alors que l'Eglise catholique ne les entrevoit que dans l'au-delà par la résurrection, les philosophes protestants ou laïques l'imagineront désormais sur terre.

Ainsi, la science économique s'est-elle édiflée au cours du XVIII siècle avec A. Smith qui, par le biais de la main invisible, métaphore pour désigner le marché, a doté l'économie d'un "ordre naturel" spécifique, détaché de ses dépendances vis-à-vis du divin, puis du politique et enfin de la nature, mais tendant vers le progrès. Les marxistes ouvrirent d'autres horizons pour réaliser ce but. Mais cette autonomie ne se réalisa pas immédiatement. Les systèmes économique, social et naturel, bien que obéissant chacun à leur propre "ordre naturel", entretenirent néanmoins des relations jusqu'à leur séparation définitive. La Révolution française constitue la première étape d'une société où le savant et le bourgeois collaborent pour édifier ce monde, laissant le prêtre et le noble sur le bord du chemin. Nous verrons au chapitre sur l'économie de l'environnement que la démarche des environmentalistes est de réintégrer la nature, au sens juridique, dans les discours sur l'économie ou le social, qu'elle soit instrumentalisée ou non.

## 6: Kant et les choses

Dans les Fondements de la métaphysique des mœurs, Kant met les objets naturels au rang des instruments: *“Les êtres dont l'existence dépend, à vrai dire, non pas de notre volonté mais de la nature n'ont cependant, quand ce sont des êtres dépourvus de raison, qu'une valeur relative, celle de moyens, et voilà pourquoi on les nomme des choses”*. De l'autre côté, il place *“les êtres raisonnables”*, qui sont appelés *“des personnes”*, parce qu'ils doivent être considérés comme des *“fins en soi”*, autrement dit comme quelque chose qui ne peut pas être employé simplement comme moyen, par suite quelque chose qui *“limite d'autant toute faculté d'agir comme bon nous semble”*. L'idée de valeur instrumentale procède donc de la distinction entre fins et moyens. Elle renvoie à l'agencement de moyens pour réaliser des fins, et s'applique donc d'abord à tous les artefacts, outils, instruments, qui n'ont été élaborés par l'homme que pour servir à quelque chose.

L'ambition de la philosophie environnementale, c'est de remettre en cause la catégorie des “choses”, qui les subordonne à l'instrumentalisation humaine. Notons que la nature dans sa définition juridique de *res nullius* n'a même pas ce statut de ‘chose’ éligible aux seuls biens appropriés (chapitre n°II).

Pendant ce temps, la science émergeait de la philosophie naturelle et s'associait aux pratiques de l'ingénieur (fondation des Grandes Ecoles en France) pour permettre au projet européen, que les philosophes ont exprimé et que la révolution française a réalisé, de disposer des outils pour agir sur cette nature. C'est à l'époque où Laplace et Comte finalisaient le paradigme classique que la thermodynamique naissait (chapitre sur la thermodynamique) pour conceptualiser les découvertes sur les machines à feu du 18ème siècle.

Aussi, avec Kant, Laplace et Comte, les bases ‘socio-économiques’ de la société occidentale sont définitivement établies pour deux siècles. Cependant, la contestation de ce modèle ne date pas des années 1970. De nombreux auteurs ont montré les risques de rompre les liens ancestraux avec la Nature.

Que ce soit au nom de la religion ou de la philosophie, les écologistes modernes eurent des prédécesseurs, mais qui malgré leur talent, n'eurent pas le même succès que les auteurs déjà cités.

---

## C: Les résistances au dualisme Nature-Culture

---

### 1: Ronsard et les autres

Nombreux sont les philosophes, homme d'église, poètes, etc. à percevoir l'évolution de notre monde et à la contester. Au XVI siècle, Ronsard lance le cri de sa fameuse "Élégie contre les bûcherons de la forêt de Gastine":

*Ecoute, bûcheron, arrête un peu ton bras !  
Ce ne sont pas des bois que tu jettes à bas;  
Ne vois-tu pas le sang, lequel dégoutte à force,  
Des nymphes qui vivaient dessous la dure écorce ?*

A Descartes et son concept d'animal-machine, point ultime de la rupture de l'homme et du reste du monde vivant répond Saint François d'Assises. Ses réflexions participent à l'idée d'une nature distincte de l'homme, mais dont les éléments comme les oiseaux sont nos frères. Aussi, on trouve dans la tradition chrétienne l'idée que l'homme n'est que le "gérant" ou l'"intendant" de la Création divine, à laquelle il doit rendre compte de ses actes. On retrouve en permanence un dualisme opposant une nature au service de l'homme à une nature dont l'homme est le gérant, avec aujourd'hui les très médiatiques Hans Jonas<sup>6</sup> et Michel Serres<sup>7</sup>.

Ainsi, toute une tradition sceptique, qui n'est pas incompatible avec l'apologétique chrétienne, tend, en humiliant la raison, à rapprocher l'homme de l'animal. Montaigne en est un des représentants: "*on prétend que l'homme est moralement supérieur aux animaux*", s'étonne-t-il, "*alors qu'il est le seul à commettre des turpitudes qu'ignorent les animaux, et l'instinct de ceux-ci les dirige plus sûrement que la raison ne le fait pour les hommes, qui en usent peu et mal*". Affirmant, à la suite de Plutarque, "*qu'il y a plus de différence d'homme à homme, que d'homme à bête*", Montaigne argumente en faveur d'une proximité éthique entre les hommes et les animaux, d'où se tire "*un général devoir d'humanité, non aux bêtes seulement, qui ont vie et sentiment, mais aux arbres mêmes et aux plantes*".

Puis, Rousseau avance l'idée d'un homme bon par nature, quand il ne s'en éloigne pas. De grands découvreurs comme Bougainville partent rechercher cet homme bon issu d'une société idéale, proche de la nature.

Ainsi, la contestation de rapports nature-culture conflictuels n'est pas récente et s'est exprimée sous plusieurs formes au cours des siècles. Les débats suscités par les droits de l'animal ont en partie cristallisé ceux-ci, cassant le mythe d'un animal-machine voulu par Descartes.

### 2: Le rapport à l'animal

Le 19ème siècle voit se développer une éthique de l'animal dû au développement des villes. Les modifications industrielles qui conduisent au remplacement de l'énergie animale par la vapeur ou l'électricité font que l'animal de référence n'est plus seulement l'animal de travail, usé à la tâche, souvent traité avec indifférence ou cruauté, mais l'animal de compagnie, observé et aimé. C'est ainsi qu'apparaissent les premières sociétés de protection des animaux (dès 1824); que l'on stigmatise les traitements cruels des animaux (élevage ou abattage des animaux de boucherie, dressage des animaux de cirque, bêtes de trait maltraitées); que l'on condamne la chasse, dénonce la vivisection, fait interdire les combats d'animaux. Toute une série de lois assurent ainsi la protection juridique des animaux.

En Angleterre comme en France, on associe les campagnes en faveur des animaux à la lutte contre l'esclavage et au développement de la démocratie.

Jeremy Bentham dans "Introduction aux principes de la morale et de la législation", fondateur de l'utilitarisme et grand réformateur, déclarait ainsi, en 1789: *"Il y eut une époque, et j'avoue avec tristesse qu'en bien des lieux ce temps n'est pas révolu, où la plus grande partie de l'espèce, sous la dénomination d'esclaves, était considérée aux yeux de la loi de la même manière que les animaux des races inférieures sont traités en Angleterre par exemple. Le jour viendra peut-être où le reste du règne animal retrouvera ses droits qui n'auraient jamais pu lui être enlevés autrement que par le bras de la tyrannie. Les Français ont déjà réalisé que la peau foncée n'est pas une raison pour abandonner sans recours un être humain aux caprices d'un persécuteur. Peut-être finira-t-on un jour par s'apercevoir que le nombre de jambes, la pilosité de la peau ou l'extrémité de l'os sacrum sont des raisons tout aussi insuffisantes d'abandonner une créature sensible au même sort"*.

Les débats soulevés par l'expérimentation animale surtout sur les grands singes ont conduit les néo-zélandais à envisager d'introduire dans leur constitution des droits pour les primates supérieurs. Assistons-nous à une refondation du concept d'homme identique à celle du début du 19ème qui l'a assimilé au concept biologique d'*homo sapiens sapiens* ? Ce mouvement aurait alors pris naissance dans une ancienne colonie anglo-saxonne comme les Etats-Unis.

### 3: Les américains et l'environnement

Les philosophies de l'environnement se sont surtout développées dans les pays anglo-saxons à partir des années 1970, trouvant leur source dans l'histoire des rapports des américains avec une nature qu'ils auraient découverte vierges.

Elles prennent plusieurs formes, des plus conventionnelles aux plus radicales. Ainsi, les puritains débarquant du May Flower voyaient dans la nature sauvage d'Amérique le symbole des forces du mal qu'il fallait réduire et dompter; l'indien en était le symbole. Mais deux siècles passés, ces puritains devenus l'aristocratie américaine développèrent une éthique de la responsabilité à l'égard du monde naturel par la création des parcs naturels et des réserves pour les indiens.

Plusieurs dates jalonnent cette évolution:

1834 réserve nationale des Arkansas Hot Springs

1872 création du parc national du Yellowstone

1964 Wilderness Act

1980 une partie de l'Alaska, plus grande que la Californie est classée réserve naturelle

Pour les américains, la nature sauvage est partie de leur culture par opposition aux européens qui n'ont plus de nature depuis plusieurs siècles, mais une culture (philosophie, arts plastiques, musique, architecture, etc.) qui a modifié le paysage depuis des millénaires.

Le courant transcendaliste représenté par Henri David Thoreau développe une vision religieuse de la nature, postulant une correspondance entre le domaine supérieur de la vérité spirituelle et le monde des objets matériels.

Quand les colons débarquèrent sur le continent américain, ils perçurent la nature comme un milieu hostile et dangereux qu'ils devaient affronter, conquérir, mettre en valeur. *“Les merveilles de la nature inanimée les trouvent insensibles”*, dit ainsi Tocqueville, *“et ils n'aperçoivent pour ainsi dire les admirables forêts qui les environnent qu'au moment où elles tombent sous leurs coups. Leur oeil est rempli d'un autre spectacle. Le peuple américain se voit marcher lui-même à travers ces déserts, desséchant les marais, redressant les fleuves, peuplant la solitude et domptant la nature”*. La mentalité puritaine des premiers colons américains a donné une dimension religieuse à cette haine d'une nature sauvage qui s'oppose à la reconstitution du Jardin d'Eden. Le capitalisme protestant est l'outil pour réaliser cette ambition.

Le Wilderness Act est la conséquence d'un profond changement de la conception de la nature et l'aboutissement de la volonté de préserver les “monuments naturels” de la nation américaine.

Ainsi, dans les dernières décennies du 19<sup>ème</sup> siècle, le mouvement en faveur de la protection des forêts “vierges” prit de l'ampleur, mais se scinda entre les partisans de la conservation et ceux de la préservation. Les premiers, à la suite de Gifford Pinchot, en appelaient à une exploitation raisonnable des forêts, avec la constitution de réserves pour assurer l'avenir des ressources. Conserver, c'était faire un “bon usage” (wise use) de la nature. Les seconds, sous la bannière de John Muir, s'indignaient de cette façon de concevoir la forêt comme un réservoir de ressources. Cela équivalait, pour John Muir, à transformer une cathédrale gothique en entrepôt de marchandises.

Finalement, Muir l'emporta. En nombre croissant, les partisans de la wilderness se sont placés sur les positions radicales de la conservation. Ce sont celles-ci que le Wilderness Act de 1964 enregistre: *“par opposition aux espaces dominés par l'homme et ses oeuvres, le présent document la désigne comme un espace où la terre et la communauté de vie ne sont pas entravées par l'homme, où l'homme lui-même n'est qu'un visiteur qui ne reste pas”*. Le document continue en exigeant que la Wilderness, ainsi définie, conserve “son caractère primordial” et qu'elle soit protégée et gérée de telle sorte qu'elle continue à *“apparaître comme essentiellement affectée par les forces de la nature”*.

Cette attitude conservationniste est aussi à l'origine de l'écologie profonde (deep-ecology), qui va jusqu'à une remise en cause radicale de l'humanisme chrétien et de ses fondements. Elle nourrit le débat sur les liens entre ‘écologie’ et les mouvements fascistes des années 1930.

#### 4: La législation nationale-socialiste allemande des années 1930

En 1934, Ernst Lehmann, professeur de biologie à l'Université de Munich écrivait: *“Nous pensons que la séparation de l'humanité de la nature et de l'ensemble de la vie conduit l'humanité à sa destruction. (...). S'efforcer de rétablir ce lien, avec la nature elle-même; une nature dont on est issu, est la raison d'être et l'essence de la pensée nationale-socialiste”*.

Ne pouvant geler des espaces naturels qu'ils ne possédaient plus, les nazis édifièrent une législation très audacieuse pour protéger une nature certes très artificialisée, mais pas encore complètement ‘urbanisée’. Depuis, bien que tabou, le rôle du national-socialisme comme élément déterminant de l'émergence de la pensée écologiste dans les pays du nord de l'Europe a fait couler beaucoup d'encre.

## C: Des rapports Nature-Culture à l'envirologie

Les exemples américains ou allemand, pris parmi d'autres, montrent que l'organisation des rapports Nature-Culture fait l'objet d'une dialectique où s'inscrivent des philosophies différentes.

Cependant celles-ci, de notre point de vue, s'inscrivent dans un plan dont les axes sont:

- anthropo, bio ou écocentré d'un point de vue philosophique
- stratégie d'évolution, stratégie de rupture

Ainsi, le développement durable exprime le souci de traiter les questions de l'environnement par une démarche anthropocentrée réalisée par une stratégie d'évolution alors que l'écologie profonde est écocentrée, fondée sur une stratégie de rupture.

Tous les discours sur l'environnement sont par conséquent portés par des sociaux-types environnementaux qu'une nouvelle discipline universitaire: l'envirologie aurait en charge d'étudier.

## IV: Les sciences de l'environnement

Trois disciplines majeures constituent ce que de nombreux auteurs qualifient de sciences de l'environnement: la thermodynamique, l'écologie et la théorie des systèmes. Les concepts et propositions fondamentales issues de ces trois disciplines alimentent le paradigme écosystémique. Cependant, elles ne se développent pas de manière isolée. Elles progressent frontalement, les acquis de l'une d'entre elles enrichissant les deux autres. De plus, quoique participant à une rupture avec le paradigme classique, elles puisent dans sa richesse des éléments qu'elles s'approprient puis transforment sous l'effet de l'éclairage qu'elles apportent.

### VI-a: Théorie des systèmes

#### A: Système dynamique et système thermodynamique

Le mot système apparaît dans une multitude de discours où il est souvent assimilé à la notion de théorie. Il est alors question de propositions et de leurs relations participant à l'élaboration d'un discours cohérent.

La conception d'un système que nous retenons présentement est celle des phénomènes où interviennent des objets dont on étudie la structure et l'évolution. Cette notion de système a été généralisée dans le cadre de la théorie des systèmes. Notons cependant que l'une et l'autre approches du mot 'système' suppose une structure articulée dans laquelle chaque 'sous-système' a une relation déterminée et exclusive avec chacune des autres. C'est dans cet état d'esprit que s'est élaborée la théorie des systèmes.

Un système apparaît alors comme un objet complexe, formé de composants distincts reliés entre eux par un certain nombre de relations. Les composants sont considérés comme des sous-systèmes, ce qui signifie qu'ils entrent dans la même catégorie d'entités que les ensembles auxquels ils appartiennent. Un sous-système peut être décomposé à son tour en sous-systèmes d'ordre inférieur ou être traité (au moins provisoirement) comme un système indécomposable, c'est-à-dire comme un système réduit à un seul élément.

Une idée très répandue, considérée comme essentielle, mais aussi controversée, est que le système possède un degré de complexité plus grand que ses parties; autrement dit qu'il possède des propriétés irréductibles à celles de ses composants. Ce faisant, il acquiert des propriétés indéterminables à partir de celles de ses composantes, qualifiées de propriétés émergentes. L'évolution d'un système est alors conditionnée à la fois par les modifications internes, mais aussi par les effets de son 'environnement'.

Les conditions d'évolution des systèmes ont été établies par de nombreuses disciplines, mais les derniers développements de la thermodynamique retiennent deux issues: la stabilité, l'instabilité. Cette dernière alors peut le conduire vers la désagrégation (entropie max, équilibre thermodynamique), ou alors vers une plus haute intégration ou complexité (non équilibre thermodynamique, production d'entropie max et entropie min).

La désagrégation conduit à la rupture, partielle ou totale du système: rupture partielle s'il y a un affaiblissement des liaisons entre composants (par transformation des relations définissantes); rupture totale s'il y a destruction de ces liaisons. Le critère de complexité est alors un indicateur de cette évolution. A entropie max, la complexité, donc le degré de structuration du système, est nulle.

L'autre type d'évolution est l'auto-organisation. C'est un renforcement des relations définissantes (transformation des relations existantes, éventuellement apport de nouvelles relations) qui dote le système de propriétés nouvelles.

Il y a alors complexification du système. Ainsi, celui-ci peut acquérir de l'information par ses interactions avec l'environnement et/ou élaborer cette information de façon à se doter de nouveaux mécanismes de rétroactions négatives assurant une meilleure stabilité par sa capacité à répondre à une gamme plus étendue de perturbations internes ou externes, une diminution des écarts par rapport à la position d'équilibre ou du temps nécessaire pour assurer la stabilisation, etc.

Dans le cadre du paradigme classique, à chaque instant, le système peut être caractérisé par une description qui spécifie entièrement sa situation à cet instant: son état. Au cours du temps le système passe d'état en état. Son évolution entre deux instants est ainsi entièrement caractérisée par la suite des états qu'il a traversés entre ces instants.

La science classique ayant pour ambition de définir l'état du système à chaque instant, d'établir des lois ou des modèles<sup>1</sup> de transition et de mettre au point des méthodes permettant de caractériser l'évolution, de faire des prédictions sur les états futurs, l'état du système se caractérise alors par la numérisation de variables continues ou discrètes. S'il y a  $n$  variables, dans le paradigme classique, on représente l'état du système par un point dans un espace à  $n$  dimensions. L'espace à 3 dimensions ou espace euclidien correspond à l'espace sensible. Mais dans le cas des systèmes complexes, on doit se contenter d'une description macroscopique. On utilise alors des variables d'états: « pression », « température », etc. Dans ce dernier cas on change progressivement de paradigme. Cependant, dans les deux cas, on pourra représenter l'évolution du système sous la forme d'une trajectoire dans un espace (abstrait) approprié qui est dans le cas des systèmes complexes: l'espace des phases.

Pour les systèmes dynamiques, étudiés dans le cadre de la mécanique, l'état est caractérisé par un certain nombre de grandeurs qui sont supposées varier de façon continue. La loi ou le modèle de transition est exprimé par une équation différentielle. Si l'on connaît l'état à un instant quelconque  $t$ , on peut, en «intégrant» cette équation, déterminer l'état à un autre instant quelconque. L'étude de l'évolution du système est alors ramenée à l'étude des propriétés de l'équation différentielle qui le régit.



Ce point est essentiel pour distinguer la conception du temps entre le paradigme classique et le paradigme écosystémique. Dans ce dernier, les systèmes ne sont pas intégrables car ils acquièrent au cours du temps des propriétés irréductibles à leurs composantes. Seul le temps et donc l'histoire du système permettent de comprendre son évolution. Cette approche renvoie aux notions fondamentales de la thermodynamique que sont les points de bifurcation et les branches thermodynamiques.

La théorie des systèmes a suscité de nombreux espoirs pour l'étude des objets complexes, mais elle oblige à quitter le monde ordonné de la mécanique et de tous ceux qui sont forgés à partir du paradigme classique pour aller vers un monde incertain conçu à travers le prisme du paradigme écosystémique.

## B: De la DCA à la théorie générale des systèmes

La notion de système trouve ses origines dans deux disciplines : la cybernétique et les mathématiques. Mais, le premier sujet à l'origine du développement de cette nouvelle discipline fut la mise au point d'appareils de pointage automatiques pour canons aériens au cours de la seconde guerre mondiale.

C'est au cours de travaux cherchant à améliorer ces dispositifs militaires que les chercheurs furent surpris de constater que ces machines faisaient preuve de comportements "intelligents", mais aussi, étaient frappés de maladies. La concordance entre ces manifestations de machines et certaines conduites pathologiques humaines conduisit à la conclusion que pour contrôler une action finalisée, la circulation de l'information nécessaire à ce contrôle doit former une boucle fermée permettant d'évaluer les effets de ses actions et de s'adapter à une conduite future, grâce aux performances passées. Le canon antiaérien doit alors prédire la trajectoire d'un avion en tenant compte d'éléments de trajectoires passées. L'idée de rétroaction était née.

L'apport des mathématiques fut dans ce cadre nouveau de fournir ce langage précis permettant de traduire par des chiffres et des fonctions l'essor de la cybernétique conceptuelle.

La cybernétique est devenue ainsi la discipline qui étudie les régulations et la communication chez les êtres vivants et les machines construites par l'homme. Le terme a été inventé à partir du mot grec "kubernetes" signifiant "pilote" ou "gouvernail".

De 1940 à 1960 la cybernétique progresse. En 1940, les notions de rétroactions (feed back) et de finalité sont mises à jour permettant de sensibles progrès en automatique et en informatique. Ces progrès sont suivis dans les années 1950 de l'apparition des notions de mémoire, de reconnaissance de formes, de phénomènes adaptatifs et d'apprentissage. Ce sont alors la bionique (machines électroniques imitant certains organes des êtres vivants), l'intelligence artificielle, les robots industriels qui bénéficient des avancées dans le domaine de la cybernétique. Aussi, c'est par une collaboration entre des mathématiciens et des neurophysiologistes que cette discipline est née.

Ces idées nouvelles associées au formalisme mathématique permirent d'aboutir à la "théorie générale des systèmes" et au concept de 'système' proprement dit.

## C: Dimensions structurelles et fonctionnelles d'un système

Deux traits caractéristiques permettent de décrire les systèmes. Le premier trait se rapporte à leur aspect structurel, le second à leur aspect fonctionnel.

Les principaux éléments structurels de tout système sont les suivants:

- une limite qui sépare le système du monde extérieur;
- des éléments ou composants assemblés en catégories;
- des réservoirs dans lesquels les éléments peuvent être rassemblés et peuvent être stockés : l'énergie, l'information, les matériaux;
- un réseau de communication qui permet l'échange d'énergie, de matière et d'informations entre les éléments du système et entre les différents réservoirs.

Dans chaque système, tous les éléments énoncés ci-avant sont réunis. Mais nous sommes alors confrontés à un système figé, immobile. En quelque sorte, en rester aux traits structuraux décrits reviendrait à photographier le système, puis la photographie en main, clamer haut et fort qu'on le connaît.

Or, l'apport fondamental de la notion de système est d'avoir enrichi la compréhension des phénomènes vivants, des organismes procaryotes aux écosystèmes artificiels.

Aussi, cette vie ne se réduit pas à une photographie figeant les éléments dans une structure éternelle, certes précise, mais inanimée. La dimension fonctionnelle du concept prend alors toute sa valeur.

Les principaux traits fonctionnels de tout système sont les suivants :

- des flux d'énergie, d'informations, de matériaux circulant au sein du système et entre celui-ci et l'extérieur;
- des vannes contrôlant les débits des différents flux. Chaque vanne est alors assimilée à un centre de décision;
- des délais résultant des différentes vitesses de circulation des flux. Un système dans lequel ces délais seraient nuls est appelé un système en temps réel;
- des boucles de rétroaction.

#### D: Rétroactions positives ou négatives

Cette notion de rétroactions a déjà été évoquée car celles-ci jouent un rôle déterminant dans le comportement d'un système en combinant des effets, des réservoirs, des délais, des vannes et des flux. La révélation de ces boucles rétroactives fut fondamentale pour améliorer notre compréhension de la dynamique, qu'elle soit mécanique, biologique ou physiologique, etc. Elles représentent en effet l'apport majeur de la théorie des systèmes à la connaissance en général et conditionnent dans une large mesure la dynamique des systèmes. Le fonctionnement des systèmes repose alors sur le jeu combiné des boucles de rétroaction intégrées aux flux et aux réservoirs.

Dans un système, il y a des entrées et des sorties. Ainsi, à l'image d'un compte en banque, les écritures comptables sont affectées soit au crédit, soit au débit. Les entrées résultent de l'influence du monde extérieur sur le système, les sorties résultent de l'action du système sur l'environnement. C'est dans ce contexte que la boucle de rétroaction revêt toute son importance.

Dans toute boucle de rétroaction, des informations sur les résultats d'une transformation ou d'une action sont renvoyées à l'entrée du système sous forme de données. Si ces nouvelles données contribuent à faciliter et à accélérer la transformation dans le même sens que les résultats précédents, on est en présence d'une rétroaction positive; ses effets sont cumulatifs. Ceci entraîne alors un accroissement des divergences. Le système évolue rapidement conduisant à une expansion ou à un blocage.

Par contre, si ces nouvelles données agissent en sens opposé aux résultats antérieurs, il y a inhibition de la tendance se développant. L'évolution du système est gênée. Nous sommes alors en présence d'une boucle de rétroaction négative. Ceci entraîne alors une stabilisation des divergences. Le système n'évolue pas, chaque modification étant absorbée par l'inertie de celui-ci. Les effets de boucles de rétroactions négatives stabilisent le système.

Une boucle de rétroaction négative conduit à un comportement adapté à la réalisation d'un but, comme le maintien d'une température dans un moteur. Dès que celle-ci atteint un certain seuil, un ventilateur se met en marche pour augmenter le débit d'air et évacuer la chaleur excédentaire.

Dans le cas d'une rétroaction positive, il y a croissance ou décroissance exponentielle. Dans le cas d'une rétroaction négative, il y a maintien de l'équilibre.

Tout système doit posséder des boucles de rétroaction négatives sans quoi, l'issue de celui-ci est fatalement létale.

Cette notion de rétroaction n'est pas très éloignée de celle d'action/réaction propre au paradigme classique, mais à la différence de ce dernier couple, une rétroaction engage toujours un système et l'a-système, mais en les transformant réciproquement.

Au contraire, la notion d'action-réaction n'intègre pas cette dimension transformiste en n'agissant que sur le mouvement et donc sur la position d'un système dans un repère.

De même, la notion de système en mécanique, donc dans le paradigme classique, est réduite à un objet mathématique (un point) dont les coordonnées évoluent dans un espace euclidien. Que l'espace ne soit pas euclidien ne modifie pas cet élément du paradigme classique. Le système alors n'a pas de 'corps', mais seulement une représentation mathématique dans un espace quel qu'il soit.

### E: Ecologie et système: l'écosystème

Les lignes de ce texte vont souligner l'importance du terme " écosystème ". Celui-ci, fondé sur une approche positiviste phénoménologique, permet de construire des modèles qui donnent une représentation formelle simplifiée imitant les phénomènes du réel (?) pour permettre d'appréhender des situations complexes et de faire des prévisions.

Dans sa version formelle, le modèle d'une situation écologique aurait quatre composantes :

- les propriétés,
- les forces qui correspondent à des sources d'énergie extérieures ou internes au système,
- les voies de circulation qui montrent les connexions entre flux d'énergie, transfert de matériaux et forces,
- les interactions, ou les forces et les propriétés entrant en interaction pour modifier, amplifier ou contrôler les courants.

A partir de ces quatre composantes, toutes les situations écosystémiques sont modélisables. En cela, l'écologie s'inspire largement des travaux sur la cybernétique, la systémique et réciproquement. Ainsi, la notion de système relie et intègre dans son concept : l'énergie et son utilisation; les flux, les cycles, les réservoirs; les réseaux de communication; les catalyseurs et agents de transformation; le rétablissement des équilibres, la stabilité, la croissance, l'évolution.

Dans chaque système, qu'il soit vivant, écologique, économique, les grandes catégories décrites se retrouvent, s'intégrant en un concept général, objet et sujet de ces lignes : le système. Or, d'après la définition la plus courante, *“un système est un ensemble d'éléments en interactions”*. Une ville, une cellule, un organisme sont par conséquent des systèmes.

Cette définition simple et générale traduit bien l'esprit dans lequel est appréhendée la notion de système : c'est une interrelation d'éléments constituant une entité.

La plupart des définitions de la notion de système reconnaissent deux traits essentiels : la totalité ou globalité, le relationnel ou les interactions.

Pour les uns, un système est “un ensemble de parties”; un “tout ensemble définissable de composants”; “un ensemble d'unité en interrelations mutuelles”. Pour les autres c'est “l'unité résultant des parties en mutuelles interactions”; “un tout qui fonctionne comme tout en vertu des éléments qui le constituent”. Il existent sans aucun doute d'autres définitions tout aussi pertinentes.

Une des plus belles, une des plus longues des définitions ose affirmer que le système “est une totalité organisée, faite d'éléments solidaires ne pouvant être définis que les uns par rapport aux autres en fonction de leur place dans cette totalité”.

Mais, quelle que soit la définition la plus séduisante, nous sommes obligés d'admettre que le système n'existe pas en lui-même. C'est une abstraction de l'esprit. Seul le sujet pensant a la capacité à discerner chez les objets l'existence d'un système. Le système n'est pas quelque chose qu'il est possible de découvrir le matin à la lisière d'un bois. C'est une abstraction de l'esprit; un pur produit de notre capacité neuronale à conceptualiser des ensembles de phénomènes pour mieux les problématiser, les intelligibiliser et ainsi agir dessus. C'est l'Autre qui donne une existence au système en tant qu'Être qu'il perçoit à travers une Identité.

Dans Symphonie n°6, je m'étais autorisé à proposer la définition suivante inspirée de celle de Joël de Rosnay dans le Macroscopie: *“un système est un ensemble d'éléments en interactions dynamiques, organisés en fonction d'un but”*. Cette notion de but recouvre bien évidemment celle de Choix ou d'Objectifs existentiels évoqués dans le premier chapitre.

#### IV-b: L'écologie

##### A: Ecologiste ou écologue

Le mot 'écologie est un mot ambivalent. Il désigne à la fois une discipline scientifique mais aussi un mouvement politique multiformes. Cette branche de l'ancienne philosophie naturelle anime à la fois les scientifiques qui étudient les rapports des êtres vivants avec leur milieu et les militants qui désirent une société moins polluante.

L'usage du mot “écologie” est devenu courant au début des années 1970. A côté des grandes catastrophes ‘écologiques’ qui ont marqué cette époque, la candidature de l'agronome René Dumont à l'élection présidentielle de 1974 a marqué définitivement le paysage politique français. A la même époque de semblables événements se déroulaient dans l'ensemble des pays développés. Finalement, l'écologie a fini par être identifiée à une sorte de militantisme culturel et politique dont le spectre va de la lutte contre les pollutions, mais sans ambitions subversives, jusqu'à la critique fondamentale des fondements des “sociétés industrielles”.

Cependant, avant d'être une sensibilité politique, l'écologie fut d'abord une branche de la biologie qui s'est constituée en discipline spécifique au cours du 19<sup>ème</sup> siècle. Souhaitant éviter une confusion avec le monde politique, les spécialistes étudiant les rapports entre les organismes et leur milieu se qualifient d'écologues pour être distingués des écologistes qui font de "l'écologie politique".

## B: De la géographie à l'écosystème

Le mot "œkologie" apparaît pour la première fois en 1866 dans la Morphologie générale des organismes du biologiste allemand Ernst Haeckel. Bâti à partir des mots grecs *oïkos* ("maison"; "habitat") et *logos* ("raison"; "discours"), plusieurs définitions de l'écologie existent. Pour E.P. Odum "*l'écologie est l'étude des relations des organismes ou des groupements d'organismes avec leur environnement, ou la science des interrelations des organismes vivants avec leur environnement*". Pour P. Duvigneaud, l'écologie<sup>1</sup> est "*la science des relations des êtres vivants avec leur milieu; les êtres vivants étant étroitement intégrés à leur "environnement". L'écologie est la science des systèmes biologiques fonctionnels complexes appelés écosystèmes; elle comporte aussi l'étude des rapports des êtres vivants entre eux*".

L'entité biologique la plus "simple" sur laquelle porte l'écologie est la population. Au-delà, et par ordre de complexité croissante, ses objets d'étude sont les peuplements, les communautés, les écosystèmes et la biosphère toute entière.

En résumé, l'écologue élabore des modèles pour rendre compte de la structuration et du fonctionnement des communautés d'êtres vivants. Aussi, la méthode écologique a vite dépassé le cadre limité des écosystèmes naturels, pour être projetée aux écosystèmes artificiels comme une ferme, une ville, ou la planète terre dans son ensemble. Les expressions d'écologie humaine, d'écologie urbaine, etc. sont venues consacrer l'extension de cette méthode à l'ensemble des systèmes vivants.

Avant Hæckel, l'idée que les manifestations de la vie dépendaient de contraintes géophysiques avait été avancée par des géographes comme Alexandre de Humboldt (1805). Son but était de considérer "*les végétaux sous les rapports de leur association locale dans les différents climats*". Cette approche est fondamentale pour le paradigme écosystémique. Elle considère en effet que les manifestations de la vie, que ce soit dans les écosystèmes naturels ou artificiels, dépendent des conditions préalables à l'existence de ces écosystèmes. Or, la grande différence entre ces deux catégories d'écosystèmes est que les seconds influent rétroactivement sur ces conditions préalables dans des proportions énormes.

Cette étude de la distribution géographique des végétaux fut suivie d'autres travaux pour créer une discipline autonome qualifiée de géobotanique. Vers les années 1895, l'étude des plantes s'organise à partir de deux axes; la botanique et la géobotanique. Grâce aux travaux de l'écologue danois Eugen Warming, l'écologie s'affirme comme une discipline autonome fonctionnant à partir de concepts et de méthodes qui lui sont propres (Accot, 1989). Celle-ci porte sur la manière d'étudier "*de quelle manière les plantes ou les communautés végétales ajustent leurs formes et leurs comportements aux facteurs effectivement agissants de leur environnement tels que les quantités disponibles d'eau de chaleur, de lumière, de nourriture et ainsi de suite*".

D'autres auteurs ont cependant contribué à l'élaboration de l'écologie. Dans ce domaine comme dans d'autres, l'héritage grec est incontournable. Aristote avait bien perçu la caractère interdépendant des différentes formes de vie, mais l'ensemble, selon lui était dirigé pour la réalisation d'un but. Cette approche finaliste que réfute la science moderne est bien exprimée dans les livres VIII et IX de l'Histoire des animaux: "*Les animaux sont en guerre les uns avec les autres quand ils occupent les mêmes lieux et qu'ils usent pour vivre des mêmes ressources*".

Mais derrière cette lutte et cette apparence de désordre, il y a une finalité dont l'homme est porteur. La nature est fortement anthropocentrée et hiérarchisée. La finalité naturelle de la subsistance culmine en l'homme: *“Les plantes existent pour les animaux, et les animaux pour l'homme, les animaux domestiques pour le travail qu'il en tire et la nourriture, les animaux sauvages, sinon tous du moins la plupart, pour sa nourriture et pour d'autres secours, puisqu'il en tire vêtements et autres instruments. Si donc la nature ne fait rien d'inachevé ni rien en vain, il est nécessaire que ce soit pour les hommes que la nature ait fait tout cela”*.

Ce finalisme dont l'écologie naissante a dû se débarrasser est bien exprimé dans l'œuvre de Linné, lui aussi perçu comme un des fondateurs de l'écologie.

Dans ses *Aménités académiques*, Linné a écrit que *“Par économie de la nature, on entend la très-sage disposition des Etres Naturels, instituée par le Souverain Créateur, selon laquelle ceux-ci tendent à des fins communes et ont des fonctions réciproques”*. Le concept d'économie de la nature exprime un souci théo-théléologique, qui domine toute la pensée scientifique moderne. A savoir, qu'il n'y a plus de finalisme, mais que la main du créateur a fait un monde ordonné, mais aux apparences trompeuses. La science a pour mission de dévoiler cet ordre caché. La pouvoir politique a comme mission de respecter cet ordre; donc les hiérarchies naturelles au sein des sociétés humaines et entre les sociétés humaines. Le protestantisme redonne alors vigueur à la notion de peuple élu qui doit éclairer l'humanité moins favorisée.

Ainsi, Linné ne pense pas les relations existant entre le vivant et le milieu autrement qu'en termes de répartition ou d'équilibration providentielles voulues par Dieu. Cette approche du vivant s'appuie sur des options métaphysiques que la science matérialiste, c'est à dire qui désanime la Nature, contestera au cours du 19ème siècle. Toutes les conditions épistémologiques sont alors réunies pour que Darwin organise la synthèse.

Ainsi, bien qu'ayant failli être homme d'église, Charles Darwin n'évoque jamais la divine Providence dans son œuvre. Il lui préfère l'action de “mécanismes sélectifs”, introduisant dans les sciences de la nature l'idée de forces invisibles, comme la gravitation qui fonde la mécanique, pour rendre compte du mouvement des espèces alors que la Mécanique rendait compte du mouvement des planètes.

Mais bien qu'évacuée de la théorie, la divine providence n'est pas loin. En effet, tant la mécanique que la théorie darwinienne sont forgées à partir de lois de la nature, donc de l'idée qu'il y a une cohérence et une harmonie derrière tout cela. Depuis la théorie néo-darwinienne a évolué et, associée aux découvertes de la génétique, est fondée sur l'idée de mutabilité des gènes et la sélection des caractères phénoménologiques des espèces vivantes par la sélection naturelle.

L'apport de Darwin à l'écologie est dû à Ernst Hæckel qui fut un ardent darwinien et à qui on attribue généralement l'invention du mot 'écologie'. Cependant, cette vision est contestée par de nombreux auteurs (Accot, 1989) montrant que d'autres naturalistes non darwinien comme Isidore Geoffroy Saint-Hilaire, Saint Georges Mivart, Gaston Bonnier, Eugen Warming contribuèrent au développement de l'écologie sans se référer à la sélection naturelle.

Ce débat de l'histoire de l'écologie exprime deux approches de cette discipline et de la science en général. Pour les non-darwiniens, l'écologie va porter sur l'étude des relations, des rapports entre les conditions physico-chimiques d'un milieu et les espèces qui y vivent. C'est en quelque sorte une approche descriptive qui établit des faits sans rechercher une cause à ces phénomènes. Cette science est particulièrement bien adaptée aux personnes ayant de fortes convictions religieuses, car elle décrit ce que Dieu ou d'autres facteurs ont contribué à créer, mais sans en inférer une théorie quelconque.

Autrement, l'approche darwinienne de la science ne cherche pas seulement à neutraliser une intervention divine dans l'élaboration d'un discours scientifique, mais à l'éliminer en lui substituant d'autres causes.

Aussi, d'un point de vue épistémologique, l'étude du vivant s'organise à partir de trois axes. Les adeptes du premier voient dans l'expression du vivant la manifestation de Dieu. Cette approche est aujourd'hui largement dépassée dans les sociétés modernes, sauf pour quelques groupements religieux très actifs.

Ceux se référant au second axe se bornent à une description de phénomènes et à l'élaboration de modèle, mais sans envisager un mouvement et ses causes. Cette seconde approche est bien adaptée aux scientifiques dont la foi reste profonde, mais qui ne l'entrevoient pas comme une concurrente de la science. Je prendrai le médecin Henri Baruk pour la religion juive et le géologue Xavier Le Pichon pour le catholicisme. Le maintien de frontières précises entre ces deux sources de 'paradigmes' permet la coexistence de la religion et de la science.

Enfin les adeptes du troisième axe, généralement athées, nient toute intervention divine pour lui substituer d'autres théories sur le mouvement observé par la science. Darwin et Monod relèvent de cette dernière catégorie.

Cette discussion sur les rapports entre religion et science n'est pas hors sujet.

Car, des choix opérés entre des trois options ou plutôt entre la religieuse et l'agnostique, la religieuse étant elle-même binaire, dépendent de nombreux paradigmes à l'origine de discours sur l'environnement, mais que nous ne pouvons exposer dans ce travail.

Celui-ci se borne à déterminer un paradigme écosystémique, mais il n'est toutefois pas inutile de montrer les interférences entre les discours religieux et les discours scientifiques, car des attitudes vis à vis des premiers dépendent largement des seconds. Les historiens des sciences n'ont-ils pas montré que la science a pris naissance à partir des interrogations suscitées par la Bible et que l'institution religieuse européenne a fortement marqué le développement de la science.

Nonobstant ces remarques, l'approche descriptive de l'écologie fut obligée d'admettre que les successions de végétations dans le temps et que les rapports entre les espèces organisées à partir d'un climax évoluent dans le temps.

Le stade climacique une fois atteint, il n'y a plus d'accumulation de matières organiques dans la communauté; l'équilibre entre les "entrées et les "sorties" y est théoriquement maintenu. Comme il est désormais possible de prévoir l'évolution des communautés, il devient également possible de les gérer rationnellement. Constituée au cours des années 1930, la théorie des écosystèmes permettra de mettre en place des stratégies d'optimisation sur des bases scientifiquement plus précises que celles des pratiques agronomiques traditionnelles.

La notion d'écosystème est aujourd'hui à la base de l'écologie moderne et de la pensée écosystémique ou environnementale. C'est en 1945 que l'écologue anglais A.G. Tansley invente le mot "écosystème" pour penser l'ensemble constitué par la biocénose et son milieu abiotique: le biotope. L'introduction de la notion de "système" en écologie permettait de rendre compte de la dominance de relations internes particulières entre espèces et milieu pour aboutir aux notions de biocénoses et de biotopes.

Les relations alimentaires sont fondamentales pour la constitution et le fonctionnement des biocénoses, c'est-à-dire leur "structuration trophique". Sur la base de la production primaire végétale s'édifie la structure pyramidale connue depuis la fin du XIX<sup>ème</sup> siècle, avec ses herbivores (les "consommateurs primaires", leurs prédateurs (les "consommateurs secondaires"), etc., jusqu'au sommet de la pyramide constitué par les super-prédateurs.

On voit que tous les niveaux trophiques des écosystèmes dépendent en dernière instance de la production primaire végétale. Les problèmes de productivité végétale vont donc tenir une place importante dans les travaux d'écologie de la fin des années 1930, permettant d'intégrer à la pensée écologique des travaux concernant l'assimilation du carbone par les végétaux verts: la photosynthèse. Et comme le calcul de la productivité suppose la prise en compte de l'apport d'énergie solaire, l'usage d'une seule et même unité: la calorie, pour mesurer cet apport et la valeur énergétique nutritionnelle des organismes, exprimera significativement les solidarités étroites qui lient le vivant au non-vivant. La chaîne commence avec la production primaire, passe par les différents niveaux trophiques et se réforme au niveau des micro-organismes décomposeurs qui recyclent une partie des organismes morts en les transformant en éléments nutritionnels pour les plantes.

C'est sous cette forme achevée que la théorie des écosystèmes est présentée en 1941 par Raymond Lindemann alors âgé de 27 ans, ceci à partir de l'étude de l'écosystème lacustre. Il meurt l'année suivante.

L'apport fondamental de Lindemann fut d'avoir conçu l'écosystème comme une unité industrielle dont la productivité est susceptible d'être évaluée par un bilan des "entrées", et des "sorties" d'énergie, faisant appel à des notions de thermodynamiques jusqu'alors appliquées aux systèmes thermiques.

La notion de thermodynamique du vivant, initiée par Erwin Schrödinger, introduisit alors l'idée que les êtres vivants minimisent localement la fonction entropie, dont la croissance correspond à la mort selon le second principe de la thermodynamique. Les fonctions assurant la décroissance locale de l'entropie sont regroupées sous le terme de métabolisme. Elles correspondent aux fonctions biologiques d'assimilation et d'élimination de l'énergie. Cette notion d'équilibre reprend l'idée d'homéostasie développée par les biologistes. Les organismes vivants se nourrissent ainsi d'entropie négative et maintiendraient un équilibre local avec le milieu dans lequel ils évoluent, résistant temporairement aux changements de celui-ci; le début du processus étant assuré par la photosynthèse à partir de l'énergie solaire. Cette thèse constitue l'élément fondamental du paradigme écosystémique et structure tous les discours évolués sur l'environnement.

Ainsi, les frères Odum l'appliquèrent aux écosystèmes<sup>2</sup>, considérés comme des organismes vivants: "*les organismes vivants, les écosystèmes et la biosphère toute entière possèdent la caractéristique essentielle d'être capables de créer et de maintenir un état d'ordre intérieur, ou de basse entropie*". Ce texte est révélateur des concepts sur lesquels va s'appuyer toute la pensée environnementale qui emprunte aussi à la cybernétique; les phénomènes d'équilibration écosystémiques y sont traités comme des mécanismes de rétroaction ("feed-back") négative (équilibre du système) ou positive (explosion ou implosion du système).

En créant le terme d'écosystème, Arthur G. Tansley voulait souligner l'interdépendance des êtres vivants et de leur milieu physico-chimique. L'écosystème se situait ainsi dans un ensemble de systèmes qui vont de l'atome à l'Univers. François Jacob a exprimé cette conception par l'idée d'intégron. Le réel serait ainsi conçu comme un emboîtement de systèmes à l'origine d'un paradigme dans lequel le système constitue l'unité conceptuelle de base, mais de nature et de qualité différentes. Notons que la notion de système déborde la science positiviste car elle n'a aucun fondement phénoménologique. Le système est une construction de l'esprit qui suppose une conception holiste d'un monde fait de systèmes différents et... hiérarchisés.

Cette conception de la vie et des organisations sociales à partir de la notion d'écosystème aboutit aux notions d'écologie humaine, d'écologie urbaine, d'écologie industrielle, etc.



La diversité apparente des discours ne doit cependant pas masquer qu'il sont tous structurés à partir de la notion d'écosystème enrichie des enseignements de la thermodynamique des phénomènes dissipatifs.

Cette association des notions de système et d'énergie favorisa des approches originales des écosystèmes artificiels comme par exemple celle de bilan éco-énergétique. Dans le cas de l'agriculture industrielle celle-ci révèle que cette dernière, outre la génération d'excédents invendables, nécessite l'injection artificielle d'une énergie exogène provenant des combustibles fossiles. Pour l'écologue comme pour l'écologiste, elle ne représente pas un progrès dû à une maîtrise des processus écologiques qui contrôlent les rendements, mais une extension outrancière de la technique sur la nature. On a pu ainsi écrire qu'à l'heure actuelle, nous ne mangeons pas des pommes de terre faites d'énergie solaire mais essentiellement de pétrole (Ramade, 1993).

L'écologie a donc aussi comme finalité d'évaluer les conséquences de l'exploitation humaine des ressources naturelles et les modifications de l'ensemble des écosystèmes terrestres et aquatiques dus aux activités économiques.

Aussi, l'écologie scientifique alimente les discours politiques écologistes.

La terre y est conçue comme un écosystème souillé par l'homme, et particulièrement par l'homme blanc occidental. Cette dégradation de l'environnement est due, selon ces discours, à la quasi-absence de prise en compte des grandes lois écologiques dans les modalités de développement économique de la civilisation technologique contemporaine. L'écologie, alors, serait la seule discipline scientifique qui permettrait la conservation de la biosphère et le développement de méthodes d'utilisation rationnelle des ressources naturelles et ainsi assurerait à l'humanité un développement durable.

En effet, les lois écologiques sont élaborées à partir des flux de l'énergie et de matières dans les écosystèmes et leurs applications aux problèmes soulevés par la crise de l'énergie dans la civilisation industrielle.

Cette approche a été particulièrement transférée aux bilans éco-énergétiques de l'agriculture industrielle, des systèmes de transports de fret ferroviaires et routiers.

L'écologie apparaît alors comme une des sciences fondamentales de l'environnement, tout en occupant une place particulière dans l'ensemble des sciences biologiques. Alors que la plupart de ces dernières étudient des phénomènes propres au vivant à une échelle élémentaire, moléculaire ou cellulaire, l'écologie étudie des systèmes complexes faisant intervenir des populations d'espèces vivantes, en suivant une démarche de nature holistique. D'une approche purement descriptive, positiviste établissant les relations entre un milieu et les formes du vivant, elle a été irriguée par la pensée darwinienne, puis par la thermodynamique pour aboutir au concept fondamental d'écosystème. Ce discours scientifique a ensuite nourri une multitude de discours politiques. Mais la crainte dominante est qu'une extinction massive se prépare. Elle ne viendra pas d'un cataclysme naturel, comme les précédentes, mais de l'action de l'homme. La moitié des plantes et des animaux serait menacée d'extinction avant la fin du vingt et unième siècle. A la fin du vingtième, l'écologie accouche alors du concept de biodiversité.

Cependant, le développement de l'écologie en France fut plus limité que dans les pays anglo-saxons et germaniques. Ainsi, la British Ecological Society fut créée dès 1913, suivie de peu par l'Ecological Society of America en 1916. Au 19ème siècle, la création de Parcs nationaux et d'autres réserves analogues dans les pays anglo-saxons était déjà justifiée par la conservation d'espèces menacées.

Ainsi, le Parc national du Yellowstone, dans le Wyoming, le doyen des Parcs nationaux modernes, fut créé en particulier pour sauver de l'extinction totale les quelques 360 bisons américains qui y vivaient encore; derniers survivants d'un effectif initial estimé au minimum à 60 millions d'individus, anéantis au cours du XIXe siècle.

A l'opposé, en France, la spécificité de l'écologie par rapport aux autres disciplines biologiques n'a été reconnue officiellement que fort tard. Il a fallu attendre 1969 pour que soit fondée la Société française d'écologie, et 1976 pour que le CNRS crée enfin une Commission d'écologie dans son comité national... supprimée en 1984, car intégrée dans une commission intitulée: "Diversité biologique, population, écosystèmes et évolution" qui réunirait à peu près tout ce qui ne concerne pas la biologie cellulaire et moléculaire.

Ainsi, alors que l'écologie porte un regard holiste sur les écosystèmes, l'évolution des organismes de recherche français montre que l'approche réductionniste résiste vaillamment. Le paradigme classique triomphe du paradigme écosystémique.

Les principales raisons de l'échec de la vision écologique du monde est qu'elle nie l'intervention humaine comme facteur d'évolution des écosystèmes et postule qu'il existe encore une nature indépendante de la noosphère. Certes, comme nous l'avons vu sur le plan juridique, la nature est une réalité juridique conceptualisée sous le statut de *res nullius*.

Cependant, dans les faits, il est quasiment impossible de trouver quelques mètres carrés à la surface de cette terre qui n'aient été approchés par un représentant de *homo sapiens*. En fondant un science qui exclut l'homme des écosystèmes, l'écologie élude la problématique fondamentale de tout environnementaliste: la relation homme-nature.

De plus, les concepts-clé de l'écologie relèvent d'une démarche constructiviste par laquelle il n'y a pas de réalité cachée mais de la construction, de l'organisation de discours à partir de concepts pour aboutir à des modèles de représentations de phénomènes pertinents. L'acte de connaître selon les épistémologues constructivistes n'est pas indépendant des chemins de la connaissance (*caminante que camina*).

Or, le discours écologique refuse ou ignore cette dimension fondamentale de la connaissance en apposant un label de réalisme à des concepts fragiles comme ceux d'écosystème ou de biodiversité. Il est alors facile aux réductionnistes positivistes d'opposer un discours efficace et rodé par 500 ans de science classique. Néanmoins, ce discours écologique problématise avec efficience de nombreux phénomènes et nourrit l'ensemble des discours écologistes.

### C: Les lois de l'écologie

Une des ambiguïtés majeurs de l'écologie est qu'elle reste à la recherche de lois de la nature alors que son discours se développe à partir du concept d'écosystème qui est une pure construction de l'esprit. Ainsi, l'écologue danois Olaf Arrhenius mit en équation la relation entre le nombre d'espèces et la surface. Ceci pour formaliser une intuition de Humboldt qui observa que les grandes surfaces sont plus riches en espèces que les petites. Peu après, les botanistes Alphonse de Candolle, de l'académie de Genève, et Hewett Cottrell Watson remarquèrent la constance du rapport entre la surface et la diversité. Arrhénius proposa alors une mise en équation de cette diversité par la formule:  $S=C.Az$ , avec A: la surface: S, le nombre d'espèces, A et z, des constantes à ajuster. Bien que la démonstration de cette équation ne fut jamais réalisée, deux siècles après la découverte d'Humboldt, cette proposition est devenue l'une des rares lois générales de l'écologie.

Dans le même esprit, une loi intuitive énoncée dans les années 1960 par Robert MacArthur et Edward O. Wilson établit un rapport constant entre la réduction de l'aire d'un écosystème et le nombre d'espèces dans cette aire. Des espèces qui se maintiennent par exemple sur une aire donnée de la forêt tropicale croissent en gros de manière logarithmique avec la superficie. La multiplication par dix de la surface d'un habitat donné conduit au doublement du nombre d'espèces capables de s'y maintenir.

Cette règle vaut en sens inverse: si la superficie d'un habitat donné tombe à moins de 10 % de la superficie initiale, la moitié des espèces est détruite ou promise à une proche extinction.

Or, les écologues ont montré que plus un écosystème recèle d'espèces, plus il est productif, plus il est stable et plus vite il se reconstitue en cas de sécheresse ou de tempête par exemple. La diversité selon cette approche est facteur de résistance aux perturbations du milieu, mais aussi élément d'amélioration de la productivité de l'écosystème. Ce dernier point est cependant controversé.

La diversité d'un système vivant augmente aussi en proportion des flux qualitatifs et quantitatifs qui l'alimentent. Ainsi, la biodiversité augmente à mesure que l'on progresse des pôles vers l'équateur où la pluviométrie et le flux solaire sont plus importants. Ce fut Alexander von Humboldt qui déclara en 1805 à Paris que les tropiques abritaient plus d'espèces que les autres régions du globe.

Dans le sillage d'Humboldt, d'autres explorateurs ont constaté que si les tropiques présentent une grande diversité, les régions polaires sont, elles, très pauvres, et qu'il existe entre ces latitudes extrêmes un gradient de diversité. Les écologues appellent ce dernier le "gradient latitudinal de diversité".

Les écologues contestent aujourd'hui la notion d'"équilibre naturel" qui serait une illusion, produite par notre propension à projeter aux phénomènes naturels, qui sont longs, une échelle de temps modelée sur la durée de la vie humaine. Il est avéré maintenant que les perturbations catastrophiques d'écosystèmes naturels comme les incendies sont un facteur important de la conservation et de l'évolution de la diversité.

Notons aussi qu'il y a dans cette discussion sur la notion d'équilibre naturel une évolution de la conception de la nature conçue, à l'origine, à partir d'un paradigme classique tout puissant issu de la mécanique et de l'organisation parfaite du mouvement des planètes mais que l'émergence d'un paradigme écosystémique fondé largement sur la thermodynamique des phénomènes irréversibles a modifié.

#### D: Un concept phagocyte: la biodiversité

On crédite l'entomologiste Edward O. Wilson, fondateur de la sociobiologie, d'avoir inventé le mot biodiversité. Il est défini comme l'étude de la diversité selon trois niveaux: les écosystèmes, les espèces, les gènes. Le gène y est alors conçu comme l'unité fondamentale de la sélection naturelle, donc de l'évolution.

L'ambition des études sur la biodiversité, comme pour l'écologie, est de quitter le champ des études purement réductionnistes pour chercher les éléments d'une synthèse, capable de rendre compte des processus d'auto-assemblage des systèmes complexes. En effet, la réduction de la biodiversité risque de destabiliser les écosystèmes, voire l'écosystème planétaire. Mais une autre crainte des écologues est que cette perte de diversité corresponde à une perte d'informations.

Directement issue de la théorie de l'information développée à partir de la notion d'entropie, chaque espèce est alors conçue comme porteuse d'un patrimoine génétique élaboré en plusieurs millions d'années.

Le paradigme qui porte l'écologie ou la biodiversité est structuré à partir des déterminants révélés par la thermodynamique des systèmes dissipatifs. Tout système est alors conçu comme le résultat d'une histoire, porteur d'informations, car diminuant localement l'entropie. La disparition du système (extinction de l'espèce dans le cas de la biodiversité) entraîne la disparition de cette histoire; d'où la nécessité de le préserver.

### E: De la biodiversité à l'économie de l'environnement et au droit

À la fin des années 1980, la diversité biologique devient la biodiversité. Ce concept forgé par les scientifiques se mue rapidement en un problème d'environnement global. Les enjeux politiques, économiques et sociaux sont tels que l'on prépare dans l'urgence une Convention internationale qui sera signée à Rio de Janeiro en 1992.

Alors qu'auparavant la biodiversité était encore synonyme de diversité des espèces, elle devient vite une notion qui interroge le droit et nos pratiques économiques.

Chef de file du courant conservateur, l'Union mondiale pour la nature (IUCN) qui fut à l'origine des premières conventions de protection des espèces (Ramsar<sup>3</sup> en 1971 puis CITES<sup>4</sup>), lance avec le Programme des Nations unies pour l'environnement (PNUE) la Stratégie mondiale de conservation en 1980. Selon ce texte, la nature, dotée d'un droit à l'existence et d'une valeur intrinsèque, doit être protégée contre les actions de l'homme. Soumis à une autorité mondiale, contrôlés par les scientifiques garants d'une bonne gestion écologique, les États devront être les gardiens de leur biodiversité, patrimoine commun de l'humanité et des générations futures. Les coûts de conservation, supportés par tous, pourront être couverts par une exploitation commerciale de la biodiversité, par l'écotourisme ou par des redevances sur les ressources génétiques.

Cette notion de biodiversité est étendue à la socio-diversité et aux savoirs locaux, créateurs de diversité biologique dans le monde. Il s'agit donc d'un patrimoine sur lequel les peuples indigènes ont des droits. La biodiversité n'est plus seulement une menace de dommage perçue par tous, mais devient également un argument de remise en cause du développement économique mondial et de la vision occidentale de la place de l'homme dans la nature. De nombreux peuples ne se conçoivent en effet qu'en tant qu'éléments de la nature parmi d'autres, et non comme des expérimentateurs extérieurs. Cette approche écocentrée, insiste sur l'intégration de l'homme dans la nature.

Le monde industriel s'intéresse à la source de la diversité biologique pour une autre raison: les gènes. Ils acquièrent ainsi le statut de ressources et sont désormais objets de spéculation. Les questions de l'appropriation des ressources biologiques, de la conquête et du contrôle du marché se posent alors. Or, la contestation fondamentale des économistes de l'environnement-écologistes est que l'économie standard utilise le cadre analytique de la théorie néoclassique. Celle-ci postule que les comportements d'individus sont exempts de toute affectivité et seulement mus par le seul principe de rationalité. Les "agents économiques" décideraient toujours d'optimiser l'efficacité marginale de leurs dépenses.

Or, la fixation d'un prix pour la biodiversité, expression monétaire de sa valeur, suppose que cette valeur soit au préalable bien définie, alors que paradoxalement, la question de la définition du fondement de la valeur a disparu du champ de la théorie économique dominante. Celle-ci utilise abondamment la notion de prix, sans se préoccuper de son fondement. Ainsi s'opposent les économistes de l'environnement et les environmentalistes.

Pour les premiers, l'économie repose sur l'établissement d'un rapport particulier de l'homme à la nature qui est anthropocentrique, utilitariste et instrumental. La valeur de la diversité doit être définie par le consentement à payer ou à recevoir.

Pour les seconds, en revanche, la diversité biologique a de la valeur en dehors de toute utilité monétarisée. On parle alors de la "valeur d'existence" ou de valeur intrinsèque" de la diversité biologique. Or, pour soumettre la biodiversité à des analyses économiques fondées sur les avantages qu'elle procure, les économistes standard vont s'efforcer de saisir ces deux grands types de valeur en les traduisant sous forme monétaire alors que par essence ces deux catégories de valeurs sont pour les environmentalistes non monétarisables.

Pour intégrer les outils de l'analyse économique standard fondée sur la recherche du gain maximal d'utilité, les économistes vont imaginer des marchés de substitution qui témoignent des préférences des individus pour un élément de la biodiversité.

Fondée sur l'idée d'un consentement à payer du consommateur pour des biens non marchands, elle repose essentiellement sur des enquêtes (voir chapitre VI).

Pour fournir un argument pour la protection de l'environnement, un groupe de chercheurs regroupés autour de l'économiste américain Robert Costanza a tenté d'évaluer monétairement les services rendus chaque année par l'ensemble des écosystèmes à l'humanité tout entière, à partir d'une approche économique néo-classique appliquée à l'environnement.

Répertoriant dix-sept services rendus par les écosystèmes terrestres et aquatiques (régulation du climat, du cycle de l'eau prévention de l'érosion, formation des sols, cycle des nutriments, pollinisation, etc.), et sur la base d'études de consentement à payer des individus, les auteurs ont obtenu une fourchette comprise entre 16.000 et 54.000 milliards de dollars (en valeur 1994), à rapprocher d'un PNB mondial évalué à cette époque à environ 1.000 milliards de dollars. Or, cette production de richesse par la biosphère n'est pas prise en compte dans les décisions publiques ou privées des sociétés modernes bâties sur un modèle de développement occidental contesté.

#### F: L'écoféminisme: un exemple de contestation sociale par l'écologie

Une des meilleures manifestations de la contestation de la société occidentale industrielle par l'écologie et l'environnement est l'écoféminisme. Ce mouvement établit que la femme comme la nature ont été les victimes de la société masculine, rationaliste occidentale née au 15ème siècle.

Ce phénomène est récent, en effet, dans les grands textes de l'Occident, la nature est grammaticalement de sexe féminin et couramment personnifiée comme un être du "deuxième sexe", des Grecs jusqu'au Moyen Age. Cette identité Nature-Femme trouve son origine dans l'idée que le monde est un être vivant.

Bien que l'hypothèse Gaïa formulée par J. Lovelock et Margulis (1974 et suiv.) soit récurrente, cette théorie part de cette constatation pour assimiler la Terre à un être vivant. Pour ces auteurs, l'extraordinaire pouvoir de régulation de l'écosphère prise dans son ensemble provient de ce que le complexe atmosphère, lithosphère et biosphère se comporte comme un super être vivant capable d'ajuster spontanément l'état d'équilibre dynamique de l'écosphère.

Ce complexe s'oppose aux changements défavorables à la vie, de sorte que les climats et les conditions physico-chimiques des divers compartiments de l'écosphère demeurent dans le domaine optimal pour les systèmes écologiques, cet équilibre dynamique étant en grande partie contrôlé par l'action des êtres vivants. Cependant, déjà Platon, dans le *Timée*, compare le monde à un animal et Cicéron, à la suite des philosophes stoïciens, estime que "*le monde est un être vivant et doué de sagesse puisqu'il produit des êtres vivants et doués de sagesse*". L'exploitation de la nature au delà de ce qu'elle donne 'naturellement' est par conséquent une faute. L'exploitation des entrailles de la Terre est donc limitée.

Pendant des siècles la Terre a été perçue comme un être vivant que parcouraient des "veines métalliques". Les métaux eux-mêmes apparaissaient comme doués de vie. Pline l'Ancien, au 1er siècle après Jésus-Christ, explique que les mineurs se comportent comme des violeurs. Par cupidité, ils pénètrent dans les entrailles de la Terre en se livrant à une sorte d'agression "biologique".

Mais, pendant la période 1500-1700, le temps des machines et des marchands provoque une métamorphose dans la conception de la nature qui de Mère devient objet de domination. Le traité d'Agricola sur les métaux (*De re metallica*, XVIème siècle), synthèse de la technologie consacrée à l'art des mines manifeste ce changement de statut. On y lit qu'il est utile de plonger dans le sein de la Terre pour y puiser métaux et produits minéraux. Sans eux, impossible de perfectionner l'agriculture, la pêche, l'élevage, les techniques de construction, etc. Le discours du "Progrès" s'affirme. Toutefois, Agricola souligne toutefois que les destructions entraînées par l'exploitation des mines sont supérieures à la valeur des métaux obtenus.

Les écoféministes montrent qu'à mesure que cette philosophie du Progrès s'implantait, le rôle des femmes dans la société diminuait. Avec la révolution française vient la consécration de ce paradigme mécaniste, dominateur et patriarcal. La science moderne rationaliste et masculine apportait la Raison alors que les femmes restaient dans la sensibilité et l'apparence. L'ancien régime était, sous bien des aspects, plus égalitariste. La domination masculine était moins marquée. Ainsi, dans certaines régions de l'actuelle France, le droit d'aînesse s'appliquait aussi aux femmes. L'aîné(e) restait à la maison et héritait des biens. La notion de patrimoine était plus importante que celle de lignage.

Il s'agissait, avant tout, pour le chef de maison de transmettre les biens intacts. Lorsque le chef de maison était une femme, elle avait les mêmes pouvoirs juridiques et économiques qu'un homme. Elle siégeait dans les assemblées communautaires où elle votait à égalité avec les hommes. Dans les Pyrénées, elle pouvait même être consul de vallée. Cette situation dura jusqu'à la Révolution qui établit la primauté de l'élément masculin de la famille: on donna le droit de vote aux citoyens, mais pas aux citoyennes. Il faudra attendre 1945 pour que les femmes retrouvent cette égalité qu'elles avaient si longtemps partagée.

A côté de ces évolutions juridiques, cette masculinisation de la société occidentale se manifestait dans des activités traditionnellement dévolues aux femmes, mais aussi dans le développement de la science. A partir du XVIIème siècle, l'idéologie dominante de la culture occidentale présente souvent la femme comme un être dominé par les passions, peu doué pour la recherche méthodique; l'homme étant au contraire apte à comprendre et à dominer la Nature grâce à sa rigueur et à son objectivité. Comme l'a montré P. Thuiller, cette nouvelle philosophie de la nature objective s'accordait remarquablement avec les pratiques des nouveaux entrepreneurs.

Les femmes ont ainsi moins de responsabilités dans la gestion des commerces ou des biens familiaux. Leur dépendance ira croissante.

Les femmes perdent également le contrôle de la reproduction. Des hommes, des médecins, savants et diplômés, vont de plus en plus souvent les remplacer. Selon Simone de Beauvoir, la religion de la femme était liée au règne de l'agriculture, règne de la durée irréductible, de la contingence, du hasard, de l'attente, du mystère; celui de l'*homo faber*, c'est le règne du temps qu'on peut vaincre comme l'espace, de la nécessité, du projet, de l'action, de la raison.

Cependant, cette évolution n'est pas à l'abri d'opposition. Ainsi le médecin et alchimiste allemand Heinrich Cornelius Agrippa publia en 1525 un essai "Sur la noblesse et l'excellence du sexe féminin" alors que le Français François Poulain de la Barre, en 1673, écrivit un ouvrage où il affirme l'égalité de l'homme et de la femme. Même parmi les grands noms de la philosophie et de la science, il y eut des personnalités douées d'assez d'esprit critique pour s'interroger sur les limites de la pensée "masculine".

Ainsi Newton aurait perçu les limites des principes fondant la science mécaniste. Ces principes rendaient-ils vraiment compte du dynamisme de la nature et en particulier des phénomènes vitaux ? Dans des pages non publiées qui datent de 1674, il traite des "lois et processus de la végétation", et écrit que: "La Terre ressemble à un grand animal ou plutôt à un végétal inanimé". L'hypothèse Gaïa de Lovelock a donc bien des antécédents.

#### IV-c: La thermodynamique: pierre angulaire du paradigme écosystémique

##### A: introduction

Dans la livraison de décembre 1977 du magazine La Recherche, le professeur Jacques Chanu écrivit un court article sur la thermodynamique du non-équilibre qui avait valu au professeur Ilya Prigogine de recevoir le prix Nobel de chimie décerné en 1977. Vingt années après, sous la signature de Daniel Tondeur, directeur de recherche au CNRS, ce magazine<sup>1</sup> dressait un bilan de la pertinence de cet article. Affirmant que l'article de Jacques Chanu n'appelle pas de remise en cause, l'auteur notait en revanche que le champ de vision devait être considérablement élargi après la rupture épistémologique provoquée par les travaux de I. Prigogine. Ce dernier a montré que des instabilités dans des systèmes physico-chimiques provoquent des comportements très différents de l'équilibre thermodynamique qui se caractérise par le désordre, la désorganisation. Pour J. Chanu, l'une des plus manifestes et apparemment irréductibles contradictions jamais rencontrées en science était définitivement levée; faisant allusion à la contradiction apparente entre les conséquences cosmogoniques du second principe de la thermodynamique interprété comme une tendance vers le désordre, et la constitution d'ordre et de structures organisées partout dans l'Univers.

L'œuvre de Prigogine, en effet, induit l'idée que l'apparition d'ordre, donc la décroissance d'entropie localement, s'accompagne d'une augmentation de celle-ci ailleurs; le solde étant toujours positif. Ces innovations suscitent de nombreuses controverses et expliquent pourquoi les travaux sur la thermodynamiques des structures dissipatives sont devenus un carrefour de concepts et de paradigmes très encombré. Le but de ce chapitre étant de présenter l'apport de sciences qui participent à l'élaboration d'un paradigme applicable à l'analyse du comportement des écosystèmes naturels ou artificiels; les éléments présentés se limitent aux outils qui permettront de forger ce paradigme en étant conscient que cette présentation consiste en un raccourci que des physiciens trouveront osé. Nous qualifierons ce paradigme de paradigme écosystémique ou paradigme environnemental.

## 1: l'énergie

Avant d'aborder la physique des phénomènes dissipatifs il est nécessaire d'évoquer une des problématiques fondamentales à l'origine de l'émergence des sensibilités environnementales: l'énergie. La crise de l'énergie des années 1970 participa à l'émergence du concept 'environnement'. En physique, la notion d'énergie joue un rôle fondamental. Elle apparaît d'abord en mécanique, où elle signifie capacité de travail. La première forme d'énergie définie est le travail mécanique : produit scalaire d'une force et d'un déplacement. Un système mécanique pouvant fournir du travail contient du travail en 'réserve', c'est-à-dire de l'énergie : - potentielle , si elle est due à la position des constituants du système dans l'espace ; - cinétique , si le corps est en mouvement comme des masses d'air en mouvement pour mouvoir un bateau à voile, ou maintenir en l'air un planeur. La loi de conservation de l'énergie, valable en mécanique, exprime que la somme de l'énergie potentielle et de l'énergie cinétique est constante. Cependant, l'observation montre que la majorité des systèmes macroscopiques sont l'objet de frottements et d'apparition de chaleur qui dissipent cette énergie. La chaleur apparaît alors comme une forme de l'énergie.

Aussi, la thermodynamique dépasse le cadre idéal de la seule Mécanique développée à partir de l'étude du mouvement des astres où les frottements sont négligeables pour étudier les transformations de chaleur en travail et réciproquement. La différence entre chaleur et travail est expliquée par la mécanique statistique ; celle-ci permet de définir une fonction qui mesure le "désordre" d'un état macroscopique d'un système: l'entropie.

## 2: histoire de la thermodynamique (de Carnot à Prigogine)

La publication de l'ouvrage de Sadi Carnot2 "Réflexions sur la puissance motrice du feu" établit les bases d'une discipline nouvelle de la physique, philosophie naturelle à l'époque: la thermodynamique. A cette époque, Carnot, comme ses contemporains, était fortement impressionné par la supériorité industrielle de l'Angleterre sur la France, puissance qu'il attribuait à une large utilisation de la vapeur comme source d'énergie. Dans un contexte de compétitions fortes, la thermodynamique comme science du feu et de ses applications devint un facteur de succès car elle permettait d'optimiser la création de la puissance et son utilisation. Lotka (1922), à travers la loi d'énergie maximum, concevra l'énergie comme un élément déterminant de la compétition inter et intra espèces dont Darwin avait souligné le rôle déterminant dans les relations entre espèces vivantes.

C'est William Thomson qui a inventé le mot 'thermodynamique' au milieu du XIXième siècle, mais les intuitions de S. Carnot étant à l'origine des premier et second principes, la date de 1824 est admise comme la date de naissance de cette discipline qui embrasse l'étude de toutes les transformations qui s'accomplissent à l'échelle macroscopique, c'est-à-dire aussi bien les changements d'états physico-chimiques que les changements de positions seuls envisagés en mécanique.

Trois catégories de systèmes sont concernés par cette physique:

- les systèmes dits ouverts, parce qu'ils peuvent échanger de la matière et de l'énergie avec le milieu extérieur;
- les systèmes fermés, qui n'échangent que de l'énergie avec le monde ambiant;
- les systèmes isolés, privés de tout échange.

Les systèmes vivants, qu'ils soient microscopiques ou macroscopiques sont des systèmes ouverts.



Réalité ou construction de l'esprit, la notion de système n'échappe pas aux débats suscités par cet antagonisme. Le choix réalisé dans cet écrit est que le système est une construction de l'esprit et que celui-ci est indissociable de celui qui le conceptualise. Cette position épistémologique est en rupture avec la tradition scientifique classique positiviste qui postule un Réel indépendant de celui qui l'observe, mais notre sensibilité ainsi que les références qui forgent le paradigme environnemental nous ont amené à faire ce choix. Nous discuterons plus loin de cette opposition fondamentale. Retenons pour le moment que le système est un modèle identifié par un observateur et séparé du milieu dans lequel il évolue, mais dont il n'est pas indépendant. Une frontière, une limite sépare le système du milieu. Ainsi, un système fermé désignera une portion invariable de matière ou, de la même façon, un ensemble donné de points matériels.

Toute l'activité scientifique porte sur l'étude des systèmes. L'approche analytique s'intéresse aux constituants de celui-ci alors que l'approche holiste se concentre sur les relations de celui-ci avec le milieu. La thermodynamique, à la différence de la mécanique, privilégie la démarche holiste (nous reviendrons sur ces points à la fin de ce travail).

Les fondements de la thermodynamique reposent sur deux 'lois empiriques'. L'une, appelée premier principe de la thermodynamique, introduit le concept d'énergie et exprime une propriété de conservation impliquant que l'énergie, considérée sous toutes ses formes, doit rester constante au cours de la transformation d'un système isolé. L'autre, appelée second principe, introduit le concept plus subtil d'entropie et exprime une propriété d'évolution impliquant que, dans un système isolé, l'entropie ne peut que croître, ou demeurer constante à l'état d'équilibre. La notion d'entropie fut introduite dans la thermodynamique en 1854, par le physicien allemand Rudolf Clausius (1822-1888) et devient le pivot de l'étude macroscopique des processus d'évolution au sein des milieux hautement complexes à l'échelle moléculaire. Selon le second principe de la thermodynamique, il est impossible de décrire un cycle moteur au moyen d'une seule source de chaleur. Le physicien anglais W. Thomson (lord Kelvin, 1824-1907) en a déduit l'échelle thermodynamique absolue de température T. Celle-ci a été utilisée peu après par Clausius, pour formuler son théorème fondamental:

#### @Equation du Second principe

$dQ$  représente l'élément de chaleur reçu ( $dQ > 0$ ) ou fourni ( $dQ < 0$ ) par le milieu; le signe d'égalité concerne les cycles réversibles qui sont des successions d'états d'équilibre. L'évolution de tout milieu isolé ( $dQ = 0$ , transformation adiabatique) s'accompagne nécessairement d'un accroissement d'entropie et tend vers un état d'équilibre qui correspond à l'entropie maximale ( $dS = 0$  à l'équilibre). Ce dernier est généralement caractérisé par une uniformisation qui témoigne d'un état de dégradation complète. A entropie et volume constants, tout système évolue vers l'état d'énergie minimum. Il s'ensuit la propriété fondamentale de l'entropie d'être une mesure de désordre, ce que confirme l'analyse microscopique. L'introduction de l'entropie dans l'expression du second principe de la thermodynamique permet d'écrire ce dernier sous la forme d'un bilan, représenté symboliquement par l'égalité :  $dS/dt = d_e S/dt + d_i S/dt$ ;  $d_i S/dt \geq 0$ . Le premier terme du membre de droite désigne le flux entropique, dû à la contribution du milieu extérieur sous forme de flux de conduction et de convection ; son signe n'est généralement pas défini. Le second terme représente l'ensemble des effets dissipatifs engendrés par les processus irréversibles internes ; il porte le nom de production d'entropie; ici le signe est essentiellement défini positif, et traduit la condition imposée à toute évolution par le second principe.

Le signe d'égalité correspond à des transformations réversibles. Dès lors, dans tous les cas, les transformations irréversibles apportent une contribution positive à l'accroissement d'entropie. Donc l'entropie ne peut que croître dans un système par suite des transformations irréversibles qui s'y produisent. Dans un système isolé ( $deS = 0$ ), la croissance de l'entropie ne s'arrête que lorsque le système atteint l'équilibre thermique. L'entropie est donc un véritable "indicateur d'irréversibilité".

La thermodynamique est ainsi devenue la science des phénomènes irréversibles, puis des structures dissipatives. Dans le cadre plus restreint du seul domaine des états d'équilibre et des transformations réversibles, l'introduction de la notion d'entropie peut être obtenue par d'autres voies. Les travaux de L. Boltzmann (1844-1906), en théorie des gaz, relatifs à ce même concept d'entropie, interprété du point de vue mécanique à l'échelle moléculaire, ont permis d'assimiler la notion d'accroissement d'entropie à l'évolution ordre-désordre qui caractérise tout système isolé. Mais, en dépit de ce résultat dont l'influence sur le développement ultérieur de la thermodynamique fut considérable, la conséquence la plus directe fut l'élaboration d'une discipline macroscopique autonome, applicable aux systèmes complexes et dont la notion d'irréversibilité s'oppose aux conceptions déterministes et réversibilité issues de la Mécanique.

En publiant en 1850 un ouvrage intitulé *Abhandlungen über die mechanische Wärme Theorie*, R. J. E. Clausius (1822-1888) expose deux conclusions cosmogoniques fondamentales qu'imposeraient le premier et second principe de la thermodynamique:

- l'énergie du monde est constante;
- l'entropie du monde tend vers un maximum.

Cette généralisation, traumatisante pour ces contemporains, fit l'objet de nombreuses controverses se résumant par la question suivante: comment notre monde est-il possible alors que sa tendance naturelle serait d'aller vers le désordre ? La mort thermique de l'Univers paraissait, à la fin du dix-neuvième siècle, inéluctable.

Une multitude d'auteurs participèrent au développement de la thermodynamique. Mais, en dépit de toutes ces contributions à une doctrine de portée générale, le succès recueilli par une telle thermodynamique strictement phénoménologique devait être limité au seul domaine des états d'équilibre, faute d'informations plus complètes que la seule inégalité de Clausius propre aux processus irréversibles. Les questions soulevées par les conclusions de Clausius ne furent traitées qu'à partir des années 1920 avec le développement d'une thermodynamique des processus hors d'équilibre.

En 1922, le physicien belge T. de Donder (1872-1957) établit la notion d'affinité chimique et ouvrit la voie aux travaux de Ilya Prigogine et de ses équipes. Puis en 1931, L. Onsager exposa les lois de réciprocité sur les coefficients phénoménologiques intervenant dans les lois de cinétique linéaire associant les courants irréversibles  $J_i$  (chaleur, diffusion...) aux forces généralisées  $X_i$  (gradients thermiques, de potentiels...). Aussi, aujourd'hui, la thermodynamique se présente sous trois aspects qui ont été élaborés l'un après l'autre. La première, la plus connue est la thermodynamique des états d'équilibre qui s'organise à partir de concepts et de relations entre des variables d'état, mais concerne uniquement les systèmes fermés dont l'évolution est la conséquence d'une intervention extérieure. Elle a trouvé son origine dans l'étude des machines à feu ou moteurs thermiques pour lesquels elle participe à l'élaboration de modèles puissants. La deuxième concerne les phénomènes gouvernés par les cinétiques linéaires et les relations de Onsager qui y sont associées. C'est la thermodynamique des processus irréversibles linéaires. Enfin, la troisième, d'origine plus récente, correspond à la thermodynamique des processus irréversibles non linéaires.

Cette dernière thermodynamique participe à la compréhension des états éloignés de l'équilibre où interviennent les causes d'instabilité sous forme d'états marginaux pouvant éventuellement donner naissance à des structures dissipatives créatrices d'ordre. Elle apporte une contribution importante pour l'approche physico-chimique du fonctionnement des structures vivantes.

Ces trois thermodynamiques ne sont pas inséparables. Il n'y a pas un domaine phénoménologique où s'appliqueraient l'une ou l'autre de ces thermodynamiques. L'apport de chacune d'entre elles est fondamentale pour modéliser le fonctionnement des systèmes. Seule leur importance relative change selon la nature de ceux-ci.

## B: les trois thermodynamiques

Le développement de la thermodynamique se fonde sur une multitude de recherches. Ainsi, le principe d'équivalence de la chaleur et du travail est généralement attribué au médecin allemand J. R. von Mayer, qui l'a formulé pour la première fois en 1842 dans ses 'Remarques sur les forces inanimées de la nature', montrant par ce titre qu'en tant que médecin, il restreignait son propos aux phénomènes abiotiques.

Cependant, à ce qui est qualifié de premier principe de la thermodynamique sont souvent associés les noms de J. P. Joule, de B. Thomson (comte Rumford, 1753-1814) et aussi de Sadi Carnot (1796-1832), connu surtout pour sa contribution fondamentale au second principe.

La thermodynamique postule qu'à tout système physique sont associés une énergie et une entropie. L'énergie prend deux formes: la chaleur et le travail. En outre, cette discipline s'organise à partir d'une séparation entre le système et le milieu dans lequel il évolue et dont il est séparé par une limite, une frontière. Le système est alors considéré en équilibre local avec le milieu dès lors que les variables d'état qui le caractérisent sont différentes de celles du milieu. Cet équilibre local est en réalité du non-équilibre en regard d'un système qui à l'origine est à l'équilibre thermodynamique. L'entropie et l'énergie interne sont deux variables d'état dont les valeurs sont différentes entre le système et l'asystème.

### 1: la thermodynamique d'équilibre

#### a: le premier principe de la thermodynamique ou principe d'équivalence

Pour un système fermé, le principe d'équivalence, appelé aussi principe de conservation de l'énergie, conduit à l'expression générale suivante (dans un système unifié d'unités):  $U = Q + W$ .  $U$  est l'énergie interne du système;  $Q$  est la chaleur reçue par le système, et  $W$  est le travail fourni au milieu extérieur. Le premier principe de la thermodynamique exprime dans sa généralité une propriété de conservation de cette énergie, car, pour un système isolé du monde extérieur, on a  $Q = 0$  et  $W = 0$ . D'où le nom de principe de la conservation de l'énergie. Toute modification de l'énergie interne d'un système isolé impose un apport ou un retrait de chaleur et/ou de travail fourni ou pris sur le milieu extérieur. Dans ce cas, les processus à pression constante, comme la respiration par exemple, le terme travail est équivalent à  $W = p.V$  ( $p$ : pression,  $V$ : volume). Le terme calorifique de la définition de l'énergie interne prend alors le nom d'enthalpie de symbole  $H$ :  $H = U + p.V$ . La variation d'enthalpie d'un système chimique n'est donc rien d'autre que la chaleur de réaction à pression constante. La variation d'enthalpie est affectée d'un signe négatif ou positif selon que le système perd ou gagne de l'énergie. Cette variable d'état du système établit la 'dénivellation d'énergie' existant entre les états initial et final du système considéré, quels que soient les processus qui relient ces deux états. Le premier principe établit l'impossibilité du mouvement perpétuel, donc d'un système qui produirait du travail continu ou de l'énergie cinétique à partir de rien.

D'autres grandeurs thermodynamiques issues de l'étude des systèmes en équilibre contribuent à l'élaboration du paradigme écosystémique.

### b: le second principe de la thermodynamique ou principe d'entropie.

Alors qu'il est aisé de transformer de l'énergie mécanique, chimique, électrique, etc., en énergie calorifique avec un rendement de cent pour cent, l'inverse est impossible. La fraction qui peut être convertie en énergie 'utilisable' est qualifiée d'énergie libre de Helmholtz (F):  $F = U - T.S$  (T: température absolue (degré Kelvin); S: l'entropie). L'énergie libre (ou enthalpie libre) est, par définition, l'énergie que l'on peut récupérer sous forme de travail. L'enthalpie libre de Gibbs (G) du système est définie par:  $G = H - T.S$  (H: enthalpie). Ces deux nouvelles fonctions d'état F et G ont été qualifiées de potentiel thermodynamique.

Puis, l'étude des systèmes ouverts a abouti à la notion de bilan entropique:  $dS = deS + diS$ .

Le terme  $deS$  représente la contribution du milieu extérieur à l'accroissement ou à la diminution de l'entropie; c'est le flux entropique reçu ou évacué par le système. Le terme  $diS$  correspond à l'accroissement d'entropie engendré par les processus irréversibles internes; c'est la production d'entropie (P):  $P = diS/dt \geq 0$ . Le second principe impose un signe non négatif, positif ou nul, à cette source. Dans un domaine défini par l'hypothèse de l'équilibre local et la formule de Gibbs, la production d'entropie locale devient une forme bilinéaire des courants généralisés  $J_i$ , ainsi que des forces généralisées  $X_i$ , servant à caractériser les causes de dissipation d'énergie. La production d'entropie volumique est ainsi déterminée pour un système de volume V. Elle exprime la dimension irréversible de l'évolution de celui-ci et s'interprète comme un critère d'évolution. Pour un système isolé, l'état d'équilibre correspond à un maximum de l'entropie, mais à production d'entropie irréversible minimale. Les états stationnaires de non-équilibre relevant du domaine de la thermodynamique linéaire possèdent cette même dernière propriété, mais alors le minimum n'est plus nul.

Les conditions d'équilibre et du déplacement de l'équilibre des systèmes à plusieurs constituants sont issus de la thermodynamique chimique. Ainsi, il est établi dans ce cadre qu'aucune évolution partant de l'état d'équilibre n'est possible parce qu'elle ne respecterait pas le signe d'inégalité imposé par le second principe aux processus naturels.

Carnot avait établi dans son mémoire que la quantité de travail produite par une machine thermique est bornée et que l'optimisation du rendement dépend, toutes choses étant égales par ailleurs, de l'écart de température responsable du flux de chaleur: "*là où il y a une différence de température, il est possible de produire de la force motrice*". Notons enfin, qu'à notre échelle, il n'y a ni création de matière ou d'énergie, seulement des transferts entre corps.

### c: la relation entropie-désordre

La définition de l'entropie (S), introduite par Ludwig Boltzmann (1844-1906) est  $S = k.lnW$  où W est la probabilité de l'état considéré. Cette fonction exprime alors le degré de désordre du système. L'état macroscopique d'une masse donnée de gaz, défini par exemple à l'aide des variables de température et de pression, peut être réalisé par un nombre considérable de combinaisons distinctes de groupements moléculaires dénommées complexions. La quantité W correspondant à ce nombre de complexions est prise comme mesure de la probabilité thermodynamique de l'état macroscopique correspondant.

La relation entropie-désordre conduit alors à une interprétation de la loi de croissance de l'entropie.

Elle montre, en effet, qu'un système isolé évolue nécessairement et irréversiblement vers des états de plus en plus probables et de moins en moins ordonnés sous l'effet des chocs moléculaires, jusqu'à son état final d'équilibre qui est ainsi le plus probable. La théorie de Boltzmann fait clairement apparaître les collisions comme la source de l'irréversibilité. Cette constatation conduit à une interprétation statistique du second principe de la thermodynamique, qui en limite la validité aux systèmes complexes, c'est-à-dire composés d'un grand nombre de paramètres moléculaires. Dans ce dernier cas, un processus hautement improbable, comme la séparation spontanée des deux constituants d'un mélange gazeux, s'interprète comme une impossibilité pratique. En introduisant la probabilité en thermodynamique, L. Boltzmann a initié des recherches sur la thermodynamique du non-équilibre et se trouve être un des initiateurs de la théorie de l'information, de la mécanique statistique et d'une réflexion plus générale sur l'entropie et l'irréversibilité.

#### d: fluctuations et équilibre

Dans les systèmes à l'équilibre thermodynamique, le désordre-entropie est à l'origine de fluctuations qui écartent temporairement le système de l'équilibre. Mais, cette situation est limitée dans le temps car la réponse du système est un retour à l'équilibre, caractérisé par une valeur extrême du potentiel thermodynamique. Les systèmes en équilibre thermodynamique sont par conséquent des systèmes stables dans le temps. Ce n'est plus le cas des systèmes soumis à des conditions de non-équilibre.

De tels systèmes se caractérisent par une diminution locale de l'entropie, mais pas de sa disparition.

Aussi, la thermodynamique envisage deux situations pour les structures de non-équilibre qualifiées aussi de structures dissipatives:

- les situations de quasi-équilibre qui correspondent à des états stationnaires des systèmes où les relations linéaires entre les constituants du système dominent;
- la thermodynamique non linéaire; cette non linéarité conduit le système à adopter des configurations évolutives au cours du temps selon les contraintes auxquelles il est soumis.

La distance à l'équilibre thermodynamique est un élément déterminant pour comprendre le fonctionnement des systèmes. La variable d'état 'exergy' a été introduite dans les discours sur la thermodynamique du non-équilibre pour rendre compte de cet écart à l'équilibre. Notons que le premier système de non-équilibre est la biosphère terrestre nourrie du flux solaire. Selon cette approche, l'évolution du vivant serait la résultante de processus de sélection et de phénomènes d'auto-organisation. La capacité à optimiser la gestion des flux 'néguentropiques' étant à la base de cette évolution.

## 2: la thermodynamique du non-équilibre

### a: la thermodynamique linéaire

La thermodynamique du non-équilibre linéaire est caractérisée par la prévalence de relations linéaires entre les flux et les forces auxquels le système est soumis et dont Lars Onsager a défini l'espace de validité par des relations de réciprocité. Cet espace relève du domaine linéaire de non-équilibre, mais dans l'hypothèse que le système est localement en équilibre avec le milieu dans lequel il se situe.

Dans un système linéaire, les effets sont proportionnels aux causes.

En termes qualitatifs, ces relations de réciprocité expriment que si une force est responsable d'un flux, alors une autre force conduira aussi à un autre flux; les binômes flux-forces s'équilibrant.

Par exemple, la loi empirique de Fourier affirme que, dans un système siège d'un gradient de température (à l'exclusion de toute autre force), le flux de chaleur est proportionnel au gradient. L'élément fondamental de la thermodynamique linéaire est la proportionnalité des relations entre les composants et les flux au sein du système où dominent les rétroactions négatives: le retour à l'équilibre. Le coefficient de proportionnalité (dans le cas de la loi de Fourier: la conductivité thermique) est un cas particulier des constantes  $L_{ij}$ , appelées coefficients de transport. Ils caractérisent la réponse du système envisagé aux stimuli extérieurs.

L. Onsager a établi, en 1931, une loi fondamentale qui relie ces nombres entre eux : les coefficients de transport obéissent (en l'absence de champs magnétiques) aux relations de réciprocité :  $L_{ij} = L_{ji}$ . Les relations d'Onsager sont valables pour des processus irréversibles qui se produisent au sein de milieux gazeux, liquide ou solide. Ainsi, dans le domaine linéaire, l'irréversibilité est associée au désordre. Cependant, en situation de non-équilibre linéaire, les fluctuations décroissent. L'état stationnaire dans lequel est maintenu le système est dû à des flux d'échange d'énergie ou de matière entre le système et le milieu. Un système de non-équilibre, donc éloigné de l'équilibre thermodynamique, peut évoluer spontanément vers un état caractérisé par une inhomogénéité, et donc une complexité croissante. La thermodynamique a aussi montré que ce rôle constructif de l'irréversibilité est d'autant plus important que le système évolue loin de l'équilibre thermodynamique.

Un élément fondamental de la thermodynamique linéaire pour l'élaboration du paradigme écosystémique est le théorème du minimum de production d'entropie à l'état stationnaire pour un système soumis à des contraintes données (Prigogine, 1947). Celui-ci est ainsi formulé: *“dans un système dominé par le régime linéaire, la production interne d'entropie (irréversible) atteint une valeur minimum à l'état stationnaire de non-équilibre”*. Dans le régime linéaire, le système évolue vers un état stationnaire dont la production d'entropie est constante. Ce théorème du minimum de production d'entropie à l'état stationnaire exprime un principe dont la portée est strictement limitée au domaine des processus irréversibles linéaires, mais fondamental pour la constitution du paradigme écosystémique. En effet, la stabilité des états stationnaires est la conséquence de cette production minimum d'entropie.

Les relations d'Onsager et les lois linéaires de même type ont cependant un domaine de validité limité. C'est seulement au cours des années 1960 que l'on a commencé à étudier systématiquement la thermodynamique non linéaire où les régimes simples prédits par les lois linéaires deviennent instables, et le système « saute » sur d'autres branches d'évolution qui peuvent être totalement différentes, au fur et à mesure que l'on s'éloigne de l'équilibre. Loin de l'équilibre, les états stationnaires peuvent perdre leur stabilité. Il peut apparaître ainsi spontanément des structures spatiales ou des oscillations à partir de systèmes parfaitement homogènes au départ. Ces structures dissipatives jouent un rôle déterminant, aussi bien en hydrodynamique qu'en chimie ou en biologie.

### b: la thermodynamique non-linéaire

Les conditions de stabilité d'un système à partir de l'hypothèse d'un équilibre local sont déterminées par la différentielle seconde de l'entropie.

En adoptant cette expression comme fonction de Liapounoff, il est possible d'en déduire un critère de stabilité du système par rapport aux petites perturbations, autour du processus irréversible considéré et soumis à des contraintes fixes. Ce critère de stabilité implique, dans les cas où il est réalisé, la régression des fluctuations qui ont engendré l'écart à l'équilibre stationnaire.

Le système est stable et le reste malgré la présence de fluctuations. Cet équilibre stationnaire est différent de l'équilibre thermodynamique, car il établit que la fonction entropie localement est inférieure à celle du milieu.

Autour d'un état d'équilibre thermodynamique, mais aussi autour d'un état de non-équilibre linéaire ou d'équilibre stationnaire, la stabilité est identiquement assurée en vertu du second principe. Cependant, plus le système évolue loin de l'équilibre thermodynamique plus ce principe d'équilibre peut être mis en défaut. Les fluctuations ne sont plus nécessairement amorties. La stabilité n'est donc plus la conséquence de lois générales; tout au contraire, les fluctuations peuvent croître et envahir le système tout entier dès lors que l'amplitude de la fluctuation est supérieure à la 'longueur de cohérence' du système. C'est l'état marginal. Cette notion de longueur de cohérence exprime le fait que l'homogénéité d'un système est déterminée par sa capacité à 'résorber' les fluctuations dues à l'entropie du système, donc selon l'équivalence désordre-entropie de Boltzmann, issues du désordre.

Or, rappelons que le terme  $diS$  de l'entropie est toujours positif ou nul. Des structures dissipatives ou organisations spatio-temporelles nouvelles peuvent émerger dans de telles situations. Le non-équilibre confère à la matière des propriétés de structuration qui demeurent impossibles à l'équilibre. La dimension irréversible de l'évolution des systèmes par la croissance de la fonction  $diS$  et les fluctuations qu'elles génèrent loin de l'équilibre a un rôle constructif, mais imprévisible. Ces nouveaux états de non-équilibre apparaissent aux points de "bifurcation". A ces points, le système peut évoluer entre plusieurs états (branches thermodynamiques), dont le retour à l'état d'équilibre thermodynamique. Ces bifurcations débouchent sur des auto-organisations différentes de celle dont elles sont issues. Mais, alors que les lois de la thermodynamique d'équilibre n'envisagent comme évolution qu'une dégradation (entropie-désordre) du système, loin de l'équilibre, les conséquences d'un état marginal sont quelque peu inattendues puisque, à l'inverse de la dégradation classique par dissipation, le régime qui s'établit peut être plus structuré que le précédent. Cet accroissement de structure est tantôt spatial et donne lieu à une structure dissipative, tantôt temporel sous la forme de cycles limites.

Un grand nombre de possibilités existe. Le mouvement cellulaire de Bénard, prenant naissance au sein d'une couche horizontale de fluide chauffée par le bas, constitue l'un des premiers et des plus édifiants exemples de telles structures. Aussi, aujourd'hui, le principal intérêt de la thermodynamique des phénomènes irréversibles se rapporte au lien avec les processus biologiques, c'est à dire le monde vivant dans toutes ses manifestations. Ces travaux permettent d'apposer une grille de lecture et de comprendre la variété immense des structures dans le monde naturel ou humain. Pour I. Prigogine, ces notions de structures dissipatives et d'auto-organisation fertilisent une gamme très large de domaines de recherche, qui vont de l'astrophysique aux sciences humaines.

### 3: les structures dissipatives

Au voisinage de l'équilibre, les fluctuations disparaissent dès leur formation et peuvent donc être ignorées. Toutefois, dans la région non linéaire, certaines d'entre elles peuvent s'amplifier à proximité d'un premier état critique et, conformément à des lois stochastiques, venir perturber l'état macroscopique établi et le destabiliser. Il en résulte un changement de branche ou bifurcation vers un nouvel état stable pouvant être plus structuré que le précédent devenu instable et, dès lors, éliminé.

Des perturbations d'origine extérieure peuvent avoir le même effet. Ainsi, lorsque le système rentre en crise, c'est à dire sort des conditions d'équilibre pour le moment définie par les relations de Onsager et le théorème de Prigogine-Glansdorff, celui-ci peut évoluer vers une organisation plus complexe. La complexité apparaît alors comme une réponse du système pour 'sortir' d'un état transitoire désordonné.

Toutes structures vivantes ou non exigent une dissipation constante d'énergie et de matière. I. Prigogine leur a donné le nom de structures dissipatives. Du point de vue de l'école de Bruxelles, la question du vivant n'est pas centrée sur l'information et son traitement (l'organisme étant considéré comme une traduction de l'information génétique) mais sur l'"auto-organisation" de la matière loin de l'équilibre. Les propriétés générales de l'auto-organisation loin de l'équilibre, et notamment la cohérence collective, surgissent spontanément dans une population désordonnée à l'équilibre. Les bifurcations où les fluctuations deviennent susceptibles de transformer le régime d'activité globale du système, et la sensibilité du système (le fait que des facteurs insignifiants à l'équilibre peuvent jouer un rôle déterminant dans les possibilités de structuration du système loin de l'équilibre) ont suscité des échos dans les domaines les plus divers.

A partir des années 1980, un grand nombre de centres interdisciplinaires, se référant aux dynamiques non linéaires ou à la complexité, ont entrepris de développer ces concepts dans le domaine de l'économie, de l'écologie, des sciences sociales, etc. Ces approches sont soutenues par les membres de l'Ecole de Bruxelles. Toutes ont en commun de s'intéresser aux structures dissipatives.

Ce terme "structure dissipative" a donc été créé, en 1969, par Ilya Prigogine pour souligner que loin de l'équilibre thermodynamique, c'est-à-dire dans des systèmes traversés par des flux de matière et d'énergie, peuvent se produire des processus de structuration et d'organisation spontanées au sein de ces systèmes, qui deviennent le siège de "structures dissipatives". L'irréversibilité jouerait finalement un rôle constructif et devenir source d'ordre. Une structure dissipative naîtrait du désordre, sa stabilité n'étant que la résultante globale de son activité dissipative à partir des flux qui la nourrissent. L'étude des structures dissipatives n'oppose donc pas l'ordre au désordre, elle s'intéresse aux conditions d'évolution de celles-ci, étant établi qu'elles sont la résultante d'une dialectique ordre-désordre. Les fluctuations consubstantielles aux systèmes selon les circonstances, soit régressent (zone de stabilité), soit s'amplifient (zone de bifurcation) et induisent une évolution du système vers un nouvel état d'équilibre doté d'une capacité d'annihilation des effets des fluctuations. La thermodynamique des structures dissipatives vient alors nourrir les discours des biologistes constatant la complexification constante des organismes vivants au cours des âges.

## C: les développements de la thermodynamique

### 1: thermodynamique et biologie

Les deux propriétés fondamentales de la vie sont la reproduction et l'autoconservation. Cette dernière consiste à surmonter les conséquences du second principe de la thermodynamique, car bien que systèmes ouverts, les organismes vivants n'échappent cependant pas aux lois qui régissent les systèmes fermés.

Cette gestion de l'énergie induit que l'énergie totale d'un système comprend une part utilisable et une part dégradée qui correspond à l'augmentation irréversible de l'entropie; l'entropie mesure le degré d'usure de l'énergie, ainsi que le degré de désordre d'une structure organisée. D'après le second principe de la thermodynamique, l'entropie d'un système fermé ne peut que croître, ce qui entraîne une diminution de l'organisation.



Ce principe posait donc une incompatibilité considérée comme irréductible entre l'évolution dans le domaine physique et l'évolution dans le monde vivant. Aussi, tout apport d'énergie extérieure (énergie solaire ou énergie résultant du catabolisme) à un organisme vivant entraîne la diminution locale de l'entropie et l'accroissement de l'organisation, mais sans pour cela échapper aux conséquences du second principe qui oblige tout système à évoluer ou à mourir (principe de désordre). Au contraire de la physique, les sciences de la vie ou humaines admettent la complexification croissante des structures au cours du temps. Ceci étant admis, une question fondamentale est le pourquoi de ce constat. Ces interrogations conduisent tout naturellement à la téléologie. Une activité téléologique (telos = fin, but) est dirigée vers une fin ou un but. Cependant, nous éliminerons de cette dissertation toute référence téléologique pour se borner aux faits et aux modèles qui aboutissent au paradigme écosystémique. Nonobstant ces remarques, tous les biologistes s'accordent sur le fait que les êtres vivants sont des transformateurs d'énergie traversés par un flux de matière et d'énergie (article physiologie Encyclopaedia, 1995).

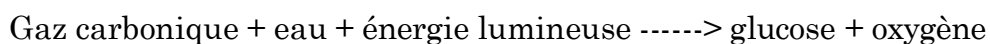
#### a: les concentrations d'énergie

Le flux solaire sensible ou latent est à la base du fonctionnement de tous les écosystèmes, qu'ils soient naturels ou artificiels. Selon la mécanique quantique la matière peut absorber la lumière faisant passer le système physique considéré d'un état énergétique E1 à un état énergétique E2 tel que  $E2 - E1 = h \nu$ ,  $\nu$  étant la fréquence du rayonnement absorbé. Le passage d'une molécule d'une énergie E1 à une énergie E2 peut provoquer un changement de structure électronique et, partant, une réaction chimique, qu'on appelle alors réaction photochimique. Ce sont ces réactions photochimiques qui permettent la synthèse de molécules organiques par les plantes, à partir du gaz carbonique de l'atmosphère et de l'eau, et le dégagement d'oxygène (synthèse chlorophyllienne). La chlorophylle joue le rôle d'un catalyseur dans cette réaction. Les organismes animaux brûlent les molécules organiques grâce à la respiration et reforment du gaz carbonique. Pratiquement, toute l'énergie chimique actuellement utilisée (charbon et hydrocarbures) provient de la transformation de l'énergie solaire, par des processus photochimiques et biologiques, en végétaux pour le charbon, en micro-organismes marins pour le pétrole.

Ainsi, les végétaux, absorbent de la lumière et la convertissent partie en chaleur, partie en énergie chimique (énergie de liaison), au cours de la photosynthèse (1845). Les animaux utilisent cette énergie chimique et la convertissent partie en travail (mouvements), partie en chaleur.

Pour leur entretien et leur développement, pour extraire du milieu où ils vivent les aliments dont ils se nourrissent, les êtres vivants ont besoin d'énergie. Selon leurs caractéristiques trophiques, la source d'énergie à laquelle ils puisent est différente.

La première étape est réalisée par les végétaux chlorophylliens qui utilisent la lumière et élaborent, par photosynthèse, des composés carbohydrogénés – glucose, amidon – qui possèdent une énergie libre de formation élevée. Leur genèse correspond à la réduction du gaz carbonique par l'eau, selon une réaction globale telle que :



Cependant, diverses bactéries, autotrophes également, tirent l'énergie qui leur est nécessaire de l'oxydation de substances minérales présentes dans le sol ou les eaux : sels ammoniacaux, nitrates, sulfures, etc. Cette chimiosynthèse est cependant marginale en regard de la photosynthèse.

## b: les oxydo-réductions

Les oxydoréductions sont des réactions chimiques couplées par lesquelles une substance se réduit en prélevant des électrons à une autre qui s'oxyde. Elles sont essentielles pour transférer l'énergie d'un élément à un autre. Des processus générateurs de composés à haut potentiel énergétique, tel l'adénosine triphosphate (ATP), permettent aux cellules et aux organismes de disposer de l'énergie que les oxydoréductions retirent des aliments. Le potentiel d'oxydoréduction (potentiel rédox) est une grandeur thermodynamique qui mesure le pouvoir oxydant ou réducteur d'un système rédox. Plus un système est oxydant, c'est-à-dire plus il est apte à se réduire en captant des électrons, et plus son potentiel d'oxydoréduction est élevé. Plus il est réducteur et a tendance à céder des électrons, et plus son potentiel rédox est bas.

L'énergie dégagée par une oxydoréduction effectuée dans le sens de la montée des potentiels rédox peut se dégager sous forme de chaleur ou bien conduire, dans le composé oxydé, à la création d'une liaison à haut potentiel (ou "liaison riche" ou "énergétique"), qui confère à la molécule un niveau énergétique élevé. Cette liaison, symbolisée par le signe T (tilde), s'hydrolyse facilement avec un fort dégagement d'énergie. Les molécules qui la présentent ont un pouvoir réactionnel élevé et constituent une réserve énergétique pour la cellule. Il s'agit souvent d'une liaison phosphate. Celle-ci peut être transférée sur l'ADP (adénosine-diphosphate), ainsi phosphorylée en ATP (adénosine-triphosphate), laquelle est la principale forme de réserve et de transfert de l'énergie cellulaire.

Les mitochondries sont le site de synthèse de la presque totalité de l'ATP (acide adénosine-triphosphorique) utilisé par les cellules. L'ATP, molécule riche en énergie, est le vecteur intracellulaire universel de l'énergie. Il est indispensable à toutes les réactions exigeantes en énergie des organismes vivants : réactions chimiques de biosynthèse, travail mécanique, transports actifs, bioluminescence, etc. L'énergie ainsi stockée peut être ultérieurement libérée par une hydrolyse et utilisée pour une réaction endergonique. Que ce soit une réaction endergonique ou exergonique, l'énergie mise en jeu est égale à la variation d'enthalpie libre du système.

Les composés organiques dont sont constitués les êtres vivants sont en général des substances réduites par rapport aux composés oxydés du monde minéral. L'assimilation de ces derniers implique donc globalement une réduction, alors que le retour à l'état minéral traduit une oxydation. Les oxydoréductions sont ainsi des processus métaboliques qui permettent de passer progressivement de l'état réduit à l'état oxydé ou vice versa. Elles provoquent des échanges d'énergie (de quelques joules à quelques dizaines de joules) suffisamment importants pour assurer des dénivellations métaboliques suffisantes mais compatibles avec le maintien des structures et des activités cellulaires.

Les oxydoréductions exergoniques (descente thermodynamique), comme il s'en trouve dans la respiration et dans la photosynthèse, produisent fréquemment des réducteurs et de l'ATP, augmentant les réserves mobiles en pouvoir réducteur et en énergie. Ces réserves sont alors disponibles pour les synthèses et autres activités vitales. Cependant, tout flux d'énergie avant de 'traverser' les chaînes alimentaires doit être capté; c'est la fonction de la photosynthèse de concentrer les flux d'énergie solaire.

### c: la photosynthèse

Le terme “photosynthèse” désigne l’utilisation de l’énergie lumineuse pour la réduction du dioxyde de carbone par l’eau, donneur d’hydrogène (ou d’électrons + protons), avec synthèse de glucides et libération d’oxygène. Cette réaction est réalisée dans des organites intracellulaires spécialisés, les chloroplastes, porteurs de pigments photorécepteurs. La réduction du dioxyde de carbone par l’eau nécessite un apport d’énergie assez élevé fourni par le flux solaire. Cette énergie lumineuse est alors convertie en énergie chimique qui se retrouve dans l’énergie de liaison des atomes de carbone et d’hydrogène dans les glucides formés. En 1845, trois années après avoir énoncé le principe de la conservation de l’énergie, c’est le physicien allemand R. Mayer qui discerna l’aspect fondamental du phénomène en relevant que: *“Les plantes prennent une force, la lumière, et engendrent une force, l’énergie chimique”*.

Le bilan de la photosynthèse nette laisse un excédent de substances organiques très important, puisque les pertes totales dues à la respiration de tous les organes végétaux ne dépassent pas 40 à 50 p. 100 du gain positif de synthèse nette.

Dans les meilleures conditions expérimentales de laboratoire, le rendement énergétique de la photosynthèse est évaluée à un maximum d’environ 30% alors qu’en milieu naturel le rendement énergétique maximal ne dépasse pas 10 à 15%. Il existe donc une différence importante entre un rendement énergétique théorique, optimal et un rendement réalisable. Cette distinction est importante pour l’élaboration du paradigme écosystémique.

### d: la notion de rendement énergétique

Au même titre que les machines thermiques, les êtres vivants sont soumis aux principes de rendement énergétique. Pour une machine thermique, le rendement est déterminé par le ratio travail/chaleur de combustion alors que pour un organisme vivant il est le rapport entre l’énergie des substances élaborées et l’énergie des substances dégradées ou la masse du protoplasme formé rapporté à la masse de protoplasme consommé. Il est délicat de calculer des valeurs possibles, retenons simplement que conformément au principe de Carnot, ce rendement n’est jamais de 100 %. Ainsi, pour une colonie bactérienne en cours de multiplication, il n’est que de 20 p. 100. 80 p. 100 des aliments absorbés sont dégradés 20 p. 100 de leurs chaînes carbonées sont transformés en constituants protoplasmiques. La quasi-totalité de l’énergie libérée par la dégradation, c’est-à-dire par la respiration, est dissipée sous forme de chaleur. Une très faible fraction de cette énergie (quelques pourcent au plus) se retrouve dans l’énergie chimique des constituants du protoplasme (1995-96 Encyclopædia Universalis, Tonnelat, bioénergétique).

## 2: les écosystèmes: structures dissipatives

Les écosystèmes sont conçus comme des structures dissipatives nourries de flux. Ce sont donc des structures vivantes soumises aux mêmes contraintes thermodynamiques que toutes les autres structures vivantes. Or, le second principe prévoit qu’un système isolé évolue dans le temps vers le désordre alors qu’en biologie et en sociologie, l’idée d’évolution est associée à une croissance de l’organisation et à la formation de structures de plus en plus complexes. Celles-ci sont des systèmes ouverts car elles dissipent de l’énergie.

Une question fondamentale sur l’évolution des organismes et des écosystèmes est de comprendre les conditions de leurs évolutions contraires aux lois de la thermodynamique d’équilibre. C’est à cette problématique que tente de répondre la thermodynamique du non-équilibre qualifiée de thermodynamique des structures dissipatives.

L'analyse du rôle de la non-linéarité en thermodynamique, exposé ci-avant, et qui a conduit au concept de structure dissipative a permis de répondre à ces questions. Les systèmes biologiques sont par conséquent des systèmes ouverts échangeant de la matière et de l'énergie avec le milieu dans lequel ils évoluent. En tant que structures dissipatives, ils se caractérisent par une organisation spatiale et temporelle.

Les phénomènes d'auto-organisation les plus communs sont, soit l'apparition d'états stationnaires multiples, soit l'évolution vers un régime d'oscillations entretenues correspondant à un cycle limite autour d'un état stationnaire devenu instable à la suite d'une bifurcation. Les exemples biologiques les plus connus de tels phénomènes sont le cycle de la glycolyse, l'agrégation des amibes acrasiales, la morphogénèse, etc. Une autre caractéristique des systèmes vivants est leur capacité à stocker de l'information et d'adapter leur comportement en fonction des stimuli reçus du milieu.

Cette adaptation est essentielle pour le développement et la survie d'un organisme et se fonde sur les travaux de Lotka qui a établi que l'un des facteurs de succès d'un organisme vivant est son aptitude à générer de l'énergie libre (l'énergie utile pouvant aboutir à un travail), qualifiée de loi d'énergie-maximum. Dans une optique néo-darwinienne, selon cette approche, la viabilité des organismes vivants dépend de leur capacité à maximiser cette énergie utile. Aussi, à côté des concepts d'énergie et de matière apparaît celui d'information. Ceux-ci se révèlent déterminant pour l'élaboration du paradigme écosystémique.

### 3: les termes incontournables

#### a: information et néguentropie

Couramment, la définition technique d'une information est la même que celle d'une entropie changée de signe (ou néguentropie : « moins » le logarithme d'une probabilité). L. Szilard (1929), G. N. Lewis (1930) et L. Brillouin (1949) ont été à l'origine d'une réinterprétation de l'entropie comme un défaut d'information. Déjà Aristote avait réfléchi à une conception de l'information notamment à partir de la notion de hasard. L'information y est ainsi conçue comme acquisition de connaissance mais aussi pouvoir d'action ou d'organisation. En d'autres termes, l'information ne serait pas exclusivement d'origine expérimentale. H. Poincaré a résumé cette approche en écrivant qu'"une accumulation de faits n'est pas plus une science qu'un tas de pierres n'est une maison". Selon une perspective positiviste, l'information est intégrée à un mode de représentation du Réel (connaissances), qui permet d'agir sur ce Réel. Aussi une théorie sur l'information a comme préalable le but qui lui est assigné.

Aujourd'hui, deux théories de l'information s'opposent: la théorie de l'information de Schannon et la théorie algorithmique. La première après avoir connu une période de prospérité connaît désormais une relative retraite. Selon la deuxième, plus actuelle, la valeur de l'information de 's' est la longueur du plus petit programme (en mode binaire) nécessaire à une machine M pour reconstituer la chaîne de caractères constitutive de 's'. Cette théorie de l'information est à l'origine de la théorie de la complexité de Kolmogorov. Précisons cependant que les théories sur l'information font l'objet "*d'utilisation parfois délirantes de ce mot*" (Delahaye, 1994, p23). Aussi, nous ne définirons pas l'information, mais ferons référence au cadre dans lequel s'inscrivent les nouveaux concepts. L'information y est alors conçue comme perception de l'Autre, mais aussi production de Moi. A chacun d'utiliser cette information aux usages qu'il conçoit.

Le mot néguentropie fait partie des termes qui apparaissent dans la littérature sur les relations entre thermodynamique et phénomènes du vivant, mais dont l'usage est susceptible de provoquer l'ire de physiciens puristes. Il est ainsi tout à fait absent de la littérature de l'École de Bruxelles dont I. Prigogine est l'autorité morale. Cependant, le concept qu'exprime ce mot est indispensable pour élaborer le paradigme écosystémique, puis les principes de fonctionnement des écosystèmes, aussi, nous ne pouvons l'ignorer, malgré la suspicion dont il fait l'objet. Deux ou trois auteurs sont associés à la création de ce terme. Léon Brillouin (1956, *Science and Information Theory*) l'a proposé pour remplacer les expressions d'«entropie négative» ou «entropie changée de signe»; ceci en même temps que Norbert Wiener (théorie de l'information) et Erwin Schrödinger.

Ce dernier, dans son ouvrage 'What is Life?' publié en 1945 montrait qu'en contradiction avec les conséquences du second principe de la thermodynamique, toute organisation vivante s'élaborait à partir de flux d'entropie négative que nous qualifierons désormais de 'flux néguentropiques'. Par conséquent au contraire des processus abiotiques décrits par la thermodynamique d'équilibre, la vie d'organiserait sous la contrainte du second principe, mais en le transcendant temporairement.

La thermodynamique de non-équilibre tente de réaliser un rapprochement entre ces phénomènes antagonistes: la croissance vers le désordre formalisée par le second principe et l'interprétation que Boltzmann en a faite d'une part, dont la conséquence cosmogonique est «la mort thermique de l'univers»; l'émergence du vivant et la complexification croissante de ses manifestations d'autre part, des organismes procaryotes jusqu'au gigantesque écosystème artificiel que la mondialisation produit. Le métabolisme des organismes vivants manifeste en effet la capacité du vivant non seulement de maintenir dans le temps leur complexité structurale et fonctionnelle, mais, bien plus, de la multiplier en la transmettant à leur descendance. Les approches probabilistes du concept d'entropie développées par Ludwig Boltzmann, Willard Gibbs et James Clerk Maxwell, permirent d'envisager qu'un ordre biologique constant ou croissant n'est pas impossible, mais très improbable d'un point de vue physique dominé par la thermodynamique d'équilibre. Puis Schrödinger affirma la nécessité de comprendre les phénomènes de structuration des organisations vivantes à partir de leurs propriétés de non-équilibre auto-entretenu. Cette intuition fut relayée par les travaux de Ludwig von Bertalanffy (*Théorie générale des systèmes*), Norbert Wiener (*Cybernétique*), Lars Onsager et Ilya Prigogine (*Études des états stationnaires et des systèmes loin de l'équilibre thermodynamique*).

La fonction primordiale du métabolisme est alors la propriété de maintenir des structures et des fonctions à travers un flux constant de matière, d'énergie et d'informations.

Comment comprendre thermodynamiquement ce flux par rapport à cette conservation d'ordre ? E. Schrödinger écrivit dans "What is Life ?" *«Quel est donc ce précieux quelque chose incorporé à notre nourriture qui nous sauve de la mort ? Un organisme vivant accroît constamment son entropie — ou crée de l'entropie positive — et ainsi tend à se rapprocher de l'état dangereux d'entropie maxima, qui est la mort. Il ne peut s'en maintenir éloigné, c'est-à-dire rester en vie, qu'en soutirant continuellement de l'entropie négative, ce qui est en réalité quelque chose de très positif [...]. Donc, un organisme se «nourrit» d'entropie négative. En d'autres termes [...], la chose essentielle en métabolisme est que l'organisme réussisse à se débarrasser de toute l'entropie qu'il ne peut s'empêcher de produire»*. Aussi, l'étude du métabolisme d'un point de vue thermodynamique fait apparaître clairement que les organismes vivants constituent des systèmes ouverts. Dès lors, le second principe de la thermodynamique ne se présente plus comme dans un système fermé où l'énergie libre tend à disparaître, si bien que la désorganisation croissante traduit la tendance vers l'équilibre. Dans les systèmes ouverts, il n'y a pas de véritable équilibre. On parle d'état stationnaire.

En opposition avec l'« entropie » des systèmes fermés, l'état stationnaire, dû à une réorganisation continue, exclut l'entropie: on parle de négentropie. Cet état stationnaire métastable est évoqué sous le nom d'homéostasie en biologie.

### b: exergy

Cette idée d'informativité d'objets, qu'ils soient matériels ou spirituels, a induit les notions de négentropie, d'ordre, de diminution locale d'entropie. Puis, de nombreux auteurs ont émis l'idée que tous les processus naturels ou humains, notamment les échanges économiques se réalisent entre des systèmes de différents niveaux d'entropie.

Georgescu-Roegen dans les années 1970 a conçu les échanges à partir de flux entre des systèmes de basse entropie vers des systèmes de haute entropie. Depuis, cette innovation a été précisée et améliorée. Intuitivement, il existe par conséquent un variable d'état de tout système qui exprime son niveau d'entropie, son ordre et dont les valeurs déterminent sa performance. En effet, la première loi de la thermodynamique établit qu'à l'échelle macroscopique que nous connaissons dans la biosphère, il n'y a création ni de matière, ni d'énergie. Or, la deuxième loi de la thermodynamique affirme que tout processus tend vers un état max d'entropie qui constitue l'équilibre thermodynamique.

Toute structure organisée est donc à la fois soumise à ce principe, mais y déroge en s'éloignant de l'équilibre thermodynamique. Cette idée d'écart à l'équilibre a conduit à introduire dans le discours de la thermodynamique le concept d'exergy (Ayres). Elle se définit comme le maximum de travail qu'un système peut produire en regard du milieu dans lequel il évolue. Plus l'exergy d'un système est élevée, plus le travail potentiel que celui-ci peut fournir est aussi élevé.

L'exergy a donc une relation directe avec la notion d'énergie libre utilisée dans la thermodynamique d'équilibre. En situation d'équilibre thermodynamique, ces deux variables sont équivalentes (Ruth, 1995). Cette variable intensive, non mesurable, exprime l'écart à l'équilibre d'un système. Plus l'exergy d'un système dissipatif est différent de son milieu, plus sa distinguabilité augmente. Elle est inversement proportionnelle au niveau d'entropie du système, mais est corrélée dans une relation proportionnelle à la production d'entropie, à l'ordre du système, à sa complexité. Elle exprime la capacité d'un système à fournir de l'énergie utile. Aussi, la notion d'énergie du langage courant est en réalité l'exergy, c'est à dire l'énergie utile transformable en énergie mécanique et en force.

L'exergy se définit ainsi comme le maximum de travail en quantité qu'un système peut fournir à son environnement qui serait proche de l'équilibre thermodynamique. L'exergy est proportionnelle à la future production d'entropie potentielle.

Elle est la mesure de l'écart à l'équilibre thermodynamique et permet d'apprécier le degré de distinguabilité d'un système avec son milieu. Elle est proportionnelle au contenu en informations du système. Elle n'est pas une variable conservative comme l'énergie, mais est 'incluse' dans les matériaux. C'est le travail potentiel extractible d'un système.

### c: homéostasie

Comme toutes substances, les êtres vivants obéissent aux mêmes lois chimiques et physiques que la matière inerte. Les lois de la gravitation universelle s'appliquent aux oiseaux et aux hommes, mais les uns comme les autres volent, contredisant temporairement les conséquences de cette loi, mais en en bénéficiant aussi car elle permet justement de voler.

Les organismes vivants se trouvent comme tout objet matériel, soumis aux contraintes du milieu dans lequel ils évoluent, mais l'étude du vivant montre que plus ces êtres vivants sont évolués, plus se manifeste leur indépendance vis-à-vis du milieu. C'est Claude Bernard qui dans ses *Leçons sur les phénomènes de la vie communs aux animaux et aux végétaux* a écrit la célèbre phrase: «*La fixité du milieu intérieur est la condition de la vie libre, indépendante; le mécanisme qui la permet est celui qui assure dans le milieu intérieur le maintien de toutes les conditions nécessaires à la vie des éléments.*» L'homéostasie permet par conséquent de s'affranchir relativement et temporairement des contraintes du milieu physique, dont le principe d'entropie, au même titre que de la loi de la gravitation universelle.

#### d: non-linéarité

Le plus simple pour sensibiliser à la notion de non-linéarité est d'admettre que dans un processus linéaire  $1 + 1 = 2$  en base 10 alors que  $1+1 = ?$  et parfois 2 dans un processus non-linéaire.

L'allégorie de la rivière polluée pour caractériser l'introduction de la non-linéarité dans l'étude des problématiques de l'environnement montre combien il est nécessaire d'opérer une rupture avec les pratiques intellectuelles fondant les sciences traditionnelles.

L'allégorie est la suivante. Une rivière à l'eau claire est bordée d'arbres sains. Une usine s'installe qui pollue la rivière. Les arbres dépérissent. Pour améliorer leur situation, des travaux sont entrepris pour dépolluer la rivière. Les arbres crèvent.

Un processus linéaire aurait voulu que la dépollution permette que les arbres recouvrent leur vigueur d'antan, mais la non-linéarité du phénomène de pollution sur la santé de ceux-ci a abouti à des conséquences opposées aux objectifs initiaux.

D'un point de vue plus formel un processus est qualifié de non-linéaire quand la dérivée d'une variable par rapport à une autre est non-nulle. Ce point de vue ne rend cependant pas compte de celle qui prévaut dans les sciences de l'environnement. En effet, la non-linéarité en mathématiques ne correspond pas à la non-linéarité qui alimente le discours sur l'environnement. La non-linéarité mathématique est un linéarité de ce dernier point de vue.

La linéarité se fonde essentiellement sur le principe de causalité qui établit que chaque événement a une cause (principe de causalité) et sur une approche déterministe des phénomènes établissant que cette causalité est accessible à l'entendement et que les mêmes causes provoqueront les mêmes effets.

Cette approche a été synthétisée sous le principe de raison suffisante. Ce corpus philosophique définit le paradigme classique.

Toute notre éducation se fonde sur approche linéaire des phénomènes. En effet, le fait de poser un problème quel qu'il soit à un étudiant de 5 ans ou de 25 ans relève toujours de la même démarche. La solution existe et l'étudiant performant doit la trouver à partir de son cours, et si possible vite. C'est ce qu'attend son professeur.

Imaginons la réaction des enseignants si les étudiants se mettaient à répondre aux questions à partir de schémas non-linéaires ? Par exemple: combien de temps mettra la baignoire à se vider ? Réponse: 12 pommes ou "il fait beau".

Toutes nos représentations du réel sont fondées sur des représentations linéaires des phénomènes.

Les dernières évolutions de la science alimentent un discours qui dénonce cette situation et proposent de nouvelles représentations où la non-linéarité s'exprime, notamment dans les phénomènes dissipatifs.

Mais aux auteurs qui dénoncent l'absence de prise en compte de la non-linéarité dans nos pratiques du réel, nous opposons l'idée que certes, ce réel est fait de phénomènes complexes non-linéaires, mais que nous ne savons pas gérer des représentations non-linéaires car notre entendement rencontrerait alors une de ces limites fondamentales.

Cependant, cette non-linéarité bouleverse tous les discours jusqu'alors fondés sur la linéarité. Ainsi, l'anthropologue américain Ian Tattersall, auteur de *L'Émergence de l'homme* (Gallimard, 1999), récuse toute linéarité de l'évolution des espèces et insiste sur les découvertes récentes de fossiles d'hominidés inconnus jusqu'alors.

Selon lui, il faut oublier l'image classique d'un arbre généalogique fait d'un tronc régulier sans branches mortes, qui fait se succéder tous nos ancêtres jusqu'à nous. Il faudrait plutôt imaginer un buisson touffu, avec des branches multiples, dont de nombreuses mortes. *Homo sapiens* aurait alors émergé comme une petite brindille terminale, sans pour autant être au sommet de l'arbre. En fait, il n'y aurait pas eu naissance de l'homme, mais plutôt émergence à la suite d'imprévus et du jeu de hasards et d'adaptations.

Ce discours est dans la droite ligne de la thèse de Jacques Monod exprimée dans *Le hasard et la nécessité*, mais au lieu d'élaborer des théories matérialistes sur l'apparition de la vie et de l'homme à partir de représentations linéaires des phénomènes, les auteurs inspirés par les thèses portant sur la non-linéarité des phénomènes intègrent cette nouvelle conception du réel dans leurs théories, que ce soit en biologie, en physique, en économie, etc.

Le débat est par conséquent largement ouvert sur le dualisme linéarité/non linéarité. Il fonde l'opposition entre le paradigme écosystémique et le paradigme classique et ne peut faire l'impasse sur la notion de hasard. En effet, il existe une identification de fait entre la notion de hasard associée à celle de non-linéarité et celle de déterminisme associée à celle de linéarité. Le hasard est-il alors le produit de notre ignorance, ou est-il consubstantiel à l'évolution de la matière, notamment vivante ?

L'acceptation la plus commune du hasard serait la limite au-delà de laquelle l'esprit humain ne peut plus trouver des causes à toutes les coïncidences des raisons naturelles des phénomènes, comme à leur prédictibilité. Antoine Cournot, un des premiers théoriciens des probabilités, a avancé une définition du hasard proche de celle d'Aristote qui fonde la conception généralement admise.

Pour lui, le hasard est *“la combinaison ou la rencontre de phénomènes qui appartiennent à des séries indépendantes, dans l'ordre de la causalité, [...] ce qu'on nomme des événements fortuits ou des résultats du hasard”*.

Dans le domaine de la physique, avant les controverses suscitées par la thermodynamique des phénomènes dissipatifs, Albert Einstein défendait l'idée d'un hasard par ignorance et Niels Bohr celle d'un hasard par essence. Pour le premier, Dieu ne peut pas jouer aux dés et *“il nous faut admirer humblement l'harmonieuse beauté de la structure de ce monde, dans la mesure ou nous pouvons la saisir”* (1945). Pour le second, au contraire, la mécanique quantique enseigne que *“le hasard est dans l'essence des phénomènes, au niveau de l'infiniment petit”*.



Qu'en est-il dans les sciences de la vie ? Pendant longtemps, l'idée admise était que la diversité et le foisonnement des formes, la variété et l'enchevêtrement des processus ne sauraient longtemps cacher l'ordre de la création voulu par Dieu, ou celui du déterminisme naturel. Lamarck cherche à donner aux processus biologiques des explications physico-chimiques. Dans l'Histoire naturelle des animaux sans vertèbres, il écrit que *“le plan des opérations de la nature à l'égard de la production des animaux est clairement indiqué par cette cause première et prédominante qui donne de la vie animale le pouvoir de composer progressivement l'organisation, et de compliquer et de perfectionner graduellement, non seulement l'organisation dans son ensemble, mais encore chaque système d'organes particuliers, à mesure qu'elle est parvenue à les établir. Or, ce plan, c'est-à-dire cette composition progressive de l'organisation, a été réellement exécutée, par cette cause première, dans les différents animaux qui existent”*. Comme dans les sciences physiques, le hasard n'apparaît tardivement dans le discours sur la vie qu'avec les travaux de Darwin.

La sélection darwinienne opère sur des variations individuelles et héréditaires qui ne sont pas adaptées *a priori* à une situation ou à une fin particulières.

Bien évidemment, ces positions ont suscité de nombreuses controverses que ce travail évoque. Elles sont révélatrices de l'opposition entre les deux paradigmes ou plutôt de la contestation du paradigme classique.

### e: complexité

Considérant la complexité des êtres vivants, Mayr et Simon (1962) définissent « *les systèmes complexes comme étant ceux où l'ensemble est plus grand que la somme des parties, non pas dans un sens ultime et métaphysique, mais dans le sens pragmatique important qu'étant donné les propriétés des parties et les lois de leurs interactions, il n'est pas facile d'en inférer les propriétés de l'ensemble* ». Une telle complexité existe à tous les niveaux depuis le noyau cellulaire jusqu'à la cellule, l'organe, l'individu, l'écosystème. Seul le vivant possède des possibilités de métabolisme variées exigeant la présence d'une énergie fabriquée, parfois mise en réserve, et aussi des pouvoirs de croissance et de différenciation.

La complexité n'a pas échappé aux regards des mathématiciens. Ceux-ci distinguent la complexité aléatoire et la complexité organisationnelle. Déjà, bannissons de ce discours l'identification de complexité à complication. La complexité est un concept opposé à celui de simple qui désigne un objet, -un Etre dans notre terminologie-, organisé, structuré riche en informations. La complexité de Kolmogorov-Chaitin est une complexité descriptionnelle fondée sur la notion d'aléa. On la définit  $K(s)$  comme la longueur du plus court programme qui engendre une suite finie 's'.

Une partition de musique qui alignerait en do majeur une suite de ré d'une même durée est, selon cette approche, d'une complexité inférieure à celle d'une partition d'un compositeur fameux car, le programme engendrant la première partition est plus facile à obtenir que le second. Cependant, un alignement désordonné de notes de durées différentes selon la définition de Kolmogorov-Chaitin serait d'une complexité incommensurable. Pourtant, il est intuitivement perceptible que cela ne serait pas de la musique, mais du bruit. Cette première définition est par conséquent insuffisante. La notion de complexité organisée répond-elle alors à nos attentes ? Celle-ci est identifiée à la profondeur logique de Bennett définie comme le temps de calcul qu'il faut à une machine universelle  $M$  (machine de Turing) pour produire une suite 's' à partir de sa description minimale.

Comme pour la complexité aléatoire, la complexité organisée repose sur l'idée qu'il existe un plus petit comme dénominateur commun dont la taille, la probabilité d'apparition ou le temps de calcul pour l'obtenir détermine la complexité.

Toutes deux sont néanmoins fondées sur une approche algorithmique de la complexité consistant en la description de la plus courte longueur possible d'une séquence finie donnée. Ces approches mathématiques ne rendent donc pas compte de la propriété fondamentale de la complexité qu'est la notion de propriétés émergentes: "*le tout est plus (ou moins) que la somme des parties*". Aussi nous retiendrons désormais que la complexité d'un Etre est fonction du nombre d'éléments (quantité, qualité), du nombre de relations (quantité, qualité) entre ces éléments et de leur densité dans un espace non euclidien. Cette définition qualitative permet d'intégrer le temps et donc l'histoire comme déterminants de la complexité, rejoignant ainsi les enseignements de la thermodynamique des phénomènes dissipatifs qui établit que l'identité d'un système est, non pas la conséquence des causes qui en sont à l'origine (principe de raison suffisante), mais le fruit de l'histoire de son évolution.

Face à la complexification du vivant et particulièrement de leurs systèmes nerveux, de nombreux auteurs ont émis l'idée que le niveau d'entropie ou de production d'entropie est une mesure de sa complexité; celle-ci étant équivalente à l'information que contient l'organisme ou la machine.

Cette relation entropie-complexité-information procède d'une volonté de casser avec l'attitude vitaliste dont les postulats sont encore actifs dans la pensée moderne de la biologie qui établit que les organismes vivants échapperaient aux lois de la thermodynamique. Cette rupture épistémologique a conduit les biologistes à appréhender les phénomènes du vivant à partir de concepts non-vitalistes et de remarquer, par exemple, que la production d'entropie est max pendant la reproduction et la différenciation cellulaire; phases au cours desquelles les processus d'informativité de la matière sont forts.

#### 4: information et complexité

Nonobstant la définition de la complexité que nous proposons, celle-ci a suscité une réflexion de biologistes dont l'approche, jusqu'aux récents développements des mathématiques, était fondée sur une approche qualitative. En effet, les organismes vivants transmettent une information génétique à leur descendance, information génétique, selon la théorie de l'évolution, elle-même produit d'une histoire. La notion de complexité s'appuie par conséquent sur les théories de l'information, qui elles mêmes enrichissent les discours sur la biologie et l'écologie.

L'observation montre que le processus évolutif a conduit à la production d'organismes de plus en plus complexes qui ne seraient, selon les sociobiologistes, que des moyens de transmission de l'information génétique. Celle-ci est portée par la suite des bases A, T, C, G; une suite donnée dans un gène est transmise d'individu en individu le long d'un phylum. La mort des organismes sans descendance stoppe évidemment la transmission de l'information. Aussi, l'adaptation des organismes à leur milieu, en favorisant leur survie et leur reproduction, va dans le sens d'une meilleure transmission de l'information génétique. Pour les biologistes inscrits dans cette approche, ce lien entre l'évolution des êtres vivants et leur autonomie vis-a-vis de l'environnement physico chimique est fondamental. C'est à ce niveau que la théorie de l'information initiée par Claude E. Shannon a suscité des travaux dans les années 1950 à 1970 pour réduire l'étude des structures complexes (biologiques ou non) à la théorie de l'information. Bien que contestée aujourd'hui, les idées émises à partir de ceux-ci continuent cependant de structurer de nombreuses réflexions dans le domaine de l'environnement.

L'un des principaux apports de Shannon réside dans la possibilité de dissocier quantité et signification de l'information: la quantité d'information contenue dans un message peut être mesurée indépendamment de toute référence au sens de ce message. Il y a par conséquent un antagonisme entre un discours sur la biologie: l'écologie, qui souligne l'importance de la diversité dans le vivant, et la théorie mathématique de l'information, qui repose sur une mesure universelle de l'information portée par le matériel génétique. Nous retrouvons encore une fois l'antagonisme fondamental entre des phénomènes diversifiés et des causes de ces phénomènes dont la simplicité est le postulat de base, alors que la physique récente réintègre la complexité en dehors du champ phénoménologique.

C'est à l'aide des concepts issus de la théorie de l'information que les biologistes tentent de comprendre comment l'évolution a pu produire des organismes de plus en plus complexes, alors que l'organisation de l'information génétique est quasiment identique chez toutes les espèces vivantes, mais que les organismes les plus simples sont apparus avant les plus complexes<sup>7</sup>.

La théorie dominante actuellement est issue de l'écologie. Elle envisage l'apparition des organismes complexes comme un effet de coévolution entre les espèces et leurs niches écologiques. Chaque nouvelle espèce rendant plus complexe le milieu dans lequel vivent les autres, favoriserait l'émergence d'espèces plus complexes en réponse. Une espèce donnée ne peut alors exploiter qu'une fraction du milieu qui est alors qualifiée de niche écologique. Une fois une niche "remplie", les possibilités de reproduction dans cette niche deviennent sévèrement limitées, quelles que soient les capacités potentielles de reproduction des organismes concernés. Cette limitation vient de la compétition avec les autres membres de l'espèce qui partagent la même niche.

Une fois que toutes les niches susceptibles d'être occupées par des formes simples le sont effectivement, la sélection naturelle a pu favoriser des formes plus complexes même si, à première vue, elles étaient moins efficaces en termes de reproduction. La capacité à tirer profit des ressources d'un milieu est donc un facteur déterminant de l'évolution et de la complexification des espèces. Celle-ci se réalise sous l'action de la compétition elle-même ou par l'effet de l'hétérogénéité et des changements du milieu.

A la différence des constituants des écosystèmes naturels, un des éléments fondamentaux de l'évolution des écosystèmes artificiels est que ceux-ci modifieraient les milieux dans lesquels ils évoluent pour améliorer cette efficacité.

Les derniers développements de la biologie tentent d'associer les notions d'information, de complexité et de structure, cependant, les théories sur l'information ou sur la complexité achoppent à modéliser les structures vivantes avec la même pertinence que pour le mouvement des orbites dans le domaine de la mécanique céleste. Sommes-nous capables de connaître la complexité algorithmique d'un écosystème, d'un organisme vivant ou d'une partie de cet organisme comme l'œil par exemple ? Pour le moment, la réponse est négative. Cela signifie que la quête d'élégance et de simplicité qui a contribué à l'élaboration du paradigme classique rencontre des limites dans l'élaboration d'un discours sur les structures complexes. Cependant, ce paradigme puissant et éprouvé continue d'alimenter le discours scientifique, qui lui-même est à l'origine des autres discours, notamment dans les sciences et pratiques de l'homme.

Mais que ce soit dans le paradigme classique ou dans le paradigme écosystémique, beaucoup d'auteurs résument l'évolution dans les écosystèmes artificiels ou naturels à une croissance de la quantité d'information présentes dans les gènes et qui déterminerait le niveau de complexité de l'organisme ou dans les cerveaux, les bibliothèques, les machines et tout support susceptible de stocker de l'information. Selon cette approche, il existerait une relation directe entre informations et complexité. L'évolution technique donne de bonnes manifestations de cette évolution.

## 5: le moteur à explosion

La thermodynamique est née de l'étude des moteurs thermiques. Or la fonction essentielle d'un moteur est de convertir de l'énergie potentielle (pouvoir calorifique du bois, du pétrole, etc. et de toutes choses qui se brûlent) afin d'un obtenir un travail exprimé en puissance. Notons à cet effet que la notion de travail est consubstantielles tant aux théories économiques qu'aux sciences physiques.

En mécanique, le travail ( $W$ ) est le produit d'une force ( $F$ ) et d'une distance ( $M$ ):  $dW=F.dM$ . En thermodynamique, la notion de travail ( $W$ ) est associée à celle d'énergie ( $U$ ) et de chaleur ( $Q$ ) dans le premier principe de la thermodynamique:  $U=W+Q$ . Ce principe énonce que le travail et la chaleur sont deux formes de l'énergie. Mais à la différence de la chaleur qui est de l'énergie dissipée, le travail est de l'énergie utilisable à d'autres fins. La thermodynamique s'intéressant aux échanges d'énergie entre systèmes macroscopiques et les milieux dans lesquels ils évoluent, le travail est alors de l'énergie échangée par un système avec l'extérieur sous forme ordonnée.

Les premiers moteurs étaient très simples: une chambre de combustion, un système de bièles, d'échappements permettant de transformer de la chaleur latente en travail et chaleur sensible. Toutes choses égales par ailleurs, les performances des premiers moteurs étaient par conséquent déterminée par leur niveau technologique et l'apport en 'énergie'. Aujourd'hui, comme hier, ce postulat liminaire est encore valable. Plus la quantité de combustible introduite dans la machine était élevé, plus le travail fourni était important, à niveau technologique constant. A ce premier moteur rudimentaire les ingénieurs apportèrent de nombreuses améliorations que nous résumerons par une augmentation de la complexité du système moteur par 'ajout' d'informations dans celui-ci. Cette complexification permet par conséquent d'augmenter les performances de celui-ci et/ou de diminuer les apports en combustible. Depuis quelques années, de plus, les préoccupations environnementales sont intégrées au développement des moteurs conçus à partir des années 1980, afin de diminuer les substances toxiques émises à l'issue du processus de combustion.

L'histoire du développement des moteurs thermiques montre ainsi que l'efficacité de ceux-ci n'a fait que croître en raison des études et de leurs applications. La recherche-développement a donc favorisé leur complexification, qui passe aussi par des étapes de simplification de certains process, avec comme conséquences la libération de ressources primaires favorisant l'extension du moteur, qui de privilège est devenu indispensable à l'immense majorité de la population mondiale.

Ce type de raisonnement s'applique aussi au monde du travail. L'innovation technologique libère des ressources humaines qui investissent d'autres secteurs économiques en développement. En résumé, l'apport informatif aux systèmes, quels qu'ils soient, augmente leur complexité et améliore leurs performances, c'est à dire l'utilisation de ressources naturelles. Nous aboutissons alors à un élément fondamental du paradigme écosystémique fondé sur l'utilisation des flux néguentropiques que sont: l'énergie, l'information, la matière; la croissance de la complexité observée dans le monde naturel ou dans le monde artificiel est une réponse du système pour d'une part augmenter ses chances de survie selon la loi d'énergie maximum de Lotka; diminuer, toutes choses égales par ailleurs, l'entropie de  $S$  et l'exporter afin de ne pas compromettre la stabilité de celui-ci. Ce point sera développé dans quelques lignes.

## D: les résistances du paradigme classique

Une des grandes critiques portée à la thermodynamique moderne est que celle-ci nierait tout déterminisme dans les systèmes et qu'elle est impuissante à comprendre le fonctionnement des structures vivantes. Les développements récents de la théorie du chaos tentent cependant de montrer que déterminisme et irréversibilité ne sont pas incompatibles.

Trois courants de pensée s'opposent alors. Le premier fondé sur les développements de la thermodynamique de Onsager à Prigogine fournit de puissants outils conceptuels pour modéliser le fonctionnement des écosystèmes naturels ou artificiels. Le deuxième conteste ses apports: c'est l'approche classique. Enfin, le troisième tente de concilier deux paradigmes présentés comme irréductibles à travers la théorie du chaos. Aujourd'hui, en effet, si la pertinence de cette thermodynamique des processus irréversibles pour les systèmes physico-chimiques relativement simples n'est pas contestée, il n'en est pas de même de sa transposition à des systèmes complexes comme les écosystèmes naturels ou artificiels

La thermodynamique des phénomènes dissipatifs développée par l'Ecole de Bruxelles dont I. Prigogine est la figure emblématique est un des fondements du paradigme écosystémique que nous élaborons. Cependant, cette physique et ses implications aux structures vivantes ou sociales a suscité de nombreuses controverses.

La première, facile à éluder, concerne la transposition d'une théorie physique en dehors de son champ de compétence. La réponse à cette objection suppose d'admettre que contrairement à une idée courante, les connaissances scientifiques ne se développent pas indépendamment les unes des autres dans chaque discipline. Une multitude d'historiens, de philosophes, d'épistémologues, et de grands savants ont prouvé que la découverte s'inscrit toujours dans un contexte culturel dont elle n'est pas isolée. L'intuition et l'imagination précèdent toujours le raisonnement et la rigueur.

Une autre réponse est que cette thermodynamique s'intéresse justement aux phénomènes vivants et par conséquent aux écosystèmes naturels ou artificiels. Avant son prix Nobel de 1977, I. Prigogine signait un article dans le magazine La Recherche de juin 1972 intitulé: "La thermodynamique de la vie", exprimant bien fort l'ambition de ses travaux. Mais entre les contestations faciles à éluder et les fondamentales, il existe une réflexion développée par J. Tonnelat dont le postulat fondamental est qu'il est incorrect d'interpréter le second principe de la thermodynamique comme un principe d'augmentation du désordre. Celle-ci a comme interrogation l'évolution des êtres vivants qui se fait vers des états de plus en plus ordonnés. Son constat est que toutes les réactions qui se déroulent dans les êtres vivants ont pour effet d'amener les substances en jeu dans un équilibre métastable et de conclure qu'un être vivant est bien un système qui se maintient loin de l'équilibre thermodynamique, mais qu'il n'est pas nécessaire d'invoquer des structures dissipatives. Il admet que ce genre de phénomènes a joué un rôle essentiel dans l'apparition des êtres vivants, se référant en cela à la théorie de I. Prigogine, mais il ne pense pas qu'il est nécessaire de faire appel à leur existence pour expliquer le déroulement des phénomènes fondamentaux observés dans les êtres vivants.

L'évolution vers un état d'équilibre plus stable des systèmes à partir des substances du milieu extérieur ingérées suffit, selon lui, à provoquer des conditions permettant la formation des structures et le fonctionnement des organes.

Sa conclusion cependant rejoint celle de I. Prigogine en identifiant un être vivant à une manifestation locale et temporaire d'un phénomène physico-chimique amorcé il y a plusieurs millions d'années pour aboutir à la diversité que nous constatons aujourd'hui. L'extension de la thermodynamique aux phénomènes sociaux reste pour lui une faute scientifique majeure dont les discours présentent un caractère dogmatique.

Enfin, la contestation fondamentale porte sur le rôle des structures dissipatives et de l'aléa dans les phénomènes de structuration de la matière. Il s'agit là d'un véritable choix ontologique qui relève davantage de la profession de foi que d'une démarche scientifique. L'approche du désordre développée dans le cadre du paradigme classique est à l'origine d'une physique du désordre qui ne fait pas référence aux travaux de l'École de Bruxelles.

La physique développée par cette institution dont de Donder fut le fondateur, introduit dans l'étude de la nature des notions qui jusqu'alors étaient combattues. Au centre de celle-ci se trouvent l'aléa et l'irréversibilité. Mais alors que les membres de cette école y voient une source d'ordre et d'élévation de la complexité, d'autres éminents physiciens ou mathématiciens n'y perçoivent qu'ignorance. Ainsi, Max Born affirmait que *"l'irréversibilité est une conséquence de l'introduction explicite de notre ignorance dans les lois fondamentales de la dynamique"*. Plus récemment, René Thom en 1980 écrivait (Delayahe, 1992, p. 197): *"Affirmer que le 'hasard' existe c'est donc prendre cette position ontologique qui consiste à affirmer qu'il y a des phénomènes naturels que nous ne pourrions jamais décrire, donc jamais comprendre. (...) Le hasard (...) est un concept entièrement négatif, vide, donc sans intérêt scientifique"*.

Ces conceptions du réel et des outils pour le décrire sont révélateurs d'une attitude scientifique qui domine largement la communauté française. Ce paradigme classique historiquement a, en effet, été élaboré en France. La résumer trop brièvement permet cependant de comprendre en quoi le paradigme environnemental-écosystémique que nous forgeons dans ces lignes est un facteur de relativisation du paradigme classique. De Laplace à Poincaré, la tradition scientifique française s'inscrit dans un processus élaboré il y a deux siècles, consacré par les triomphes de la science classique. Ainsi, Henri Poincaré écrit dans 'Science et méthode' publié en 1908 *"Une cause très petite, qui nous échappe, détermine un effet considérable que nous ne pouvons pas ne pas voir, et alors nous disons que cet effet est dû au hasard. Si nous connaissions exactement les lois de la nature et la situation de l'Univers à l'instant initial nous pourrions prédire exactement la situation de ce même Univers à un instant ultérieur.*

*Mais, lors même que les lois naturelles n'auraient plus de secret pour nous, nous ne pourrions connaître la situation initiale qu'approximativement. Si cela nous permet de prévoir la situation ultérieure avec la même approximation, c'est tout ce qu'il nous faut, nous disons que le phénomène a été prévu, qu'il est régi par des lois; mais il n'en est pas toujours ainsi, il peut arriver que de petites différences dans les conditions initiales en engendrent de très grandes dans les phénomènes finaux; une petite erreur sur les premières produirait une erreur énorme sur les derniers. La prédiction devient impossible et nous avons le phénomène fortuit"*.

Comparons cette phrase à celle de Laplace, rédigée un siècle avant, dans "Essai philosophique sur les probabilités" (1814) *"Tous les événements, ceux mêmes qui par leur petitesse semblent ne pas tenir aux grandes lois de la nature, en sont une suite aussi nécessaire que les révolutions du soleil. Dans l'ignorance des liens qui les unissent au système entier de l'univers, on les a fait dépendre des causes finales, ou du hasard, suivant qu'ils arrivaient et se succédaient avec régularité, ou sans ordre apparent; mais ces causes imaginaires ont été successivement reculées avec les bornes de nos connaissances, et disparaissent entièrement devant la saine philosophie, qui ne voit en elles que l'expression de l'ignorance où nous sommes des véritables causes.*

*Les événements actuels ont avec les précédents une liaison fondée sur le principe évident, qu'une chose ne peut pas commencer d'être, sans une cause qui la produise. Cet axiome, connu sous le nom de principe de la raison suffisante, s'étend aux actions mêmes que l'on juge indifférentes. La volonté la plus libre ne peut sans un motif déterminant leur donner naissance; car si, toutes les circonstances de deux positions étant exactement semblables, elle agissait dans l'une et s'abstenait d'agir dans l'autre, son choix serait en effet sans cause: elle serait alors, dit Leibniz, le hasard aveugle des épicuriens. L'opinion contraire est une illusion de l'esprit qui, perdant de vue les raisons fugitives du choix de la volonté dans les choses indifférentes, se persuade qu'elle s'est déterminée d'elle-même et sans motifs. Nous devons donc envisager l'état présent de l'univers comme l'effet de son état antérieur, et comme la cause de celui qui va suivre. Une intelligence qui pour un instant donné connaîtrait toutes les forces dont la nature est animée et la situation respective des êtres qui la composent, si d'ailleurs elle était assez vaste pour soumettre ces données à l'analyse, embrasserait dans la même formule les mouvements des plus grands corps de l'univers et ceux du plus léger atome: rien ne serait incertain pour elle, et l'avenir, comme le passé, serait présent à ses yeux”.*

Laplace et Poincaré, par leurs travaux et leurs réflexions, alimentent ce paradigme classique dans lequel il y a irréductibilité entre la réversibilité des lois de la dynamique et l'irréversibilité des milieux dissipatifs suffisamment complexes. La manifestation d'une extrême sensibilité des trajectoires de l'espace des phases par rapport à leurs conditions initiales, a permis de définir un temps microscopique à partir duquel on peut construire des fonctionnelles non linéaires de l'état statistique, caractérisées par une croissance monotone au cours de l'évolution et qui lèverait cette irréductibilité qui ne serait qu'apparente (Glansdorff, Grecos, universalis, 8-480, 1995).

Cette perquisition du désordre a conduit à d'autres développements que la thermodynamique des phénomènes dissipatifs dont les concepts mathématiques de chaos déterministes, de fractales, d'attracteurs étranges sont utilisés par les physiciens pour analyser les états désordonnés de la matière et trouver cet ordre caché qui se dissimule. Dans le paradigme classique, ce désordre ne serait qu'apparence et masquerait l'ordre naturel que la science a pour mission de révéler. Le désordre ne serait alors que la manifestation de notre ignorance sur le système. L'entropie d'un système, selon C. Schannon est alors définie comme l'information manquante.

Face à ces développements déterministes de la théorie du chaos, un attracteur, selon l'Ecole de Bruxelles, correspond à une structure d'auto-organisation qui émerge grâce à une instabilité rompant la symétrie et dote le système d'une propriété collective qui transcende les propriétés des sous-unités individuelles (Nicolis, 1992, p. 183); autrement dit, le tout est plus que la somme des parties. L'admission du désordre dans le paradigme classique n'a cependant pas remis fondamentalement en cause ses fondements. Ainsi, la notion de chaos déterministe associe paradoxalement deux termes contradictoires que sont le mot chaos qui évoque une situation où toute prévision est impossible et le mot déterminisme qui lui suggère que le futur est prédictible. Selon les physiciens favorables à une approche du désordre par des théories fondées sur le chaos déterministe, certains systèmes, bien que régis par des lois déterministes peuvent avoir un comportement chaotique. Cependant ce chaos se greffe en quelque sorte sur une base déterministe, causale, alors que l'approche de l'Ecole de Bruxelles est de démontrer qu'en situation de chaos, aucun déterminisme n'est envisageable.

Aussi deux attitudes s'opposent, celle avancée par I. Prigogine, qui accusé de glorifier le désordre répond: *“Je suis persuadé que nous avons besoin à la fois de schémas déterministes et de schémas aléatoires”*, alors qu'un Ivar Ekeland, mathématicien français, affirme que: *“Le déterminisme des lois naturelles n'exclut pas la fantaisie, le fortuit, l'imprévisible”*. Ce hasard, ces monstres, ces incongruités ne sont pas des réalités durables, simplement des exceptions à l'ordre naturel.

Cependant, les débats soulevés par la physique du désordre sont actuellement bien vivants. Encore faut-il prendre conscience des deux paradigmes dominants qui s'affrontent. Le paradigme classique est à l'origine de la science moderne née au XVIème siècle. Ses succès sont innombrables. Pourtant, celui qui émerge actuellement et malgré de nombreuses résistances idéologiques nourrit désormais une partie de la physique. Le désordre conçu comme une caractéristique de la matière, à part entière, en est le fondement. La physique française, pour autant n'a pas abandonné l'ambition première de la philosophie naturelle moderne dont elle a établi les fondements épistémologiques et les méthodes au tournant des 18 et 19ème siècle.

## E: les conséquences philosophiques de la thermodynamique des phénomènes dissipatifs

La thermodynamique des phénomènes dissipatifs réenchante un monde qui redevient créateur de son futur. Nous sommes très loin alors de la description déterministe de la nature, présentée comme un automate sur lequel le temps n'aurait pas d'effet.

### 1: la conception du temps

L'émergence du second principe a joué un rôle essentiel dans l'interprétation philosophique des concepts fondamentaux de la science. Il a ébranlé le paradigme classique de la science dont la Mécanique constituait le succès le plus évident. Rappelons que Le Verrier (1811-1877), par le calcul, découvrit en 1846 la planète Neptune et frappa l'imagination du grand public en montrant la puissance de la science fondée sur l'analyse mathématique. Ces succès contribuèrent au cours du XIXe siècle, dans la mesure où ils firent de la mécanique l'archétype des sciences expérimentales, sources de toute action technique efficace, à identifier "science" et "mécanique". Le paradigme mécaniste classique a alors dominé l'ensemble des champs du savoirs et des pratiques du monde occidental, et a irrigué toutes les sciences qu'elles soient de la nature ou humaines.

Cependant, à cette Mécanique fondée sur des lois d'une Nature immuable est opposée une thermodynamique qui s'intéresse aux phénomènes 'désordonnés'.

Henri Bergson considérait le second principe comme la plus « métaphysique » des lois de la nature, et A. Eddington associait l'entropie à la flèche du temps. Une question fondamentale fut alors de réconcilier le concept d'irréversibilité exprimé par le second principe avec les lois de la Mécanique (classique ou quantique). Les travaux fondamentaux de L. Boltzmann y contribuèrent, mais le paradigme dans lequel il évoluait était encore le paradigme classique. Ainsi, le temps n'affecte pas l'évolution des systèmes en mécanique, alors que les développements de la thermodynamique ont montré que la propriété d'invariance des lois de la dynamique par rapport au renversement du temps disparaît sous certaines conditions (I. Prigogine, 1972). Le non-équilibre thermodynamique et les situations d'irréversibilité qu'il induit conduisent à des ruptures de symétrie et rendent le système inhomogène. Dès lors, les régions qui diffèrent par leur composition deviennent, en général, le siège d'évolutions distinctes. On voit apparaître ainsi progressivement dans le cadre de la description thermodynamique une dimension historique du temps, imposée par l'ordre de succession des structures.

La conception du temps à laquelle conduisait la mécanique classique ou quantique est bouleversée par la thermodynamique. Alors que le temps est un élément neutre dans l'évolution des systèmes décrits à partir des lois et modèles de la Mécanique, il en est l'élément fondamental dans la thermodynamique.



Comment, dès lors, réconcilier la réversibilité fondamentale exprimées par des lois de la nature issues du paradigme classique avec l'irréversibilité observée à l'échelle macroscopique ? Les mathématiques fourniront-elles le langage apte à réaliser cette ambition ?

## 2: les limites de l'analyse mathématique

Le nouveau programme de physique de 1ere S, diffusé aux enseignants pour la rentrée de septembre 2001, comprend en introduction du chapitre "Qu'est ce que la physique Science de la nature: "Les mathématiques jouent un rôle plus profond en physique que dans les autres sciences: "Le grand architecte semble être mathématicien". Malgré cette profession de foi destinée aux pasteurs de la science classique, cette mathématique a fait l'objet d'une profonde remise en cause au cours du vingtième siècle.

Ainsi, la thermodynamique, bien que construite sur la base d'un formalisme mathématiques rigoureux, fragilise la prééminence du discours mathématique dans la science. En effet, si l'on considère que la caractéristique épistémologique fondamentale de la science classique est la substitution du quantitatif et du géométrique aux qualités aristotéliennes, la science moderne peut être comprise comme une reprise de l'ambition platonicienne d'accéder à la structure intelligible, essentiellement mathématique, du réel. C'est d'ailleurs, dans la continuité d'une tradition authentiquement platonicienne, que Galilée affirme, dans un célèbre passage, la structure géométrique de l'univers: "Il est écrit dans la langue mathématique et ses caractères sont des triangles, des cercles et autres figures géométriques, sans le moyen desquels il est humainement impossible d'en comprendre un mot". L'idée que les mathématiques, expression de la perfection, sont tout à la fois le langage et le chemin qui mène droit aux lois naturelles d'un monde parfait et intelligible que Dieu a créé, est un postulat incontournable de la science classique. Ces mathématiques se sont révélées particulièrement efficaces pour décrire le mouvement des astres, domaine de Dieu. Or, tant les mathématiques récentes que les sciences physiques, pourtant fondées sur l'analyse mathématiques relativisent l'ambition du discours mathématique.

Ainsi, un ensemble de théorèmes déterminent l'espace de compétences des mathématiques pour favoriser la résolution algébrique de systèmes d'équations.

On citera le théorème de Galois-Abel établissant que les équations générales de degré 5 n'ont pas de solution; le théorème de Fontené-Rouché sur les conditions de résolution des systèmes de  $n$  équations à  $x$  inconnues; les conditions d'intégrabilité des systèmes de Poincaré et d'autres qui en définissent un espace de compétence. Ces mathématiques déterminent les conditions de recherche de solutions explicites à toutes les organisations d'équations.

Cette limite des mathématiques à appréhender le réel fut particulièrement bien exprimée par la théorème de Gödel et celui de Chaitin qui le prolonge. Aussi, pour paraphraser J.P. Delahaye, il est légitime de s'interroger sur le champ de compétence d'une science dont le vingtième siècle a tué les espoirs nés au cours des dix-huitième et dix-neuvième siècle: "La science du XXe siècle vient de découvrir ses propres limites. Le principe d'incertitude impose des bornes à la notion de mesure. Les résultats démontrés depuis 1930 en mathématiques sur l'impossibilité de certaines démonstrations pourraient assigner une limite à la pensée elle-même" (Delahaye, 1988).

Les mathématiques se révéleraient par conséquent impuissante à rendre compte de certains aspects d'une réalité postulée, confortant en cela l'école formaliste qui nie le caractère ontologique de la réalité mathématique.

Cette position est relayée par les sciences phénoménologiques qualitatives montrant que tous les systèmes organisés répondent aux pressions du milieu dans lequel ils évoluent pour s'y adapter. Ce constat remettrait par conséquent en cause le schéma kantien qui établit que, à la différence de l'entendement qui conceptualise et établit des relations entre des phénomènes (observation, faits), la raison comporterait intrinsèquement les éléments à l'origine des mathématiques. Par extension ce réel accessible par les mathématiques issues elles-mêmes de la raison et de ses noumènes (catégories *a priori*) serait déterminé par les données de cette raison que les mathématiques expriment.

Aussi, aux philosophes qui affirment que l'homme fabrique le réel, les kantien opposent l'idée d'un réel immanent que nous posséderions et que l'histoire des mathématiques révèle. Nous retrouvons dans ce débat l'opposition entre les mathématiciens comme J. Fourier pour qui: *"l'étude approfondie de la nature est la source la plus féconde des découvertes mathématiques"*, mais auxquels répondent d'autres mathématicien comme Jacobi pour qui: *"le but unique de la science, c'est l'honneur de l'esprit humain et que, sous ce titre, une question de nombres vaut autant qu'une question de système du monde"*.

La relation entre mathématiques et physique est aussi révélatrice de la capacité inductive de ces premières dans l'élaboration des théories de la physique.

Or si cette raison est incapable d'opérer des relations mathématiques entre des variables en rapport non-linéaires, c'est que celle-ci ne posséderait pas la capacité à le faire. Les scientifiques dits classiques en avaient donc conclu que si le réel est conçu à partir de noumènes et que celles-ci participent à l'élaboration de lois simples, causales et déterministes, c'est que le réel est simple, causal et déterministe, malgré une apparence complexe, voire désordonnée. Cette divergence d'approche avait déjà animé les grecs opposant un réel intelligible (mythe de la caverne de Platon) à un réel sensible (approche aristotélicienne). La science dite classique moderne fondée par l'association de l'observation et de l'entendement vise à décrypter ce réel, mais en postulant qu'il est fait de lois simples.

Thermodynamique, physique quantique, biologie, sciences de l'homme, etc. ont contribué à une remise en cause de ce postulat. Force est d'admettre toutefois que l'idéal scientifique est d'aboutir à des représentations simples du réel.

Mais par une extrapolation audacieuse, nous assimilons ces représentations simples à ce réel, d'où les difficultés posées aux environmentalistes qui constatent que les problématiques ne relèvent pas de phénomènes linéaires et qu'il est difficile de les exprimer à travers les schémas traditionnels de la science moderne, mais sans pour cela disposer ou avoir la faculté de créer des outils efficaces pour le faire. Or, l'environmentaliste est confronté à des problématiques pratiques dont l'homme en tant que sujet est l'objet. Ainsi la complexité dont nous avons évoqué l'approche mathématique se révèle irréductible à celle-ci, est fondée sur une approche structurelle qui ne rend pas compte des propriétés émergentes des systèmes complexes. Ces mathématiques, comme toute la science, opposent deux courants irréductibles sur les fondements de leur science: les formalistes et les structuralistes. Pour les premiers, les mathématiques sont une construction de l'esprit sans lien avec le réel, alors que pour les seconds elles sont l'expression d'un réel. La réponse à cette problématique qui hante la philosophie depuis qu'elle existe relève davantage de la profession de foi que de l'analyse scientifique.

Ce débat est permanent dans le discours scientifique et ne sera jamais clos. En revanche, établir les limites cognitives de l'esprit humain dans sa capacité à établir des représentations du réel est une question fondamentale pour l'environmentaliste confronté à la complexité et à la non-linéarité. De toute évidence, la capacité à utiliser les mathématiques est bornée par nos capacités cognitives.

D'où une interrogation essentielle: comment représenter un réel à partir des nouveaux paradigmes ? Pour le moment, nous postulons être obligé de revenir à une approche qualitative, littéraire, pour préciser les concepts et réorganiser leurs relations.

Rappelons pour soutenir cette démarche, qu'à l'issue de ses expériences de 1804 sur la propagation de la chaleur dans un barre métallique, Joseph Fourier (1768-1830) écrivit la "Théorie analytique de la chaleur" en recourant à l'analyse mathématique, particulièrement pour l'étude des phénomènes thermiques. A la même époque (1824) Sadi Carnot publie le résultat de ses réflexions dans "Réflexions sur la puissance motrice du feu et sur les machines propres à développer cette puissance". Mais alors que J. Fourier utilise un arsenal mathématique qu'il invente en partie (séries de Fourier), S. Carnot renonce à l'analyse mathématique pour rendre compte de ses travaux. L'approche qualitative n'est pas inférieure à l'approche quantitative. Elles sont complémentaires. L'économie est un champ exemplaire de confrontation de ces deux approches de phénomènes.

Une critique plus pertinente permet de plus de déterminer l'espace de compétence des mathématiques. Cela suppose cependant de distinguer dans quel paradigme nous évoluons. Le paradigme classique postule que tous les phénomènes tendent vers des situations d'équilibre et que par conséquent ce qui apparaît être du désordre n'est que la manifestation des limites de l'esprit humain. Comme nous avons tenté de le montrer l'approche du chaos dans le cadre de ce paradigme suppose l'existence d'un ordre 'caché' qui est à exprimer. Sur ce point, il n'y a rien de nouveau depuis les grecs. L'élaboration de modèle à partir du paradigme classique se prête bien à l'utilisation des mathématiques, car celles-ci sont particulièrement aptes à décrire des situations idéales d'équilibre. Or, le paradigme écosystémique postule que le désordre n'est pas un épiphénomène du comportement de la matière ou encore l'expression de nos incapacités cognitives, mais un caractéristique de la matière sous toutes ses manifestations. Donc, l'aléa dans ce cadre se révèle irréductible aux mathématiques et en particulier à l'analyse statistique non pas par carence de ces outils et de ceux qui les utilisent, mais parce que ces phénomènes sont inaccessibles à quelques langages que ce soient. En outre, les récents développements des mathématiques et notamment leur relations avec les capacités cognitives de l'esprit humain montrent que leur compétence se révèle limitée.

Aussi, par manque de temps, de technique et sur le fondement de choix épistémologiques, nous préférons nous concentrer sur les concepts et leurs rapports plutôt que sur l'utilisation d'une sémantique non maîtrisée. L'histoire des sciences montre heureusement que l'innovation scientifique, c'est-à-dire l'élaboration de discours ou de modèles non encore exprimés, n'impose pas le recours aux mathématiques. Simplement la rigueur qu'elles imposent oblige de préciser les concepts et leurs relations qu'une approche qualitative a permis d'élaborer.

Finalement nous concluons cet immixtion en épistémologie des mathématiques en soulignant que celles-ci se révèlent très efficaces dans la relation discours-réel pour les situation d'équilibre thermodynamique, mais que les situations de non-équilibre étant à l'origine et dues à des phénomènes non-linéaires sont difficiles à exprimer par un langage mathématiques comme par tout autre langage d'ailleurs. Aussi nous optons pour l'utilisation du mot loi pour les situation d'équilibre thermodynamique et le mot modèle pour les situations de non-équilibre.

Il serait par conséquent sage de supprimer le signe 'égal' des modèles si ceux-ci servent à formaliser la description de situation de non-équilibre où se produisent des phénomènes non-linéaires. Apparaît alors la complexité dont une des caractéristiques est la capacité à produire des propriétés émergentes irréductibles aux constituants du système. Notons d'ailleurs que les économistes classiques ont créé la notion d'élasticité pour exprimer l'absence d'égalité entre deux ou plusieurs variables quels que soient les paramètres et constantes qui leur sont associés.

## V: Paradigme classique et paradigme écosystémique

### A: introduction

Le chapitre sur les ‘sciences de l’environnement’ nous a permis d’entrevoir comment ces disciplines participaient à la formation d’une nouvelle manière d’entendre le réel. Or, ces sciences permettent aux plus audacieux de postuler que ce réel, hormis les données sensibles que nous en recevons -les phénomènes-, n’est qu’une construction élaborée à partir de nos outils de communication dont les langages, quels qu’ils soient, sont les pièces maîtresses. Ainsi, à une pensée qualifiée de classique est opposée désormais une pensée systémique. L’une et l’autre sont structurées à partir de deux paradigmes que nous avons déjà évoqués: le paradigme classique et le paradigme écosystémique.

Le rapide parcours sur les sciences de l’environnement a permis d’exprimer des notions fondamentales du paradigme écosystémique. Nous allons désormais les rappeler et montrer en quoi elles s’opposent à celles structurant le paradigme classique. Puis à partir d’éléments incontournables de ce paradigme écosystémique, nous bâtirons une grille de lecture des écosystèmes naturels ou artificiels, sous forme de principes, pour ensuite, dans les chapitres suivants, apposer cette grille à des interrogations contemporaines sur les phénomènes économiques comme la valeur, la monnaie ou les phénomènes d’exclusion sociale. Auparavant, il est nécessaire de préciser ce que recouvre le mot paradigme.

### B: le paradigme

La notion de paradigme est peu répandue dans la littérature scientifique française alors que la référence à ce mot est régulière dans la littérature anglo-saxonne. Cela ne signifie pas qu’il n’existe pas d’études ou d’ouvrages sur ce concept, mais sa notoriété est limitée à ceux qui en font un objet d’étude. Le paradigme classique serait si bien intégré dans la culture française qui l’a formalisé par les réflexions de Laplace et d’Auguste Comte, que nos auteurs n’envisagent pas que d’autres paradigmes participent à l’élaboration de discours en rupture avec ceux forgés à partir des éléments du paradigme classique. La structure de ce texte reposant sur l’articulation entre le paradigme classique et le paradigme écosystémique, il est souhaitable de saisir l’histoire de ce mot.

Plusieurs conceptions s’opposent. Ainsi, sa première signification est issue de l’œuvre de Platon et a alors un sens pédagogique et propédeutique : le paradigme est l’objet «facile» sur lequel on s’exerce avant de traiter d’un objet ressemblant au premier, mais plus difficile.

Est paradigme ce que l’on montre à titre d’exemple. Mais, l’historien des sciences et épistémologue Thomas Kuhn utilise à son tour le terme de paradigme d’une manière originale pour rendre compte de la manière dont se développent les sciences. Dans son ouvrage sur la Structure des révolutions scientifiques (traduction française, Paris, 1972), il caractérise comme paradigme de la science à une époque donnée un ensemble de convictions qui sont partagées par la communauté scientifique mondiale.

Le paradigme est alors l’unité de base qui permet d’élaborer des épistémologies, discipline qui porte sur l’étude des paradigmes que Th. Kuhn définit comme *“les règles admises et intériorisées comme “normes” par la communauté scientifique à un moment donné de son histoire pour délimiter et problématiser les faits qu’elle juge dignes d’étude”*. Jean Piaget, lui, préfère la définir comme *“l’étude de la constitution des connaissances valables”*.

L'épistémologie est ainsi la synthèse de la philosophie dans sa mission de créer et d'organiser des concepts, et de l'histoire. Car à la différence de la philosophie qui est intemporelle, l'épistémologie s'intéresse à l'évolution des connaissances et de leurs fondements.

Le paradigme qui est en l'organon' s'inscrit donc dans une perspective temporelle. Enfin, il est difficile d'ignorer l'œuvre de Michel Foucault qui dans sa recherche sur l'archéologie des savoirs a abouti à mettre en lumière les épistèmes.

De cette approche nous élaborons une conception du paradigme qui aboutit à la définition suivante: *“un paradigme est un ensemble de propositions irréductibles, non démontrables et admises comme vraies qui participent à la construction d'un ou de plusieurs discours”*. Cette définition du paradigme oblige de définir à leur tour les mots propositions et discours.

La notion de proposition suppose comme préalable la détermination d'une binarité d'antagonismes qui obligent à opérer un choix sur la base de cette polarité. Prenons un exemple simple pour illustrer cette assertion. Le temps est-il circulaire ou linéaire ? Depuis longtemps, on oppose la conception linéaire du temps qui serait le choix de la civilisation occidentale à un temps circulaire pour lequel auraient opté les civilisations asiatiques. Les discours construits sur ces notions opposées du temps sont incommensurables comme d'ailleurs les ouvrages d'épistémologies ou de philosophies qui traitent de cette différence et de ses conséquences sur l'élaboration de discours, de pratiques ou de religions. La conception du temps est fondamentale dans l'élaboration de discours, mais à un moment elle oblige à opérer un choix dans l'alternative opposant un temps circulaire à un temps linéaire. Cependant, paradigme classique et paradigme écosystémique reposent sur le choix d'un temps linéaire: le temps occidental.

L'exemple du temps montre que l'on ne peut pas, dans la civilisation occidentale, retenir à la fois l'une et l'autre polarité antagoniste comme fondement d'un discours quel qu'il soit. Il faut en retenir une et exclure l'autre. Proposition ou postulat, le mot importe peu, ce principe d'un choix épistémologique préalable a comme origine les mathématiques élaborées à partir des postulats euclidiens et notamment à partir de celui qui établit qu'une assertion et son contraire ne peuvent être vraies simultanément (principe de non-contradiction). Toute la conception intellectuelle du monde qui prévaut en Occident repose sur ces postulats niant la possibilité d'antinomie; approche que les civilisations orientales n'ont pas éludé avec notamment la figure du Ying et du Yang, exprimant que le tout est fait d'opposition et d'harmonie.

L'élaboration d'un paradigme se fait donc à partir de choix sur des problématiques fondamentales sous forme d'antagonismes irréductibles: exemple le temps linéaire ou circulaire, qui aboutissent à des propositions: exemple, le temps est linéaire. L'ensemble des propositions admises et intériorisées par ceux chargés d'élaborer des discours constitue un paradigme. Ces paradigmes nourrissent alors toutes les composantes de la noosphère et les débats qu'ils suscitent. Le rôle de l'épistémologue n'est, selon notre conception, pas de participer à ces débats, mais d'identifier les propositions irréductibles à l'origine des discours qui en créent les conditions et d'apprécier leurs évolutions.

---

### 1: le paradigme flou

Cependant, le risque de créer des discours très précis est d'amputer ces paradigmes d'une part importante de leur incertitude, donc de leur potentiel d'innovations conceptuelles.

Introduire la notion de paradigme flou, comme celle de 'limites floues' dans les nouveaux concepts, exprime la volonté de montrer que ceux-ci varient en permanence et que nous évoluons dans une conception floue, ce qui signifie que nous savons qu'il y a une frontière, mais qu'à vouloir trop la préciser on s'enfoncé dans l'erreur.

C'est pourquoi, j'avais retenu la notion d'impressions pour le titre de l'ouvrage sur le concept d'environnement<sup>1</sup>; donc un langage très opposé à celui des mathématiques<sup>2</sup>.

Une sorte de principe d'incomplétude s'appliquerait donc à toutes choses que ce soit en physique ou en épistémologie. Les poètes ne jouent-ils pas sur l'ambivalence conceptuelle des mots pour créer des perspectives ignorées, sachant que plus on veut avoir d'informations sur une partie de la structure ou de la dynamique d'un système, plus on perd d'informations sur le reste du système, basculant alors d'une approche holiste à une approche réductionniste. C'est la critique principale portée par la pensée systémique complexe à la pensée classique réductrice.

Cette volonté de renouer avec une pensée du tout est exprimé par de nombreux auteurs. Les uns vont mettre en avant le holisme ou l'écologie globale, d'autres la complexité ou la synthèse. On croise les frères Odum, Wladimir Vernadsky, Paul Duvigneaud, Edgar Morin et d'autres qui refusent la dictature de la pensée réductionniste et souhaitent qu'elle soit associée à la pensée globale. Ce débat est essentiel en pédagogie de l'environnement et permet de situer les enjeux.

## 2: deux paradigmes: deux pédagogies

Les pédagogues de l'environnement résument cette ambiguïté par l'opposition entre deux méthodes pédagogiques (Tissier, 1998). L'une relève du paradigme classique, la méthode pédagogique est alors qualifiée d'analytique; l'autre du paradigme écosystémique, la méthode pédagogique est alors dite systémique.

Dans son ouvrage "Education, formation, environnement" Bernard Tissier a résumé les principes différences entre l'approche classique analytique et l'approche systémique.

Approche classique analytique / Approche systémique

Isole: se concentre sur les éléments / Relie: se concentre sur les interactions entre les éléments

Considère la nature des interactions / Considère les effets des interactions

S'appuie sur la précision des détails / S'appuie sur la perception globale

Modifie une variable à la fois / Modifie des groupes de variables simultanément

Indépendante de la durée; les phénomènes étudiés sont considérés comme réversibles / Intègre l'irréversibilité

Modèles précis et détaillés, mais difficilement utilisables dans l'action / Modèles insuffisamment rigoureux pour servir de base aux connaissances, mais utilisables dans la décision et l'action.

Approche efficace lorsque les interactions sont linéaires et faibles / Approche efficace lorsque les interactions sont non linéaires et fortes

Conduit à un enseignement par discipline / Conduit à un enseignement pluri- et transdisciplinaire.

Conduit à une action programmée dans son détail / Conduit à une action par objectif

Connaissance des détails, buts mal définis / Connaissance des buts, détails mal définis

Cependant, cette conception pédagogique de l'environnement contrarie une pratique scolaire et universitaire fondée sur la spécialisation des savoirs. A l'issue d'une enquête menée en 1992, l'inspection générale de l'Education nationale qualifiait la pédagogie de l'environnement: " *...une éducation atypique qui pâtit d'être située au carrefour de contradictions multiples..*".

Cependant, les débats suscités par l'opposition entre pédagogie analytique et pédagogie systémique ont comme fondement le rôle de la complexité et nos capacités cognitives à la saisir et à l'exprimer. Or, là est le paradoxe, car alors qu'il est admis que l'esprit est capable de saisir la complexité notamment par l'intuition, l'expression de cette complexité-intuition est plus délicate car elle passe toujours par des modes de communication fondés sur la linéarité, que ce soient la parole, l'écrit ou l'audio-visuel. Les CD multimédias tentent de surmonter cette contrainte par des renvois à d'autres écrans, recréant ainsi le mode fonctionnement du cerveau, mais cette ambition est toujours limitée par l'outil informatique fondé sur la linéarité-binarité. Ainsi, nos capacités cognitives nous permettraient de saisir la complexité par l'intuition et d'agir, mais pas d'exprimer ce cheminement. Or, la philosophie qu'elle quelle soit n'existe que par la communication, donc la linéarité du discours.

Nous sommes alors confrontés à un des obstacles principaux que rencontrent les environmentalistes; celui d'exprimer et d'agir à partir de leurs intuitions sur la complexité mais avec des discours et des pratiques linéaires. Le succès du paradigme classique est que prenant acte de la nécessité réductionniste de nos discours et de nos pratiques, il postule un réel réductible. Or, la pensée environnementale et le paradigme écosystémique contestent la pertinence absolue de cette démarche, sans pour cela nier ou ignorer son efficacité. Il est indéniable cependant que les efforts de recherche entrepris pour perfectionner la pédagogie du complexe, du système sont loin d'être terminés. Nonobstant la nécessité d'investissements renouvelés, cette approche heurte quand elle n'est pas combattue par le prosélyte de la pédagogie analytique issue du paradigme classique.

### C: éléments du paradigme classique

Au début du vingtième siècle les physiciens étaient presque unanimes à admettre que les lois de l'univers étaient déterministes et réversibles. Le principe de raison suffisante énoncé par Leibniz exprime cette ambition.

Les processus qui n'entraient pas dans ce schéma semblaient n'être que des exceptions, de purs artefacts consécutifs à la complexité, laquelle n'aurait été en soi qu'une conséquence de notre ignorance ou une faille dans notre relation aux données sensibles. Aujourd'hui, nombreux sont ceux à penser que nombre de processus fondamentaux qui modèlent la nature sont irréversibles et stochastiques; que les lois réversibles et déterministes ne concerneraient finalement que des systèmes bien particuliers en équilibre thermodynamique ou assimilable à une telle situation. Ce débat est nourri. A des scientifiques comme I. Prigogine qui affirme que le désordre est une condition de l'apparition de l'ordre (des structures dissipatives) et que le temps est intimement lié à ces processus (notion d'irréversibilité), supposant des limites au connaissable, l'immense majorité des scientifiques sont toujours à la recherche de lois de la nature (représentations linéaires), même si l'extension de la notion de modèle manifeste un doute sur cette ambition. Loi naturelle ou modèle, le débat ne sera sans doute jamais clos. Cependant, la force du paradigme classique est qu'il est performant pour élaborer des pratiques linéaires. Son association avec les sciences de l'ingénieur, fait unique dans l'histoire des grandes civilisations comme l'ont montré de nombreux historiens ( les découvreurs) conforte en cas de succès de nombreux discours de philosophie naturelle. Cette association entre science classique et sciences de l'ingénieur s'exprime en France dans l'organisation des grandes Ecoles, fondées pour l'essentiel à l'époque du triomphe du paradigme classique et dont leurs membres ont assuré la diffusion. Elle s'oppose cependant à l'attitude anglo-saxonne qui elle est fondée sur l'empirisme. Les sciences de l'ingénieur ne sont alors que l'ensemble des savoirs pratiques validés par une succession de succès et d'échecs.

Aussi, ce paradigme classique est moins actif hors de France, ce qui a peut-être permis l'émergence d'une physique qui eut du mal à convaincre les physiciens français. Pensons particulièrement à la relativité restreinte ou générale, à la physique quantique et bien évidemment à la thermodynamique des structures dissipatives. Il est vrai que Descartes, philosophe français, est à l'origine d'un des premiers postulats du paradigme classique: la dissociation entre l'objet pensé et le sujet pensant.

---

## 1: relations sujet/objet

L'histoire des sciences montre que l'innovation scientifique s'inscrit toujours dans un contexte où la personnalité de leur créateur est déterminante, mais qu'elle est néanmoins l'aboutissement d'une évolution créant les conditions de l'émergence d'un nouveau discours dans la noosphère. Un des enseignements de l'écologie est la notion de convergence écologique, montrant que la forme d'un organisme est la résultante d'une niche écologique. Cependant, l'innovation même si elle est nécessaire, est toujours portée par un innovateur. Dans l'ouvrage *Symphonie n°6* j'avais naïvement tenté de montrer que mes innovations n'étaient pas dissociables du parcours de Frédéric Malaval. Or, ce n'est pas du tout dans l'esprit français de 'nombriliser' son discours. L'esprit, la raison et ses créations doivent être indépendants de notre organisme, de notre histoire, de notre génétique, de notre inconscient et de toutes sortes de choses qui altéreraient la pureté de nos discours. En soulignant ce point qui choquera sans doute de nombreux lecteurs, je veux montrer que cette approche est typiquement issue du paradigme classique qui isole un objet de son entourage et l'étudie indépendamment du milieu dans lequel il évolue. Cette dissociation totale entre l'objet pensé et le sujet pensant trouve son origine dans le *cogito* de Descartes, l'objet étant par essence intelligible. Au contraire le paradigme écosystémique postule qu'un objet n'est jamais isolé de son milieu et que l'un et l'autre interagissent en permanence.

Toute la philosophie développée au cours des dix-neuf et vingtième siècle est alimentée par des auteurs d'origine diverses qui ébranlent les propositions du paradigme classique. Ainsi, nous préférons utiliser le mot discours que les termes de lois pour développer nos thèses. Un discours est toujours issu d'un contexte. Par conséquent, il change, il évolue sous l'effet du temps et du milieu dans lequel il s'inscrit. En avançant cela, je fais le choix d'évoluer dans le paradigme écosystémique, mais j'en suis conscient et tente de ne pas être dupe de mes choix et de ceux qui me sont imposés (choix existentiels).

---

## 2: de la loi au modèle

Pour exprimer ce choix, j'avais écrit dans mon ouvrage sur les 35 heures que proposer une nouvelle grille de lecture du réel est indissociable d'une conception épistémologique de nos rapports avec celui-ci. Avec l'avènement de la physique quantique, les scientifiques ont abandonné la notion de *loi* pour la remplacer par celle de *modèle*. Cet acte d'humilité dans la relation que l'homme entretient avec le réel fait l'objet de débats nourris qui n'auront sans doute jamais de fin.

Utiliser le mot *loi* suppose une réalité intelligible que le scientifique doit révéler parfois en contradiction avec son appréciation sensible. Par contre, opter pour le terme *modèle* renforce l'idée d'inaccessibilité du réel qu'il convient alors d'apprécier par des constructions théoriques empiriques n'ayant pas la prétention homomorphiques des lois, mais qui se contentent de rendre compte de certains phénomènes.

Proposer des modèles ou des lois rendant compte d'une réalité désordonnée et troublante par des relations simples entre des variables organiques fondamentales reste cependant un objectif fondamental.



Non pas en postulant que le monde est régi par des lois simples, mais parce que nous ne savons pas, actuellement, penser la complexité et surtout que nous sommes incapables d'agir à partir de représentations du réel compliquées.

Puis, les philosophes ont émis l'hypothèse que le réel n'est qu'une construction de l'esprit, voire du langage. L'opposition entre la notion de loi ou de modèle a abouti alors à la distinction entre les épistémologies positivistes et les épistémologies constructivistes. L'une et l'autre sont antagonistes et participent donc à deux paradigmes différents. Toutes les grandes figures de la science et de la philosophie se sont penchées au cours de leur carrière sur l'évolution des savoirs et leur organisation. Quelques noms cependant dominent cette large réflexion. On citera Auguste Comte dont l'empreinte est largement visible dans l'organisation de l'Université française. Fondateur quasi-officiel de l'épistémologie positiviste ou réaliste, il formalise la pensée de Descartes et les méthodes dérivées de la Mécanique. A cette épistémologie qui regroupe les connaissances issues d'approches réductionnistes, analytiques et déterministes est opposée une organisation des savoirs fondée sur la systémique, la complexité et le hasard.

Cette évolution constitue une des grandes évolutions des discours scientifiques au cours du vingtième siècle et marque l'évolution de discours fondés sur le paradigme classique vers des discours élaborés dans le paradigme écosystémique.

Cette évolution est bien exprimée par les débats suscités par le paradoxe EPR (Einstein, Podolsky, Rosen) qui marque la rupture entre un discours scientifique fondé intégralement sur le paradigme classique et les premières brèches dans celui-ci. L'intérêt historique de ce paradoxe fut qu'il relança dans les institutions savantes de l'Occident l'antagonisme opposant un Réel indépendant de l'esprit de l'homme à l'idée que ce dernier construit des 'modèles qui marchent'. Or, la science moderne s'est développée à partir du premier postulat. Il existe un réel indépendant de l'esprit. Notons que le paradigme classique est issu de l'étude des astres et que les pratiques et discours élaborés pour perquisitionner l'univers avec l'efficacité que l'on sait ont été transférés à l'étude des mondes microscopiques et macroscopiques. C'est de l'étude de ces mondes qu'est venue la contestation du paradigme classique: la physique quantique pour le monde microscopique; la thermodynamique pour le monde macroscopique, même si la mécanique est utilisée dans ce dernier monde, mais en négligeant les frottements. A côté de ce réel qui existe indépendamment de l'esprit, est postulé que celui-ci est intelligible.

Or, la physique quantique à travers le principe d'incertitude bouleverse ces deux postulats en posant comme axiome de la méthode qu'à l'échelle microscopique l'évaluation du réel dépend de celui qui l'observe d'une part et que l'acquisition d'information sur une partie d'un système se fait au détriment de l'acquisition d'autres informations sur une autre partie du système. Aussi, la physique du vingtième siècle avec notamment le principe d'incertitude de Heisenberg rabaisa ses prétentions ontologiques et renoua avec les fondements de la physique scolastique d'essence aristotélicienne qui se contentait d'élaborer des discours cohérents dans le respect et en harmonie avec l'autorité dominante; à l'époque l'Église.

---

### 3: des positivistes aux constructivistes

Cette première rupture dans le paradigme classique conduisit de nombreux philosophes à questionner les fondements de la science moderne pour aboutir finalement à deux attitudes résumées par l'opposition entre des épistémologies positivistes et des épistémologies constructivistes (Le Moigne, ).

Ces dernières attribuent au langage quel qu'il soit un rôle déterminant dans la construction de discours sur le réel, les plus audacieux postulant que ce réel n'existe pas en lui-même mais qu'il est construit par des langages dont il est consubstantiel. Ces différences de position éclairent alors le rôle des mathématiques dans leur capacité d'édifier des discours pour les uns, accéder au réel pour les autres. Une multitude de scientifiques, philosophes participent à ces débats. Si nous les évoquons sans les détailler, ni prendre partie, c'est simplement pour montrer sur quels choix épistémologiques reposent notre démarche. Comme nous cessons de le souligner les problématiques associées au mot environnement sont nouvelles. Dans la première partie, nous avons proposé une approche de la problématique de l'environnement, puis montrer sa spécificité. Or, celle-ci est nouvelle car alors que les grecs avaient sans doute imaginé toutes les propositions et constructions intellectuelles réalisables à leur époque celles-ci étaient préformées par leur conception du monde. Or, la découverte de la finitude de celui-ci est une révélation de la fin du deuxième millénaire dans la civilisation occidentale. Aussi, nos systèmes cherchent de nouvelles 'branches thermodynamiques' et nous avons quitté dans de nombreux domaines l'état stationnaire pour évoluer désormais dans un état marginal permanent. Doit-on alors se contenter des outils forgés pour entretenir et développer l'état stationnaire que nous quittons ? Des réponses à cette question dépendent les choix épistémologiques faits par ceux qui à cœur de trouver de nouveaux chemins. Ces choix sont souvent inconscients mais pour une minorité qui évite d'être totalement dupe des contraintes du système, s'engager dans une démarche marginale relève d'un choix. Ainsi, à l'issue de mes études j'aurais eu la possibilité de poursuivre au sein du laboratoire des faibles radioactivités (CNRS-CEA, Gif sur Yvette) une recherche sur la contribution des hydrocarbures légers dans la physico-chimie de l'atmosphère. Je ne le fis point et m'engagea dans une réflexion ermitique, pensant que cet isolement permettrait de répondre aux problématiques que mes études avaient soulevées. Le pari était-il le bon ? L'avenir qui se joue à ce point de bifurcation sur lequel le système F. Malaval est placé, le dira.

D'où notre proposition de préférer le terme discours à ceux-sous entendant l'existence d'un Réel organisé à partir de lois de la nature que la science révèle.

Cette discussion dépasse le cadre de cette thèse. Elle a cependant le mérite de montrer comment une question fondamentale à laquelle on ne peut apporter une réponse démontrée oblige à opérer des choix préalables qui s'opèrent à l'issue d'un processus historique où toutes les composantes d'un noosystème et de la noosphère dans sa globalité interviennent. Historiens et épistémologues ont montré à maintes reprises que la création scientifique n'est pas un processus immanent et transcendant. Elle dépend d'une multitude de facteurs où l'irrationnalité cohabite avec les raisonnements les plus rigoureux. Le ou les paradigmes sont, par conséquent, le résultat d'un choix. Ils sont fondamentaux dans l'élaboration de la noosphère.

Cette brève incursion dans le champ de l'épistémologie n'a qu'un but; d'une part formaliser la notion de paradigme revue par l'auteur de ce texte et d'autre part souligner que ce dernier n'est pas dupe de l'existence de ceux-ci, même si ils agissent à son insu par l'effet de nos archétypes et autres moteurs de notre inconscient.

---

## D: bases épistémologiques du paradigme écosystémique

---

### 1: la notion de système

La notion fondamentale du paradigme écosystémique est celle de système. Ce mot se rencontre dans une multitude de disciplines, mais l'écologie, la thermodynamique puis la théorie générale des systèmes en constituent les piliers.

En mécanique, les systèmes sont réduits à des points évoluant dans des repères. L'analyse mathématique permet alors de décrire l'évolution de ces points-systèmes par intégration des équations différentielles qui en expriment le mouvement. Au contraire, en thermodynamique, les systèmes sont conçus comme des ensembles séparés du milieu (asystème) par une limite continue. Ces systèmes lorsqu'ils sont ouverts totalement ou partiellement ont des échanges avec le milieu. L'aboutissement de cette démarche est celle de structures dissipatives. Celles-ci se caractérisent par une diminution locale de l'entropie avec comme corollaire une augmentation de la production d'entropie sous l'effet de flux de matière, d'énergie et d'information que nous regrouperons désormais sous la qualificatif de flux néguentropiques. Les flux néguentropiques participent donc à l'entretien et au développement de la structure qu'ils traversent. Nous retrouvons là une idée essentielle énoncée dans le chapitre sur la thermodynamique; à savoir que les éléments constitutifs des flux néguentropiques traversant les systèmes sont dissipés par ceux-ci; ce qui permet leur existence. Bien évidemment, le débat est ouvert sur la nature de ces flux et les évolutions des potentiels thermodynamiques associés à ces changements d'état. Nous avons tenté dans le chapitre sur la thermodynamique de montrer comment s'opère ces transferts d'énergie. De nombreux auteurs dans la foulée de Schrödinger, Brillouin, Georgescu-Roegen ont assimilé les structures vivantes à des consommatrices d'entropie basse (low entropy) qui rejettent de l'entropie haute (high entropy). Mais l'idée fondamentale reste néanmoins celle de structure dissipative.

De son côté, la physique classique s'est élaborée sur la notion d'équilibre ou non des forces s'exerçant sur un système comme cause de l'absence ou de la présence d'un mouvement. Le principe de conservation de la quantité de mouvement est un élément fondamental de cette mécanique. Or, la thermodynamique, par le second principe, introduit la notion d'entropie qui ramène tout système quelle que soit sa conception vers un équilibre thermodynamique stable limitant par conséquent la conservation de la quantité de mouvement. Les frottements que l'on demande de négliger dans le cadre de la mécanique sont la cause en thermodynamique de ce retour à l'équilibre thermodynamique, différent de l'équilibre mécanique. Notons que celle-ci a comme origine le mouvement des astres, domaine où ces frottements seraient effectivement négligeables.

Ce sont ces frottements qui induisent une conception radicalement différente du temps, selon que l'on s'inscrit dans le paradigme classique ou dans le paradigme écosystémique.

---

## 2: les concepts de temps et d'ordre

Comme nous avons déjà tenté de le montrer dans le chapitre sur les systèmes, en mécanique, ceux-ci sont intégrales sus certaines conditions. Ce qui signifie qu'à partir de loi/modèle et de l'état instantané d'un système, il est possible de décrire un état antérieur ou un état futur. Le temps est alors un élément neutre dans l'évolution du système et ne sert qu'à situer celui-ci dans une temporalité. Au contraire dans le paradigme écosystémique, le temps participe à la constitution des systèmes qui sont en quelque sorte le résultat de leur histoire.

Sur le plan politique, cette conception du temps oppose les mouvements qui postulent qu'il est possible de créer un homme nouveau en niant l'histoire des peuples à ceux qui inscrivent leur démarche dans une temporalité qu'il est dangereux de nier. Nous pensons particulièrement aux expériences des révolutions française (1789), russe (1917), allemande (1933) qui voulurent casser l'histoire avec les conséquences que l'on connaît. Généralement cette conception d'un temps neutre est plutôt l'apanage des mouvements de gauche, alors que le temps agissant est inscrit dans la pratique des mouvements dits de droite.

En débordant du seul cadre de la physique pour évoquer la politique, nous voulons montrer que le paradigme n'agit pas seulement dans le domaine scientifique, mais qu'il irrigue toutes les composantes de la noosphère. J'espère avoir l'occasion de montrer un jour comment des évolutions ou des ruptures de paradigme influent des domaines aussi éloignés de la science que l'art ou la politique. Nous pensons particulièrement à l'organisation de la musique par exemple où nous trouverons sans difficulté les traces de discours scientifiques donc de paradigmes dans l'organisation des notes de l'époque baroque jusqu'à la musique atonale; ou alors dans les discours politiques<sup>4</sup>. Mais pour le moment, nous nous contentons de montrer en quoi les interrogations suscitées par la crise de l'environnement participent à l'élaboration de nouveaux discours en rupture avec ceux qui dominent actuellement. Notre tentative est d'opposer un paradigme classique à un paradigme écosystémique. Mais comme pour toute classification, cela suppose une définition du concept d'une part et une immobilisation de celui-ci d'autre part. Or, l'une et l'autre édulcorent en quelque sorte leur substance ou leur essence. L'idée d'imaginer et de formaliser un paradigme s'oppose à un élément fondamental du paradigme écosystémique qui est d'entrevoir la richesse des structurations possibles créées par la permanence d'un désordre. En agissant ainsi, paradoxalement, pour décrire le paradigme écosystémique nous sommes obligés de revenir dans le paradigme classique qui est fondé sur le réductionnisme; à savoir la détermination de modèles-lois élémentaires qui permettent cependant d'apprécier le mieux possible l'état d'un système et de circonscrire des discours efficaces. Il ne s'agit par conséquent pas de substituer un paradigme à un autre mais d'en apprécier la pertinence et surtout son domaine de définition, c'est à dire l'espace dans lequel il se révèle pertinent. En fin de compte, le paradigme classique aboutirait à des connaissances issues d'approches réductionnistes, analytiques et déterministes fondées sur l'intellect alors que le paradigme écosystémique organise des savoirs fondés sur la systémique, la complexité, le hasard à partir de l'intuition. Pourquoi d'ailleurs les opposer ? L'une et l'autre sont indispensables. Une pensée systémique est nourrie par les travaux analytiques qu'elle a suscités. En retour la démarche analytique recourt à la pensée systémique pour progresser. L'histoire des sciences abonde d'exemples confortant l'idée d'une dialectique de l'innovation philosophique fondée sur ces deux paradigmes.

Ainsi, la notion de désordre n'a pas la même résonance dans les deux paradigmes, mais il n'est pas possible d'en retenir une au détriment de l'autre.

La notion de désordre dans le paradigme classique a une connotation négative. En effet, issu de l'étude du mouvement parfait des cieux et d'un monde créé par Dieu, lui aussi parfait, l'ordre est la nature des choses. Le désordre donc n'est que la manifestation des limites cognitives de l'homme à saisir cet ordre dans les apparences sensibles d'un monde macroscopique désordonné. Nous avons déjà exprimé ce point de vue à partir de l'attitude de physiciens français face au désordre avec l'origine de la notion de chaos déterministe.

Cette attitude trouve ses racines dans l'œuvre de Pierre Simon de Laplace dans son "Essai philosophique sur les probabilités" (1814) qui constitue tout à la fois le socle sur lequel s'édifie le paradigme classique et l'aboutissement de la philosophie engendrée par l'étude du mouvement des orbites: *"Tous les événements, ceux mêmes qui par leur petitesse semblent ne pas tenir aux grandes lois de la nature, en sont une suite aussi nécessaire que les révolutions du soleil. Dans l'ignorance des liens qui les unissent au système entier de l'univers, on les a fait dépendre des causes finales, ou du hasard, suivant qu'ils arrivaient et se succédaient avec régularité, ou sans ordre apparent; mais ces causes imaginaires ont été successivement reculées avec les bornes de nos connaissances, et disparaissent entièrement devant la saine philosophie, qui ne voit en elles que l'expression de l'ignorance où nous sommes des véritables causes (...)*

*Nous devons donc envisager l'état présent de l'univers comme l'effet de son état antérieur, et comme la cause de celui qui va suivre.*

*Une intelligence qui pour un instant donné connaîtrait toutes les forces dont la nature est animée et la situation respective des êtres qui la composent, si d'ailleurs elle était assez vaste pour soumettre ces données à l'analyse, embrasserait dans la même formule les mouvements des plus grands corps de l'univers et ceux du plus léger atome: rien ne serait incertain pour elle, et l'avenir, comme le passé, serait présent à ses yeux."*

Ainsi, le paradigme classique postule un réel intelligible, ordonné, mais inaccessible dans sa totalité à l'esprit humain. D'où le recours à une attitude réductionniste pour tenter de le déchiffrer.

Au contraire, le désordre conceptualisé dans le paradigme écosystémique n'est pas la manifestation de nos insuffisances, mais une propriété de la matière qui certes détruit cette matière et la ramène à l'équilibre thermodynamique, mais est créatrice de nouvelles structures. En quelque sorte, le désordre est le moyen pour un système d'explorer l'espace des phases, c'est à dire toutes les situations auxquelles il pourrait avoir accès mais dont seulement l'une d'entre elles sera retenue car elle assure sa viabilité au prix d'une transformation par la complexification. Bien évidemment ces propos frisent l'animisme ou le vitalisme, nous devons par conséquent exprimer ce point de vue avec des termes plus distancés. Nous aboutissons alors à l'idée que les branches thermodynamiques offertes au système sont innombrables, mais que ce dernier ne s'engagera que sur l'une d'entre elles, sur la base d'une optimisation des potentiels thermodynamiques<sup>5</sup>.

Cette croissance du désordre dans le système est la conséquence de l'évolution de la fonction  $d_iS$  dont le signe est toujours positif. La réponse du système à ces contraintes internes menaçant de le destabiliser et de le ramener vers l'équilibre thermodynamique est soit de rester en état stationnaire, soit d'évoluer vers un état marginal. Dans le premier état, nous sommes en présence d'un état stable ou stationnaire dit proche de l'équilibre ou en équilibre homéostatique, c'est à dire en équilibre local avec son milieu. L'ampleur des fluctuations est inférieure à la longueur de cohérence du système. Il existe un rapport linéaire entre les différentes variables qui permettent de décrire l'état du système.

En revanche, dans la situation que les thermodynamiciens qualifient d'état marginal, les phénomènes de non-linéarités dominent les phénomènes linéaires. Dans cette dernière situation, les phénomènes de rétroactions positives dominent, c'est à dire que les écarts à l'équilibre sont amplifiés.

Or, si le paradigme classique est opérant pour les situations d'équilibre, il ne peut favoriser l'émergence de discours à partir du désordre, car il nie les possibilités d'un état marginal où les écarts à l'équilibre dépassant la longueur de cohérence du système font évoluer celui-ci vers un état différent de l'état stationnaire précédent. Ainsi, le temps n'est plus un repère sur lequel s'inscrivent des mouvements de systèmes décrits par des lois/modèles, il est dans la matière, tout comme le désordre; constat quotidien des sciences de la vie et de l'homme.

### 3: résumé (tableau)

@@@@@@@@@@

## E: un débouché du paradigme écosystémique: l'économie écologique

Depuis environ trente années, un nouvel axe de recherche utilise abondamment les propositions regroupées sous l'expression de paradigme écosystémique et les sciences de l'environnement pour élaborer des discours originaux sur les écosystèmes artificiels. Il s'agit de l'économie écologique.

Fondée sur des problématiques caractéristiques de la pensée environnementale, cette nouvelle discipline en pleine incertitude sur ses résultats puise néanmoins avec ardeur dans des disciplines comme la thermodynamique et l'écologie pour forger un nouveau discours en rupture avec ceux élaborés par les économistes classiques, néo-classiques.

En retour, cette discipline permet de construire un nouveau regard sur l'économie en général, affranchi des réflexions proposées par les économistes évoluant dans le paradigme classique.

Notons toutefois que cette dernière catégorisation est elle aussi une construction de l'esprit. Comme il est généralement admis, les concepts économiques paraissent suivre ceux élaborés dans les sciences physiques. Aussi, les notions d'incertitude issues de la mécanique quantique ont-elles été à l'origine d'une refonte de la théorie classique de l'économie. Il n'est donc pas absurde qu'une vision de l'économie se développe à partir de la thermodynamique des phénomènes dissipatifs. La notion de limites floues que nous avons introduite dans nos nouveaux concepts s'applique à notre tentative de classification (encore un élément du paradigme classique fondé sur la notion d'ordre). Notre ambition cependant, sur une base épistémologique constructiviste, est de proposer de nouveaux discours; pas d'exprimer un réel indépendant de nous-même.

Aussi, les éléments du paradigme écosystémique ne peuvent se concevoir qu'en opposition à ceux du paradigme classique. Les exposer, conscient que cette quête est loin d'être terminée, constitue une ambition qui restera sans doute inachevée, mais celle-ci permet de proposer une grille de lecture des écosystèmes à l'origine de nouveaux discours sur certains phénomènes économiques et sociaux dans le prolongement des approches fondées sur l'énergie.

Certes, nous avons évincé le mot énergie pour lui substituer l'expression de flux néguentropiques. Ces derniers exprimant le fait que le niveau d'entropie d'un système est différent ou égal à celui d'autres systèmes, mais toujours inférieur à celui du milieu dans lequel il évolue. La vision traditionnelle, à partir de l'analyse énergétique, est celle d'une diminution ou de l'augmentation de l'énergie; ce dernier concept est d'ailleurs précisé par les notions d'énergie libre ou d'exergy que nous avons déjà présentées. Comme nous l'avons vu, le couple entropie-néguentropie évolue en relation inverse. Tous les flux entre systèmes et milieu conduisent alors à des variations antagonistes de ce couple exprimée par la notion d'énergie. L'évolution des systèmes serait par conséquent réduite à des modifications locale du niveau d'entropie. Plus celui-ci diminue, plus la production d'entropie augmente, mais la part réversible est exportée dans le milieu. La structure du système augmente, ce qui équivaut à une augmentation de son niveau de complexité; ce faisant, il acquiert des propriétés nouvelles irréductibles à sa situation antérieure. L'hypothèse que nous émettons est que cette complexification a pour but d'augmenter l'énergie libre disponible, c'est à dire l'énergie utile susceptible de produire un travail au sens mécanique qui en retour permet l'entretien et le développement du système.

Ces flux néguentropiques sont ainsi faits de l'ensemble des flux qui participent à l'entretien et au développement de structures dissipatives de complexité donnée.

La performance néguentropique d'un système quel qu'il soit est par conséquent la capacité d'un système à simultanément:

- maximiser l'énergie libre disponible;
- minimiser la production d'entropie à production d'énergie libre constante.

Cette notion de performance est à distinguer de celle de rendement. En effet, la notion de rendement suppose l'identification de variables mesurables dont le rapport détermine l'efficacité du système au regard des variables choisies. En revanche, la notion de performance élude la question de la mesure pour apprécier l'efficacité d'un système poursuivant simultanément deux buts conçus comme antagonistes.

---

## F: du paradigme écosystémique aux principes de fonctionnement des écosystèmes

---

### 1: écosystème naturel et écosystème artificiel

L'article sur l'écologie a permis de saisir les conditions de création du concept d'écosystème qui est devenu l'élément fondamental des discours sur l'écologie ou l'environnement. A la lueur des nouveaux concepts, un écosystème est donc un ensemble qui produit une identité pour l'Autre. Ce dernier dans la majorité des cas est l'écologue, l'écologiste ou l'environnementaliste.

Or, avec le développement de discours sur l'environnement, cette notion d'écosystème a pris deux dimensions; celle d'écosystème naturel d'une part et celle d'écosystème artificiel d'autre part. Pour les environnementalistes la notion d'écosystème naturel est obsolète dans la mesure, pour plagier Catherine Larrère<sup>7</sup> et Hergés, qu'il n'y a plus d'endroit sur terre où la main de l'homme n'ait mis les pieds. En revanche, pour les juristes, le concept de nature, donc d'écosystème naturel, est un concept actif. Il est exprimé par la notion de *res nullius*, biens inappropriés que les assureurs ont contribué à formaliser pour déterminer les conditions d'application des garanties d'atteintes à l'environnement.

De leur côté, les écologues ont participé à la formation d'un corpus de lois de fonctionnement des écosystèmes qui ne s'appliquent qu'aux écosystèmes naturels. La question qui se pose à tout environnementaliste est alors de savoir si les 'lois' admises par les écologues s'appliquent aux écosystèmes artificiels. Pour proposer une réponse, il est nécessaire de définir ce qu'est un écosystème naturel et un écosystème artificiel.

La première distinction est qu'un écosystème naturel ne connaît pas l'homme dont le concept présentement serait ramené à celui d'*homo sapiens sapiens*. Or, le seul fait d'étudier un écosystème naturel oblige une intervention humaine pour la réalisation de l'acte de connaissance et donc une modification de l'objet d'étude. Ce faisant il n'est pas possible d'étudier des écosystèmes naturels car le seul fait de les étudier les font basculer dans l'ensemble des écosystèmes artificiels. Nonobstant cette remarque épistémologique fondamentale, nous pouvons néanmoins postuler que les principes de fonctionnement des écosystèmes artificiels sont identiques à ceux des écosystèmes naturels. Ceux-ci sont établis à partir des sciences de l'environnement constitutives et constituées par le paradigme écosystémique.

Cependant, les écosystèmes artificiels se caractérisent par une dimension noosphérique qui crée en permanence des écarts entre les manifestations phénoménologiques des flux néguentropiques et leur rôle dans le maintien et le développement de structures dissipatives de complexité donnée. L'écosystème, quelle que soit sa nature, est alors assimilé à une structure dissipative.

Sous cet angle, l'écosystème naturel est alors conçu comme un ensemble d'organismes vivants organisés à partir de relations de type proies-prédateurs ou ressources-consommateurs dont la fonction est de maximiser le rapport énergie acquise-énergie investie (output-input). Alfred James Lotka et Volterra ont développé un modèle formalisant l'équilibre qui s'établit entre une population de proies et une population de prédateurs. L'idée fondamentale qui structure tous les discours sur l'étude des écosystèmes naturels est celle d'équilibre, qui a débouché sur le concept scientifico-politique d'équilibre de la nature ou d'équilibre écologique.

A cet idéal d'équilibre assimilé à une sagesse de la nature est opposé l'irrationnalité des écosystèmes artificiels; pivot de la contestation écologiste/environnementaliste. Or, nous voudrions montrer que cette perception qui alimente les discours sur la crise de l'environnement peut déboucher sur une théorie cohérente.

En effet, ayant postulé que les principes de fonctionnement des écosystèmes naturels sont extrapolables aux écosystèmes artificiels, il est légitime de s'interroger sur les causes des déséquilibres constatés dans ces derniers. Notre hypothèse est que ceux-ci introduisent dans leur fonctionnement une dimension noosphérique dont les composantes s'articulent à partir de la volonté de connaître et/ou de faire; le but étant de réaliser une artificialisation d'écosystèmes naturels inappropriés au maintien de la vie des hommes (cf d'Epiméthée à Kant). Cette artificialisation conduit à la production de surplus (capital dans le discours économique), c'est à dire de l'accumulation de potentiels néguentropiques absents des écosystèmes naturels hormis sous certaines conditions marginales à l'origine de la constitution de ce qui est qualifié d'énergies fossiles (charbon, pétrole, gaz, etc.).

Cette capacité à créer des surplus dont l'utilisation est décalée dans le temps (notion d'actualisation) et la création à côté et dans la géo et biosphère d'une noosphère (Connaissance, Morale) caractérise les écosystèmes artificiels et les distinguent des écosystèmes naturels, tout en fonctionnant à partir des mêmes principes.

Un écosystème artificiel est alors la résultante de l'association d'un écosystème naturel et d'une noosphère. Or, cette noosphère masque les véritables principes de fonctionnement qui sont ceux des écosystèmes naturels et crée en permanence les conditions d'écarts entre les flux néguentropiques et leurs expressions phénoménologiques, dont la monnaie est un des éléments fondamentaux.

Cette hypothèse constitue une des bases de développement de nos discours sur les rapports entre l'économie et l'environnement. Cependant, avant de les exposer, il est nécessaire de poursuivre l'élaboration de notre grille de lecture du fonctionnement des écosystèmes, quels qu'ils soient, notamment en se fondant sur les travaux de Lotka et de Prigogine.

---

## 2: deux théorèmes fondamentaux: la loi d'énergie max. de Lotka, le théorème de Prigogine

---

Deux théorèmes sont fondamentaux pour construire notre grille de lecture des écosystèmes.

Le premier fut élaboré par Alfred James Lotka<sup>9</sup> qui suggéra en 1922 que l'évolution résultait de l'augmentation de l'efficacité énergétique dans les processus biologiques. Cette hypothèse a suscité d'abondants travaux et réflexions dans la littérature environnementale.



Elle s'est transformée en un théorème empirique qui établit que toute structure vivante cherche à maximiser son potentiel d'énergie libre. Cette maximisation, selon une conception néo-darwinienne de l'évolution, est déterminante pour le succès des systèmes vivants.

Mais ce théorème est en quelque sorte équilibré par celui de Prigogine-Glansdorff qui établit que dans un régime linéaire, auquel s'appliquent les relations de Onsager, "*la production interne d'entropie atteint une valeur minimum à l'état stationnaire de non-équilibre*".

Ainsi, selon ces deux théorèmes tout système évoluerait entre deux extremum de potentiels thermodynamiques antagonistes:

- l'énergie libre maximum
- la production d'entropie minimum

Or, la maximisation de l'énergie libre supposerait une complexification de la structure donc un écart à l'équilibre thermodynamique croissant avec diminution de l'entropie du système, mais une production d'entropie elle aussi croissante. Il y a par conséquent un antagonisme irréductible entre ces deux buts. La performance néguentropique du système, c'est à dire sa capacité à réaliser conjointement ces deux objectifs passe selon nous par la complexification permanente de la structure. Celle-ci optimise la gestion des flux entrants et le stockage de ceux-ci tout en améliorant les modalités d'exportation de l'entropie réversible produite.

Sur ces bases, nous proposons le théorème suivant:

Le seul élément qui permet d'améliorer la performance néguentropique d'un système ouvert est la complexification de celui-ci, c'est à dire selon la théorie de l'information, un informativité croissante de la matière.

En effet, reprenant les conclusions de Sadi Carnot, la conversion d'une énergie en travail tend vers un maximum théorique inférieur à 1. Donc quel que soit le niveau de complexité d'une structure, son indice de conversion ne peut dépasser une limite théorique qui est la même pour tous les systèmes.

L'augmentation de la performance néguentropique, c'est à dire la capacité à user d'une ressource d'un niveau de complexité égal ou différent de la structure qui le reçoit, passe par une augmentation de la complexité de celle-ci qui permet à la fois de maximiser le potentiel d'énergie libre et de minimiser la production d'entropie, à potentiel d'énergie libre constant.

De l'équilibre thermodynamique à des situations de non-équilibre thermodynamique, nous aboutissons à des systèmes en équilibre stationnaire (l'équilibre homéostatique des biologistes, l'équilibre local des physiciens), mais cet équilibre théorique n'est pas absolu car le second principe de la thermodynamique s'applique toujours.

Toute structure évolue entre des extremum exprimés par les variables fondamentales de la thermodynamique. C'est à partir de celles-ci que nous pouvons construire une grille de lecture des écosystèmes résumé par la figure suivante:

Aussi, l'idée de système en équilibre stationnaire dans certaines conditions et hors équilibre stationnaire dans d'autres est à relativiser. Tout système assume ces deux états simultanément. Cependant, selon les configurations, un des états domine l'autre aboutissant à une phénoménologie du système qui masque l'autre moteur de son évolution.

Rappelons que le terme 'production d'entropie' est dissociable en entropie irréversible et en entropie réversible. Or, l'entropie irréversible s'inscrit dans l'essence du système conduisant celui-ci à supporter un désordre (principe d'équivalent désordre-entropie) croissant au cours du temps. C'est dans cette agitation permanente et croissante que se trouvent les solutions d'évolution du système et après le passage à un état marginal, l'engagement sur une nouvelle branche thermodynamique, par une structuration supplémentaire du système (complexification) sinon, c'est la mort thermique.

Aussi dans tout système, état marginal et état stationnaire cohabitent. Le système cherche à réaliser des buts antagonistes définissant un espace d'évolution dans l'équilibre stationnaire.

L'ambiguïté du paradigme classique est qu'après avoir servi à forger des outils efficaces pour artificialiser nos écosystèmes, il est devenu le seul prisme nous permettant d'envisager des représentations du réel pour les positivistes; de construire des discours pour les constructivistes. Cependant, au contraire de nombreux auteurs qui critiquent ce paradigme classique par son côté réducteur nous devons souligner sa grande efficacité pour artificialiser les écosystèmes. Cependant, les problématiques de l'environnement obligent à en limiter la portée pour lui associer le paradigme écosystémique mais en tentant de leur affecter à chacun des domaines de compétences précisés.

### 3: principes de fonctionnement des écosystèmes

Tout organisme vivant est la résultante d'un chemin, d'une histoire dont l'itinéraire est déterminé par un jeu dialectique opposant des antagonismes fondamentaux. Le premier est l'opposition ordre-désordre. Non pas une opposition exclusive, mais un antagonisme admettant que l'un et l'autre sont opposés, mais simultanément présent dans tout système. Déjà Platon avait perçu que changement et permanence sont partie du Réel. Un modèle commode pour rendre compte des phénomènes de structuration est fourni par la thermodynamique des phénomènes dissipatifs, mais qui n'annulent cependant pas les résultats et les conséquences de la thermodynamique d'équilibre. Ainsi tout organisme vivant est la synthèse d'un jeu entre les termes deS et diS de l'entropie. Quand le second atteint une valeur critique, l'organisme meurt s'il ne s'est pas engagé dans un processus de complexification. La complexification apparaît alors comme une réponse des systèmes, notamment vivants, pour transcender d'une part le second principe et ainsi reculer l'échéance fatale. La complexité d'un écosystème naturel est proportionnelle aux flux d'énergie qui l'alimentent, sa diversité augmentant il devient métastable (à mettre comme source issue de l'écologie liée à la thermodynamique (indice de Shannon)).

Après avoir exposé les idées-force des sciences de l'environnement qui participent à l'élaboration d'un paradigme écosystémique, puis tenté de montrer comment ce paradigme écosystémique s'oppose au paradigme classique, conduisant de nombreux auteurs à évoquer la naissance du nouvelle science à partir de celui-ci, nous allons proposer maintenant une grille de lecture des écosystèmes à partir de ce dernier paradigme sous forme de principes (nous évitons volontairement les termes de loi ou de modèles, car ceux-ci supposent des choix épistémologiques et des protocoles pour explorer ces hypothèses-propositions). Ces principes sont issus de ce qui a été exposé précédemment.

A: La complexité d'un système est fonction du nombre d'éléments en relations et de leur densité spatiale, ainsi que du nombre de ces relations;

B: Le premier élément est d'admettre que complexité, diminution locale de l'entropie, augmentation de l'exergy, augmentation de l'énergie libre et du potentiel d'énergie libre par unité du système, production d'entropie, croissent simultanément lorsque le système s'éloigne de l'équilibre thermodynamique.

C: La complexification d'une structure est une réponse systémique à la croissance du terme irréversible de la production d'entropie non exportable (diS). Par défaut, le système évolue vers la mort thermique. Le maintien en situation de non-équilibre est par conséquent le résultat dialectique entre le second principe de la thermodynamique (équilibre thermodynamique) et l'écart à l'équilibre thermodynamique conséquence de la complexification de la matière.

D: Toute structure dissipative évolue loin de l'équilibre thermodynamique en dissipant des flux néguentropiques qui circulent ou sont stockés (notion d'énergie potentielle) dans celle-ci.

E: A l'équilibre homéostatique (en biologie) ou en situation d'état stationnaire hors équilibre thermodynamique (domaine de la thermodynamique hors équilibre en régime linéaire), quel que soit le niveau de complexité d'un système, le rendement théorique max de conversion néguentropique tend vers une constante. Les différences de performances néguentropiques ne sont donc que la conséquence d'un écart à l'équilibre croissant, donc de complexité.

F: Tout système est soumis à la fois à des phénomènes linéaires et à des phénomènes non-linéaires; ceci est particulièrement vrai pour les écosystèmes artificiels (introduction du facteur moral dans l'évolution des écosystèmes artificiels). Autrement dit l'état stationnaire et l'état marginal coexistent dans des rapports variables selon le type de système considéré. Ainsi, les écosystèmes artificiels gèrent en permanence un état marginal plus important relativement que ceux observables dans les écosystèmes naturels.

G: Tout système cherche à la fois à maximiser l'énergie libre et à diminuer la production d'entropie.

H: Plus un système est complexe, plus l'énergie libre rapportée à chaque constituant du système est élevée.

I: En terme systémique, toutes les stratégies développées par un système conçu comme la résultante d'éléments constitutifs et de leurs relations tendent vers une maximisation de l'énergie libre par élément constitutif et une minimisation de la production d'entropie du système par la complexification de celui-ci<sup>10</sup>. Ces extremum de potentiels thermodynamiques déterminent un espace d'évolution du système.

J: les flux néguentropiques passent par des structures de complexités différentes (notion de chaîne trophique). Les descentes du potentiel thermodynamique redox (exergy croissante, réduction) se font par des niveaux de complexité croissante; les montées de ce potentiel (exergy décroissante, oxydation) se font par des niveaux trophiques de complexité décroissante.

K: la complexification d'un système permet à celui-ci d'acquérir des propriétés irréductibles aux propriétés de ses composantes.

L: les ressources d'un système de complexité donnée sont toujours issues de systèmes de complexité inférieure.

## VI: Du paradigme écosystémique à une nouvelle lecture de l'économie

### A: Introduction

L'idée fondamentale que nous voulons avancer est que l'analyse économique ne peut être réduite aux seules expressions et manifestations phénoménologiques immédiates et sensibles. Ainsi, la monnaie est un élément incontournable, mais celle-ci ne fait que rarement l'objet d'une appréciation critique, comme la notion de valeur ou de richesse d'ailleurs, alors que les raisonnements élaborés à partir de leur étude sous-tendent une conception inconsciente de ces éléments. Les problématiques de l'environnement abordées à travers le prisme écosystémique induisent une relecture de l'économie en l'associant aux grands cycles biogéochimiques de la biosphère et de l'écosphère.

Aussi, notre idée est que l'analyse économique pour tenter de répondre à notre problématique initiale doit dépasser le cadre de la théorie économique moderne classique, néoclassique élaborée à partir du paradigme classique pour puiser dans le paradigme écosystémique et proposer de nouvelles grilles de lectures des phénomènes économiques et sociaux. Le discours que nous proposons est fondé sur la notion de structures dissipatives nourries de flux néguentropiques qui les maintiennent loin de l'équilibre thermodynamique. La croissance de la complexité de ces structures permet une amélioration de leur efficacité néguentropique qui aboutit à une maximisation de l'énergie libre d'une part et à une minimisation de la production d'entropie d'autre part, compte-tenu de leur niveau de complexité.

L'histoire de la philosophie naturelle montre que le paradigme classique a été élaboré à partir de l'étude des astres, puis, conforté par ses succès prédictifs, a dépassé ce cadre limité pour irriguer tous les domaines de la connaissance, y compris et surtout l'économie savante<sup>1</sup> dont les concepts sont généralement issus de la physique, mais avec un peu de décalage dans le temps<sup>2</sup>. Science de l'homme, l'économie tente de devenir une science de la nature comme la physique ou la chimie. La théorie économique moderne repose par conséquent sur quelques préalables-propositions issues du paradigme classique. Or, la contestation environnementale relativise la pertinence de ce dernier pour se fonder sur un paradigme écosystémique à l'origine conçu pour déchiffrer les problématiques de l'environnement. Celui-ci est élaboré à partir de la thermodynamique et de ses derniers développements. Une fois formalisé, ce paradigme écosystémique permet en retour de créer de nouveaux discours sur l'économie<sup>3</sup>, en rupture, mais parfois confortant certains discours élaborés à partir du paradigme classique.

Cet chapitre rappellera la problématique fondamentale de l'environnement que nous avons définie au début de ce travail, puis montrera les réponses apportées par la théorie économique classique et la contestation de l'économie écologique. Après avoir exposé les principaux débats animant cette récente discipline, nous proposerons notre propre grille de lecture, bien évidemment construite à partir des principes de fonctionnement des écosystèmes que nous avons présentés, puis nous l'appliquerons à deux phénomènes:

- une conception de la monnaie fondée sur une notion de la valeur;
- l'exclusion sociale à partir du modèle de la valeur-ajoutée, développé dans le

chapitre suivant.

Nous aboutissons alors à un nouveau discours sur l'économie fondé sur le paradigme écosystémique qui permet d'évoquer les principales intuitions qui alimenteront nos recherches futures.

L'ensemble de ce discours s'articule à partir de l'idée que les grilles de lecture des écosystèmes naturels s'appliquent aux écosystèmes artificiels à la réserve d'intégrer la dimension noosphérique de ces derniers pour subsumer ces grilles.

---

## B: rappels des problématiques de l'environnement

Les problématiques posées par les économistes de l'environnement et les environmentalistes sont identiques, mais les réponses apportées diffèrent profondément.

En effet, alors que les économistes de l'environnement fondent leurs discours sur des préalables admis par leur courant de pensée, les environmentalistes interrogent ces préalables en montrant qu'ils sont en partie la cause du manque d'efficacité des discours néoclassiques sur l'environnement. Cependant l'antériorité du discours néoclassique et le formalisme qu'il a acquis ces dernières années par le développement de l'économétrie lui confère des avantages certains sur les discours des environmentalistes qui s'appuient sur des concepts de la thermodynamique encore peu médiatisés quand ils ne sont pas carrément rejetés, et sont obligés de recourir à une approche littéraire et qualitative alors que les néoclassiques habillent leurs théories d'un formalisme mathématique rarement soumis à une critique fondamentale. Aucun auteur français participe à ces débats. O'Connor de l'université de St Quentin est néo-zélandais; Ayres de l'INSEAD de Fontainebleau est américain. Les centres francophones où ces théories sont développées sont Bruxelles et Genève.

---

### 1: les interrogations majeures

Selon notre approche, la problématique de l'environnement se résume aux conditions d'intégration des SurEnvironnement dans nos Environnement, compte-tenu de la découverte de la finitude de notre monde. Les économistes qualifient cette ambition de conditions d'internalisation des biens inappropriés. En résumé, il s'agit d'intégrer dans la sphère de la noosphère ce qui ne l'est pas.

Au début de ce texte, nous avons montré comment la philosophie occidentale issue du monde chrétien romain et auparavant la mythologie grecque (mythe d'Épiméthée) avaient créé les conditions intellectuelles de l'artificialisation des écosystèmes à partir de l'opposition Nature-Culture. Aujourd'hui, c'est l'ensemble de ce mouvement et de ses conséquences qui est contesté au nom de l'environnement.

Un élément commun à l'ensemble de ces discours est le rôle de l'entropie comme facteur limitant et facteur de destabilisation de nos écosystèmes artificiels. Comme nous l'avons déjà évoqué, la crise de l'environnement a comme origine une remise en cause du mythe du progrès. L'artificialisation continue des écosystèmes est perçue désormais non plus comme une source de progrès, mais comme un facteur de risque. C'est la base de la mythologie grecque qui est interrogée.

Ainsi, l'interrogation la plus fondamentale, de mon point de vue, est celle portant sur la notion de valeur.

Puis vient celle portant sur la relation entre pression environnementale absolue ou relative et la croissance économique<sup>4</sup> ; le rôle des concepts issus de la thermodynamique dans l'économie de l'environnement; enfin la réintégration des éléments de la nature (*res nullius*, biens inappropriés) dans le fonctionnement des écosystèmes artificiels.

Une autre problématique fondamentale opposant économistes et environnementalistes est celle portant sur les limites des ressources naturelles et leur influence sur la croissance économique.

Pour de nombreux environnementalistes, les ressources naturelles constituent une limite à la croissance des économies. De plus, la capacité de la biosphère à supporter l'entropie additionnelle produite par nos écosystèmes artificiels est perçue comme un autre facteur limitant. Le débat sur les éventuelles modifications du climat dues aux activités anthropogéniques relève de cette catégorie. Pour les économistes, au contraire, le progrès de la connaissance permet de dépasser ces limites physiques et d'améliorer l'efficacité d'utilisation de ces ressources et d'en révéler de nouvelles. Ces questions opposent les partisans d'un développement durable fort à ceux prônant un développement durable faible.

Aussi, une des interrogations fondamentales de toutes les parties intéressées par l'environnement, quelle que soit leur école, est celle portant sur le rapport entre la pression environnementale et le développement économique.

Sans vouloir entrer dans une controverse avec les économistes classiques libéraux, il est toutefois intéressant de noter que toute la discussion sur ces rapports entre pression environnementale et croissance économique a comme base la courbe de Kuznets. Cet auteur affirmait que la pression environnementale croissait dans une première étape avec la croissance économique, mais qu'ensuite celle-ci s'inversait pour finalement adopter une évolution inversée. Bien sur, ce discours fit les choux gras des partisans d'une croissance indéfinie, source de progrès, (merci Bacon), mais la contestation ne se fit pas attendre, mais sans la publicité dont avait bénéficié les propositions de Kuznets. Cette pression environnementale pouvait diminuer par le transfert des activités polluantes vers des pays du tiers monde, ou alors le rapport entre la pression environnementale et le PIB par hab. devait plutôt les allures d'une courbe en n indéfinie. Ces interrogations sont à l'origine d'une autre plus générale opposant deux thèses en économie de l'environnement: les contraintes thermodynamiques sont-elles négligeables ou pas ? (entropy and economic processes - physics perspectives).

Les réponses à ces interrogations dépendent alors des conceptions des problématiques de l'environnement et du développement durable.

## 2: le développement durable

Le concept de Développement durable est la résultante d'un ensemble de préoccupations dont l'origine est la prise en compte de l'environnement dans les pratiques économiques des pays développés. Mais au lieu de se cantonner à cette seule dimension environnementale, ce concept s'est vu adjoindre les dimensions sociales et économiques du développement, marquant par cette association l'inséparabilité de ces trois fondements.

Initié par la crise de l'environnement, le concept de développement durable a comme origine le constat que le développement économique ne réussit pas à faire reculer la pauvreté dans le monde, y compris dans les pays riches, et qu'il menace dangereusement les équilibres des écosystèmes par des pollutions de toutes sortes.

Mais alors que l'ensemble des instances internationales appellent de leurs vœux un développement qui soit soutenable ou durable, la logique de la croissance productiviste dans une perspective de profit n'est pas remise en cause.

Au contraire de nombreux mouvements écologistes voient dans la recherche du profit et de la productivité les racines de la crise de l'environnement. Mais les uns et les autres admettent que cette crise est insoutenable socialement et écologiquement.

Le vision économique du Développement durable s'inspire largement des travaux menés dans le domaine de l'environnement. Plusieurs écoles s'opposent pour éclairer cette problématique. On citera l'école néoclassique qui appose sa grille d'analyse à ces phénomènes comme aux autres relevant de l'économie. Elle est à l'origine de la notion de soutenabilité faible.

D'autres auteurs, à l'origine des concepts d'écodéveloppement, de bioéconomie ou d'économie écologique, ont développé la notion de soutenabilité forte.

Ce concept de croissance soutenable a comme origine la nécessité d'intégrer les préoccupations d'environnement dans la définition d'une perspective de croissance à long terme tout en favorisant une plus grande équité intergénérationnelle.

Sur le plan macro-économique, le concept de croissance soutenable («sustainable growth») ou de Développement durable se rattache à un thème ancien de la littérature économique. On citera R. Malthus et D. Ricardo. Sur le plan micro-économique, il correspond au souci de chaque entrepreneur de garantir la pérennité des entreprises qu'il développe

Pour une structure quelle qu'elle soit, la durabilité, consiste à tout mettre en œuvre pour favoriser la pérennité et le développement de ses activités. C'est ainsi que l'assurance s'est développée pour mutualiser des risques que chaque structure ne pouvait assumer seule.

Selon ces approches purement économiques, le concept de Développement durable n'est pas innovant et ne ferait que reformuler autrement des préoccupations essentielles. Mais, les économistes contemporains en ont donné une autre dimension (Harribey, 1998). Selon ces derniers, la croissance économique est dite soutenable si elle assure au minimum la non décroissance du bien-être des générations futures mesuré par le potentiel de consommation de biens marchands et de biens environnementaux par habitant. Ce potentiel de consommation par habitant dépend du stock de capital global par tête et de la productivité globale des facteurs. La non-décroissance du bien-être traduit l'objectif d'équité intergénérationnelle qui sous-tend le concept de croissance soutenable.

La croissance soutenable est donc un concept normatif qui permet de définir un sentier (path) de croissance optimale et des critères de soutenabilité permettant d'évaluer les écarts entre le sentier de croissance effectif et le sentier de croissance optimale. Toutefois, deux acceptations du concept de soutenabilité de la croissance sont possibles: soit on considère que le stock de capital par tête doit être constant dans toutes ces composantes, et notamment le stock de capital naturel, on parle de « soutenabilité forte », soit on considère que le stock de capital par tête doit être seulement constant d'un point de vue global du fait de la substituabilité entre le capital physique et humain et le capital naturel: on parle de soutenabilité faible.

---

a: soutenabilité forte

La soutenabilité forte aboutit à l'approche dite « conservationniste ». La croissance est soutenable si le stock de capital naturel reste constant. Ce courant a souvent les faveurs des écologistes et environnementalistes auxquels s'opposent des économistes d'inspiration libérale.

Ainsi, selon les économistes néoclassiques, cette approche ne peut aboutir qu'à une contradiction avec leur notion de soutenabilité. La conservation du stock de capital naturel, compte tenu de l'existence de ressources naturelles non renouvelables, implique des taux de croissance économique et démographique nuls. Tant que le taux de croissance démographique est positif, un taux de croissance économique nul se traduit évidemment par une diminution constante du niveau de consommation par tête. La conservation du stock de capital naturel se réalise donc au détriment du bien-être des générations futures. Dans l'approche conservacionniste, aucune croissance économique soutenable ne serait finalement possible. Aussi, pour les économistes, une croissance soutenable conforme à l'équité intergénérationnelle ne peut reposer que sur une approche dite "faible" de la soutenabilité.

---

#### b: soutenabilité faible

Les théories de la soutenabilité faible définies par Stiglitz en 1974 et Solow entre 1974 et 1986, intègrent l'environnement dans le modèle de croissance néoclassique en créant trois composantes du capital: le capital physique, le capital humain, le capital naturel.

Pour que la croissance soit soutenable, il faut que la diminution du stock de capital naturel par tête soit compensée par une augmentation du stock de capital physique par tête ou du capital humain par tête ou que le progrès technique permette d'améliorer la productivité du stock de capital global. L'approche néoclassique de la croissance soutenable ne fait donc que généraliser les modèles de croissance optimale avec ressources renouvelables ou épuisables dans un modèle de croissance optimale avec capital naturel.

La substitution entre les deux types de capital va dépendre des prix relatifs entre les deux types de capital puisque l'élasticité de substitution entre le capital naturel et les autres facteurs de production est supposée unitaire dans les modèles de croissance néoclassique.

La soutenabilité faible soulève alors deux problèmes majeurs.

Le premier est que le coût d'utilisation des ressources environnementales doit être un coût complet intégrant les effets externes et non un prix de marché. Si les effets externes ne sont pas intégrés dans les coûts d'utilisation des ressources environnementales, le risque est d'entraîner la croissance sur un sentier (path) non soutenable.

Le deuxième est que la substitution entre le capital 'environnemental' et le capital créé par l'homme doit être suffisante. Celle-ci dépend largement de l'évolution du progrès technique qui modifie les possibilités de substitution dont le rythme futur est incertain.

Au total, la croissance ne serait être soutenable au sens faible qu'à deux conditions:

- si le prix des ressources environnementales est un coût complet assurant un niveau de substitution suffisant et;
- si le rythme de croissance du progrès technique permet cette substitution.

Toutefois, les incertitudes sur le progrès technique futur et les risques d'irréversibilité peuvent conduire à prendre davantage en compte la spécificité du capital naturel.

Dans l'approche de la soutenabilité faible, le capital naturel ne présente pas de spécificité. Ceci signifie que des dommages éventuellement irréversibles tels que la perte de biodiversité ou le changement climatique global sont acceptables si des investissements compensateurs en capital physique ou en capital humain ont bien été réalisés pour les générations futures.



Les théories de la soutenabilité faible font l'objet de diverses critiques qui mettent en avant l'incertitude sur les variables clefs de la soutenabilité faible (élasticité de substitution, évolution du progrès technique, etc.) et surtout les asymétries entre capital manufacturé et capital naturel en raison de problèmes d'irréversibilité spécifiques au capital naturel.

A la suite des travaux réalisés par Henry, ainsi que par Arrow et Fisher en 1974, sur la valorisation des ressources non-renouvelables en situation d'incertitude et sur les effets irréversibles de décisions publiques, Pearce en 1994 et l'Ecole de Londres vont chercher à concilier la préservation du capital naturel et les exigences de la croissance économique.

Deux types de capital naturel sont distingués: celui dont la dégradation est réversible et la substituabilité possible avec le capital manufacturé ou humain et celui dont l'irréversibilité de la dégradation fait que la substituabilité avec les autres formes de capital ne peut être envisagée: on parle de "capital naturel critique". Le capital naturel critique doit être soumis à des normes minimales de sauvegarde qui permettent de définir des seuils d'utilisation du capital naturel critique.

Par exemple, la soutenabilité implique le respect de trois contraintes relatives à la conservation du capital naturel: l'utilisation des ressources naturelles renouvelables ne doit pas excéder leur taux de renouvellement; les ressources épuisables doivent être utilisées à un taux permettant leur remplacement par des ressources renouvelables; les émissions de déchets doivent être inférieures à la capacité d'assimilation du milieu.

Plus largement, les règles de soutenabilité posées par Pearce et l'Ecole de Londres sont donc centrées sur la nécessité de conserver un stock minimal de capital naturel critique et sur des critères de soutenabilité déterminés en termes économiques (ou monétaires) et non en termes physiques.

Actuellement, les implications<sup>6</sup> principales de politique économique tirées des théories de la croissance soutenable (ou du Développement durable) semblent être:

- promouvoir l'accumulation du capital physique et humain ainsi que le progrès technique. Selon cette approche, la croissance économique ne peut être soutenable que si l'accumulation du capital physique ou humain ou si le progrès technique (entendu au sens large, c'est-à-dire l'amélioration de la productivité globale des facteurs) permettent de compenser la dégradation du stock de capital naturel par tête afin de ne pas pénaliser le bien-être des générations futures. Aussi, aucune croissance soutenable, ou aucun développement durable, n'est possible sans une croissance forte riche en capital physique et humain et en gains de productivité.

- promouvoir une tarification appropriée des ressources naturelles fondée sur l'utilisation d'instruments économiques. La croissance économique ne peut être soutenable que si la substitution entre le capital naturel et le capital physique et humain s'opère de façon satisfaisante grâce au progrès technique et à une tarification appropriée des ressources naturelles fondée sur l'utilisation d'instruments économiques (fiscalité, marché de droits à polluer) qui seuls permettent de minimiser les coûts de préservation du capital naturel et donc l'impact sur la croissance et le bien-être des générations actuelles et futures.

La croissance soutenable, ou le Développement durable, nécessite alors une tarification appropriée des ressources naturelles permettant d'optimiser l'utilisation des ressources naturelles renouvelables et non renouvelables, de limiter l'accumulation des déchets ainsi que les différentes formes de pollution de l'air, de l'eau et du sol.

### 3: l'équation de Cobbs-Douglas

C'est à partir des interrogations soulevées par l'équation de Cobbs-Douglas que s'opposent économistes et environnementalistes et que nous avons développé notre propre discours.

La fonction Cobbs-Douglas est une fonction de production de type multiplicatif qui exprime la relation entre la production et les facteurs de production:

$$Q = L^i \cdot K^j \cdot E^y$$

avec Q la production, L le facteur travail, K le facteur capital et E le facteur environnement. Les paramètres correspondant aux exposants de chaque facteur représentent les élasticités partielles de la production par rapport à chaque facteur.

L'hypothèse de substituabilité entre capital artificiel et capital naturel se traduit par une élasticité de substitution des facteurs de production égale à 1.

Cette fonction exprime la possibilité de compenser l'épuisement des ressources naturelles par le progrès technique, mais aussi repose sur le choix d'une nature au service d'un modèle de développement contesté au nom de l'environnement et d'une nouvelle morale qui fait de cette nature un objet de morale. Aussi, une relecture de l'économie par l'environnement suppose non pas le tripatouillage de concepts intériorisés dans le paradigme classique, mais une critique de ce dernier.

Deux approches de l'environnement émergent alors.

#### C: les deux approches de l'environnement

Un regard critique sur les discours néoclassiques pourrait conclure à une contestation systématique de ces thèses par les environnementalistes avec comme argument qu'ils sont conçus comme un soutien au modèle de développement qui domine la pratique de nos élites politiques.

Les interrogations des environnementalistes portent sur une multitude de sujets. Les débats sont nourris, même si les protagonistes sont finalement peu nombreux comparés aux armadas des économistes néoclassiques. Mais alors que les discours sont riches de différences, ils s'articulent tous à partir des propositions qui déterminent le paradigme écosystémique, mais dont les assemblages suscitent des discours divergents sur de nombreux points.

En marge du discours économique sur la répartition des ressources rares s'est développé un courant de réflexion postulant que les ressources qualifiées d'illimitées par la théorie économique ne le sont pas. La première cristallisation s'opéra à partir de la question de l'énergie. Une croissance économique permanente sera à un moment confrontée aux limites physiques des ressources terrestres. Cette perspective dépasse la vision malthusienne qui confrontait la croissance d'une population aux ressources agricoles; celles-ci pouvant croître par l'effet de l'accroissement des connaissances. Elle interroge des modèles de développement fondés sur des ressources dont la limite est connue, mais non quantifiée. C'est en 1972 que cette réflexion aboutit à la publication de l'ouvrage 'Limits to growth', publié sous les auspices du Club de Rome par Denis Meadows et son équipe. La principale conclusion des travaux du MIT dont les écologistes firent un des postulats de leur action politique est que la croissance économique doit cesser.

Ce rapport suscita de nombreuses critiques techniques, mais son succès médiatique le rendit incontournable dans la réflexion sur l'économie politique.

Ces travaux fondés sur les limites de la planète coïncidèrent avec la crise de l'énergie qui révéla au monde occidental qu'il dépendait de flux d'énergie dont les stocks sont limités et qui se trouvent en dehors de ses territoires. Ceci déboucha sur une analyse énergétique qui aboutit à plusieurs courants:

- la comptabilité énergétique;
- l'analyse énergétique;
- l'analyse thermodynamique fondée sur une nouvelle expression de l'énergie utile:

l'exergy (cf chapitre sur la thermodynamique).

Depuis, dans la littérature anglo-saxonne il existe une différence entre les 'ecological economists' et les 'neoclassical environmental economists'. Dans cet esprit, nous-même distinguons les économistes des environmentalistes.

Face aux limites de l'analyse économique traditionnelle confrontée à l'environnement, les environmentalistes eurent recours aux concepts issus des sciences de l'environnement pour bâtir une nouvelle grille de lecture de l'économie de l'environnement dans laquelle écosystèmes naturels et écosystèmes artificiels seraient associés dans une même théorie. Mais alors que la théorie économique classique, néoclassique plonge ses racines dans le XVIIIème siècle (Smith, physiocrates, etc.), l'approche environmentaliste remonte aux années 1970 avec les réflexions de Georgescu-Roegen (*The Entropy Law and the Economic Process*, 1971), Odum, Passet, etc. La paysage y est par conséquent bien moins organisé que celui dans lequel évolue les économistes néoclassiques.

Mais avant de renouveler ces discours interrogeons nous sur les fondements de cette économie classique.

---

## 1: l'approche classique

---

### a: les fondements de l'économie classique

La question fondamentale de l'économie classique est la répartition des ressources rares. Elle associe dans un même discours des biens économiques et des agents économiques. Certains biens sont identifiables comme des pommes ou des automobiles, d'autres pas, comme le travail dont les économistes savent qu'il a un prix mais achoppent à le définir. Depuis David Hume et ses contemporains, les économistes distinguent l'économie monétaire analysée à travers des variables nominales comme la monnaie, de l'économie réelle à laquelle est associée des variables réelles mesurées en unités physiques comme une production en tonnes. Cette distinction permet de construire des discours où tous ces objets économiques sont susceptibles de faire l'objet d'une transaction par l'intermédiaire d'un marché. Le prix de ces objets est alors le résultat d'une confrontation entre des variables physiques et des variables nominales. Ces transactions sont supposées faire l'objet de choix cohérents par les agents économiques. Chaque besoin étant satisfait, l'agent économique oriente ces choix de consommation vers d'autres objets jusqu'à obtenir, là aussi la satisfaction de ses besoins. Ainsi, l'élévation du niveau de vie ne se traduit pas par une consommation proportionnelle d'aliments, mais par l'affectation des revenus marginaux au regard du besoin alimentaire vers d'autres affects. Ces consommateurs, en retour, ont la qualité de producteur. C'est à dire qu'après avoir consommé des objets produits par d'autres consommateurs, ils sont corrélativement producteurs. Les économistes ont depuis longtemps saisi qu'une économie ne peut se développer que si il existe des ressources à exploiter, mais en quantité limitée.

Sinon, il n'y a pas de production, d'échanges et de consommation (Ekeland, 1976). Aussi, prend le statut de biens économiques ceux qui sont rares et non pas uniquement ceux qui sont utiles. Ainsi, l'air est indispensable, mais comme nos écosystèmes artificiels le considère comme abondant, il n'a pas le statut de bien économique et donc ne fait pas l'objet de prérogatives d'appropriation. Pour les économistes néoclassiques, le jour où il n'y aura plus assez d'air pour tout le monde, celui-ci fera l'objet de transaction et accédera alors au statut de bien économique. La deuxième problématique que se posent les économistes est celle de la répartition des biens rares produits. Leur postulat est qu'une répartition est efficace quand aucune autre ne lui est unanimement préférée. En termes économétriques, les utilités marginales procurées par l'acte économique s'égalisent; c'est l'optimum de Pareto.

Ainsi, pour les néoclassiques, la valeur repose finalement sur les préférences des individus. Elle s'exprime par un prix assimilable à une valeur d'utilité. Cette notion d'utilité dépend des circonstances dans lesquelles est placé le consommateur. Entre regarder un match de foot et respirer le choix paraît évident présenté ainsi, mais il ne l'est pas pour celui qui ne s'est jamais interrogé sur la fonction de respiration.

L'économiste fonde par conséquent son discours sur l'arbitrage des consommateurs; la meilleure répartition de la production étant celle que unanimement ceux-ci préfèrent sans exception. Cela revient à demander à des personnes si à travail égal, elles ne préféreraient pas obtenir davantage de biens, de loisirs ou d'argent. Le marché est le lieu d'arbitrage où l'individualisme des consommateurs liée à leur rationalité aboutit à la meilleure répartition des valeurs produites compte-tenu des préférences des individus.

C'est ce postulat qui structure le discours économique classique, néoclassique que critiquent les environnementalistes.

Ces derniers préfèrent élaborer leurs approches de l'économie à partir des flux de matière, d'énergie et d'informations dans des structures dissipatives, sans référence à une quelconque subjectivité des constituants du système. Ils réintègrent l'économie dans la biosphère.

La théorie moderne de la croissance fut établie par Domar (1946) et Harrod (1939). Ces deux auteurs établirent des modèles de croissance capitaliste qui suggéraient que celle-ci était instable et marquée par des crises périodiques. Puis Solow (1956) argua que les opportunités de substituer du capital au travail dans le processus de production devait favoriser une croissance stable limitant les crises périodiques. Plus tard, le modèle de croissance de Solow envisagea la possibilité d'une élévation du niveau de vie général par la progrès technologique. Ces modèles excluaient le rôle de l'"environnement" dans la production. Le travail et le capital étaient combinés pour produire, mais aucune ressources naturelles n'étaient requises pour le faire; ni ressources naturelles, ni énergie. Comme Solow lui-même en fit la critique, "la fonction de production est homogène au premier degré. Cela suppose qu'il n'y a pas de ressources épuisables comme la terre".

C'est à partir des années 1970 que les conditions de la croissance économique intégrèrent la dimension environnementale. Meadows (1972) et d'autres établirent l'existence de limites biophysiques à la croissance entraînant celle-ci vers une fin. En réaction à ces thèses et à leur médiatisation par les mouvements écologistes, les théories de la croissance commencèrent à intégrer les ressources naturelles et la pollution dans les modèles conçus à partir des années 1970. Stiglitz (1974) proposa une fonction de production combinant travail, capital et ressources, substituables dans la production. Son modèle supposait que la raréfaction des ressources naturelles serait compensée par le progrès technologique: "*Avec le progrès technique, quel que soit son niveau, nous pouvons trouver des voies de croissance positives... Cette croissance par individu requiert un niveau constant de changement technologique*". Ainsi, les limites à la croissance ne dépendraient pas des ressources naturelles mais du niveau de développement technologique.

En réaction aux conceptions pessimistes des potentialités de croissance des années 1970 formulées par les courants écologistes, l'optimisme écologique, dans les années 1980, domina la théorie économique concernant les liens entre la croissance économique et le monde naturel. Baumol (1986) affirmait que les inventaires des ressources naturelles pourraient croître en permanence, même si les stocks physiques diminuaient rapidement. Aussi, les ressources dont les quantités physiques décroissent et sont finies peuvent néanmoins être augmentées par l'évolution technologique selon leur contribution future à l'économie et permettre ainsi d'envisager le futur sereinement.

Des théories économiques comme celle de Stiglitz ou de Baumol ont laissé des traces dans les théories économiques des années 1990. Aghion et Howitt (1998) reconnaissent que la pollution et les ressources naturelles sont des valeurs à considérer. Cependant, leur modèle schumpetérien implique que l'accumulation de 'capital intellectuel' peut compenser les contraintes biophysiques de l'activité économique et ainsi permettre une croissance indéfinie. Barrow et Sala-i-Martin (1995) ne mentionne même pas la terre, l'énergie, les ressources naturelles et la pollution dans leurs modèles de croissance économique. Pour eux, la production de biens et le savoir-faire de l'homme sont à la base du capital. L'activité macro-économique se résume alors à puiser dans la nature les ressources et y évacuer les déchets. Un débat sur les relations entre la nature et la croissance économique n'a donc aucun intérêt. Cependant, certains auteurs ont tenté de renouer avec l'idée de limites biophysiques à la croissance, mais sans grandes influences sur les théories modernes de la croissance économique. Ainsi, Daly (1996) évoque des facteurs éthiques et biophysiques comme base d'une économie stable. Cela suppose entre autres une population stable, une production et des besoins en énergie limités aux seuls besoins de ces populations. Mais les thèses de Daly ne rencontrent guère d'échos chez les économistes car elles n'aboutissent à aucune alternative de croissance, mais se contentent de souligner la nécessité de promouvoir un état stationnaire et notamment que la croissance exponentielle des revenus ne peut croître indéfiniment.

### b: l'environnement dans l'économie classique

A partir des postulats de la théorie économique classique ont été développées plusieurs approches de l'environnement, mais toutes ont comme interrogation principale le rôle du marché comme facteur d'internalisation des coûts d'utilisation de l'environnement. Schématiquement, les protagonistes sont des économistes tendant à souligner les vertus du marché par le développement de droit de propriété sur des biens inappropriés ou alors ceux qui soulignent le rôle des pouvoirs publics comme outil d'internalisation plus efficace que le marché. Ces interventions ont pour but de déterminer les conditions d'indemnisation d'une déséconomie externe assimilée alors à un coût social non compensé et imposé à un tiers, au sens juridique, en dehors de toute transaction volontaire. Les phénomènes d'externalités environnementales correspondent alors à une utilisation gratuite de ressources par un opérateur économique au détriment d'autres utilisateurs potentiels, actuels ou futurs. Le concept de développement durable tente de favoriser une démarche inverse. En effet, dans la tradition capitaliste la notion de déséconomie externe n'existe pas car la capacité à produire un objet économique utile, même à partir de ressources gratuites, est dans la logique économique.

Mais pour les économistes de l'environnement la non-prise en compte des externalités et donc la 'mauvaise' tarification des ressources naturelles est une défaillance du marché.

Or, une déséconomie externe traduit toujours des conflits entre intérêts privés ou entre intérêts privés et l'intérêt collectif. La recherche du profit maximum par un agent privé peut se faire au détriment de l'avantage collectif. Le profit maximum ne coïncide pas nécessairement avec l'avantage social maximum. L'avantage social maximum correspond alors à la différence maximale entre les avantages et les coûts d'une activité, ou à l'égalité du coût marginal et de l'avantage marginal. Il est établi à partir d'analyses coût-avantage. L'avantage social net est alors défini comme un optimum de Pareto, c'est-à-dire la situation dans laquelle, pour une répartition donnée des revenus, nul ne peut accroître ses gains sans diminuer ceux des autres. Tout mouvement à partir de cet optimum diminue l'avantage social net.

Cette détermination d'un niveau d'activité socialement optimal permet de déterminer un niveau optimum de pollution qui n'est pas égal à zéro. La recherche du maximum de bien-être économique impliquerait donc l'acceptation d'un certain niveau de pollution.

C'est pour déterminer cet optimum collectif qu'il est nécessaire d'intégrer les externalités dans le calcul économique. Or, ceci n'est possible qu'en affectant une valeur monétaire à ces externalités alors que le fonctionnement du marché exclut l'évaluation monétaire de ces externalités. L'optimum reste donc indéterminé et oblige l'élaboration de méthodes spécifiques d'évaluation monétaire des externalités.

Une des méthodes d'évaluation privilégiée repose sur l'expression des préférences des individus pour éviter une perte (dommage) ou pour obtenir un bien (avantage); l'utilisation de l'environnement, c'est à dire de biens inappropriés induisant tout à la fois des avantages et des pertes. Ces préférences se manifestent sur le marché et s'expriment sous la forme du consentement à payer (CAP) monétarisé. Puis est défini le surplus du consommateur qui est égal à la différence entre la dépense effectivement payée et le CAP. Ce surplus du consommateur est donc la valeur nette de la ressource. Le dommage à l'environnement se définit alors, en termes économiques, par la perte de surplus du consommateur.

La principale critique portée à cette démarche réductrice issue de l'économie et donc du paradigme classique est qu'elle ne permet pas de répondre à la question essentielle de l'évaluation de l'utilisation de l'environnement aboutissant à des gains ou des pertes de surplus du consommateur. Les économistes s'engagent alors dans le maniement de concepts de 'valeur d'usage' ou de 'valeur intrinsèque' dont la réunion forme la valeur économique totale. Puis, les termes de valeur d'usage réel, valeurs d'option, valeurs de legs, valeurs altruiste, etc. sont introduits dans les discours pour aboutir à cette valeur économique totale qui se décompose en:

- Valeur d'usage totale
- Valeurs d'usage réel
- Valeurs d'usage potentiel
  - Valeurs d'option
  - Valeurs de legs
- Valeurs intrinsèques

A partir de ces valeurs immédiates, il convient alors de calculer la valeur actualisée, c'est à dire l'appréciation ou la dépréciation d'une valeur dans le futur. Cette valeur économique actualisée d'un bien dépend alors du consentement à payer futur qui lui-même déterminera le surplus du consommateur.

Pour mesurer économiquement la valeur environnementale en dehors d'un marché, les économistes recourent aux préférences des individus et à leur consentement à payer pour l'environnement selon trois méthodes:

- évaluation du consentement à payer par référence à des marchés existants considérés comme des marchés de substitution;
- création d'un marché artificiel pour réaliser une évaluation directe des fonctions de demande;
- affectation d'une valeur monétaire arbitraire à des coûts préalablement évalués en termes non monétaires.

Ces méthodes ont par conséquent comme origine un ensemble de préalables constituant un dogme sur lequel s'est élaboré le discours économique classique puis, son application à l'environnement. C'est cet ensemble qui est critiqué par les environmentalistes à partir du constat que la crise de l'environnement trouve ses fondements dans ce type de discours qui ne peut par conséquent être pertinent pour résoudre les problèmes qu'il a créés.

Pour les écologistes, l'analyse de la valeur par les néoclassiques conduit à de sérieuses déficiences obligeant à recourir à d'autres outils pour surmonter les paradoxes inhérents à leur lecture de l'économie quand ils l'appliquent à l'environnement. La critique principale portée par les environmentalistes aux économistes néoclassique est d'avoir construit un discours réductionniste certes performant et élégant, mais excluant la biosphère du champ de ses réflexions. Ils ont ainsi dissocié l'économie monétaire de l'économie réelle.

La thermodynamique fournit alors ces outils pour repenser l'économie car elle est devenue la science des structures dissipatives que sont toutes les organisations vivantes, des procaryotes jusqu'aux écosystèmes hautement complexes dans lesquels évoluent les populations des pays industrialisés. En réintroduisant l'énergie-exergy comme facteur de production au même titre que le capital et le travail, les environmentalistes veulent montrer que les questions soulevées par la crise de l'environnement imposent de sortir du cadre néoclassique pour en créer un nouveau. Celui-ci s'est développé selon plusieurs axes, mais toutes ont en commun l'énergies .

Le paradoxe est que cette dissociation entre une analyse économique fondée sur la monnaie et une autre a priori plus récente intégrant les facteurs énergétiques, est récente. En effet, tant D. Ricardo pour les économistes que S. Carnot pour les physiciens avaient relevé qu'une attitude réductionniste porterait préjudice aux discours élaborés sur l'économie. La distinction que nous avons montrée à travers les catégories de Kant, éligibles au paradigme classique, entre ce qui appartient à la nature et ce qui revient à l'économie donc de la culture n'a pas fait l'objet d'un consensus absolu. Ainsi, David Ricardo écrit dans "Les principes de l'économie politique et de l'impôt": *"La nature ne fait-elle donc rien pour l'homme dans les manufactures? N'est-ce rien que la puissance du vent et de l'eau qui font aller nos machines et qui aident à la navigation? La pression de l'atmosphère et l'élasticité de la vapeur de l'eau, au moyen desquelles nous donnons les mouvements. Pour ne rien dire des effets du calorique qui ramollit et fond les métaux, ni de la décomposition de l'air dans les procédés de la teinture et de la fermentation. Il n'existe pas une seule espèce de manufacture dans laquelle la nature ne prête son aide à l'homme, et elle le fait toujours avec libéralité et gratuitement"*.

A la même époque, S. Carnot dont l'œuvre avait pour origine l'étude des machines à feu, donc des processus physiques, qui au contraire du mouvement des orbes, étaient directement intégrés au fonctionnement des écosystèmes artificiels de l'époque, avait entrevu les liens entre l'énergie et l'économie. Son but était de procurer à la France les mêmes outils que les anglais pour réaliser une révolution industrielle conférant aux peuples qui l'auraient réalisée un avantage certain dans la conquête du monde. La colonisation totale du monde débute après les révolutions industrielles anglaises et françaises qui purent ainsi bâtir des empires coloniaux avant les autres peuples européens.

La thermodynamique paradoxalement avant d'être une science fondamentale de l'environnement fut initialement la science qui permit la conquête du monde par les nations européennes.

---

## 2: l'approche thermodynamique

### a: origines

L'approche thermodynamique fait l'objet de publications qui dépassent le seul cadre d'un discours 'scientifique' pour y intégrer des éléments de morale, de philosophie, d'histoire et tout ce qui peut contribuer à qualifier les problématiques de l'environnement.

Elle a comme origine plusieurs auteurs, mais généralement l'année 1971 est retenue comme date de départ de ce mouvement. A cette époque, Nicholas Georgescu-Roegen publie '*The entropy law and the Economic Process*' dans lequel il exprime que l'énergie n'est ni consommée ni produite dans un processus économique et que chacun d'entre eux est le résultat d'une augmentation de l'entropie totale.

Dans le même esprit que Schrödinger (1945) qui suggéra que les organismes importaient de l'entropie négative et exportaient de l'entropie positive, Gøergescu-Roegen percevait l'activité économique comme un transformateur de ressources naturelles à bas niveau d'entropie (Low entropy) en déchets à haut niveau d'entropie (High entropy). Selon lui, le second principe de la thermodynamique est la limite absolue de l'économie de la rareté (Georgescu-Roegen, 1976). Ainsi en plus de la disparition du soleil, de l'épuisement des ressources naturelles, nos économies sont menacées par la disparition des écosystèmes naturels qui bien que n'ayant pas de valeur, sont inextricablement liés à nos écosystèmes artificiels.

La recherche des couplages entre lois de la thermodynamique, de l'écologie et de l'économie en général est le dénominateur commun de cette approche.

Aussi, les discours proposés par ce courant de pensée s'articulent autour des concepts de structures dissipatives, d'auto-organisation dans les écosystèmes naturels ou artificiels, des lois de Lotka, des lois générales de l'évolution et de la théorie darwinienne sur la compétition intra et inter-espèces, de la théorie de l'information (utilisation et stockage de l'information dans les gènes ou dans la noosphère), du rôle de l'innovation au sens économique et/ou des fluctuations au sens thermodynamique dans l'évolution des systèmes, des liens entre écosystèmes naturels et artificiels, étant postulé que les économistes classiques ne s'intéressent qu'aux fonctionnements internes des écosystèmes artificiels; des conditions de réalisation d'un développement durable; des conditions de recyclage de la matière, des relations entre flux monétaires et flux énergétiques<sup>9</sup>, de la détermination de lois de fonctionnement des écosystèmes qu'ils soient naturels ou artificiels; de la réintégration des éléments naturels (capital naturel) dans le fonctionnement des écosystèmes artificiels; de la notion de capital; du rôle de l'accroissement des connaissances sur les processus de développement, etc.

Cette approche thermodynamique souleva de nombreuses controverses comme par exemple les possibilités de recyclage de la matière. Selon Georgescu celui-ci est impossible ou limité en raison du second principe qui conduit nos sociétés à produire des 'biens' entropisés (high entropy) à partir de ressources naturelles à entropie basse (low entropy)<sup>10</sup>.

De ces travaux émergea aussi l'idée que la valeur était déterminée par le contenu énergétique des objets économiques. Les prix seraient par conséquent proportionnels au contenu énergétique; le rapport prix-énergie étant le même pour tous les biens.



L'idée est que tant qu'il y a de l'énergie exploitable, de l'énergie utile, à partir d'un objet économique, celui-ci est affecté d'une valeur non nulle. Aussi, les processus de production concentrent cette énergie utilisée par les processus de consommation.

La critique portée à ces approches énergétiques est qu'elle exclut encore la nature de la grille de lecture de l'économique. Aussi, les écologistes introduisirent le facteur moral comme élément de décision; facteur que nous intégrons à la noosphère au même titre que toutes créations de l'esprit humain comme les connaissances scientifiques par exemple.

### b : loi de Lotka et théorème de production d'entropie

Dans les années 1920, Alfred Lotka (1922) suggéra que l'évolution résultait de l'augmentation des flux d'énergie dans les organismes biologiques et de l'efficacité de conversion énergétique dans les processus biologiques, connu sous le principe de maximisation de l'énergie: *“la sélection naturelle tend à maximiser les flux d'énergie dans les systèmes aussi loin que les contraintes du milieu dans lequel le système évolue le permet”*. Dans le prolongement de la théorie darwinienne de l'évolution, cette sélection passe par la recherche de l'efficacité énergétique et de l'innovation. Ces idées ont été généralisées puis appliquées à l'étude des systèmes vivants et au développement des systèmes économiques à partir des concepts de la thermodynamique. Ainsi, les lois de Lotka fondées sur l'augmentation de l'énergie d'une part et sur l'efficacité biologique d'autre part ont été transférées aux lois générales de l'évolution, puis à l'économie.

Les développements des concepts d'auto-organisation, de structures dissipatives sont alors intégrées aux lois de Lotka pour exprimer de nouveaux modèles de fonctionnement des écosystèmes associant les étapes d'évolution d'un écosystème aux lois de la thermodynamique. Un système est équilibré lorsque il y a un équilibre entre la population d'une espèce, sa contribution à la biomasse totale de l'écosystème et sa consommation de biomasse. Les éléments de l'écosystème prennent et fournissent de la biomasse pour maximiser le 'net energy intake'. Un organisme est donc un maximisateur d'énergie arbitrant en permanence entre l'énergie dépensée pour se nourrir (le prix à payer) et l'énergie utile produite (General equilibrium of an ecosystem).

Dans le même esprit, dans la théorie économique dominante, un marché est en équilibre lorsque les consommateurs maximisent l'utilité des biens consommés, lorsque les firmes maximisent leurs profits et que la demande équivaut à l'offre pour tous les marchés.

A côté de ce principe de maximisation de l'énergie libre dans les systèmes vivants est associé un principe d'efficacité énergétique fondé sur le théorème de production minimum d'entropie de Prigogine (1955). Ce théorème s'applique valide aux systèmes où les relations linéaires (relations de Onsager) entre constituants dominant les relations non linéaires. Cette situation est caractéristique des organismes vivants en équilibre stationnaire. Ces deux principes (max E et min S) constituent la base de nombreux discours élaborés à partir de l'énergie.

### c: applications de l'approche énergétique

A partir de la thermodynamique, on a raisonné en termes de balance de matière; le solde entre l'écosphère et son milieu étant nul (excepté la fission nucléaire et les météorites). Selon le premier principe de la thermodynamique, l'énergie et la matière ne sont pas convertibles. La terre est perçue comme un système clos au sein duquel l'utilisation de matière est équilibrée par la production de déchets. Si on considère que le recyclage est possible d'un point de vue néguentropique alors l'expansion économique est illimitée.

Sinon, le développement économique rencontrera des limites. Gørgescu-Roegen dans sa quatrième loi de la thermodynamique a énoncé que le recyclage total est impossible en raison de l'entropisation de la matière.

Puis à côté de cette approche matière vint l'approche énergétique. Mais à la différence de la matière, l'énergie n'est pas recyclable.

Ces réflexions sur les couplages entre thermodynamique, sciences de la vie et économique nourrissent en retour le discours sur cette discipline de la physique<sup>11</sup>. Ainsi, la notion d'exergy, sauf erreur ou omission, n'apparaît pas dans les textes de thermodynamiciens, mais uniquement dans ceux d'environnementalistes. Elle exprime la capacité d'une structure à libérer de l'énergie libre utilisable par d'autres organismes. Ainsi, sur la base des équations de Lotka-Volterra, l'équilibre d'un écosystème est élaboré à partir des maximisations d'énergie entre des espèces évoluant dans des niveaux trophiques différents.

Sur ces fondements, une estimation de l'énergie par habitant montre que celle-ci est d'un facteur 60 entre une économie de cueillette et nos économies modernes (Buenstorf, 1999). L'énergie par capita aurait augmenté d'un facteur 60 entre l'âge des chasseurs cueilleurs et celui de l'ère industrielle. Aujourd'hui, l'écart entre les Etats-Unis et l'Asie du Sud est de 20.

Dans le même ordre d'idée, le moteur de Savery (1695) avait un rendement nul. Celui de Newcomen: 1%; Watt: 4,5 %; Les moteurs modernes: 47 %, ce qui correspondrait à 88 % du rendement théorique calculé à partir de écarts de température.

Puis l'idée d'une relation entre énergie et monnaie vit le jour et notamment que cette dernière circule en sens inverse des biens et des services fournis. Cependant, que ce soit l'économie de l'environnement ou l'économie écologique, ces deux approches de l'environnement aboutissent à des impasses.

### 3: limites des approches classique et thermodynamique

Les économistes de l'environnement dont le discours est fondé sur la théorie classique, néoclassique issue du paradigme classique ne savent pas répondre aux questions concernant la valeur d'un bien inapproprié et attribuent cette situation à une défaillance du marché obligeant à recourir à des instruments volontaristes (réglementation, taxes, etc.) pour internaliser les coûts et à des enquêtes sur les préférences des individus pour attribuer une valeur à ces objets inappropriés. Le paradoxe qu'ils ont à surmonter est que seul ce qui a un prix a de la valeur fondée sur son utilité; l'utilité n'étant alors conçue que comme la satisfaction d'un besoin quel qu'il soit. Ainsi, une personne désirant se suicider achètera le matériel utile à la réalisation de son dessein, alors que physiquement elle hâte la réalisation d'un retour à l'équilibre thermodynamique qui contrevient à la vision des environmentalistes recherchant les conditions du maintien de nos structures loin de cet équilibre thermodynamique.

Dans le même esprit, un tableau de maître a de la valeur ou un joueur de football professionnel. En revanche, l'air n'en a pas. Les économistes répondront que la non-perception de la rareté de l'air limite sa valorisation monétaire. Or, si nous proposons l'alternative de supprimer l'atmosphère ou les joueurs de foot professionnels, l'environnementaliste est persuadé qu'exceptés les supporters de ces derniers (ils sont nombreux), toute personne sensée choisira de conserver l'atmosphère.

Cette réflexion sur l'attribution de la valeur dans la théorie néoclassique est à l'origine du développement de discours sur l'environnement fondés sur les flux néguentropiques dans des structures dissipatives. Toute structure est ainsi nourrie de flux (énergie, matière, informations) qui favorisent le développement de structures de la matière, de l'espace et du temps dissipant ces flux néguentropiques.

Localement, il y a une diminution de l'entropie avec comme corrolaire une augmentation de la production d'entropie (hyp. de l'équilibre local en thermodynamique des phénomènes dissipatifs). Le système qui en résulte se caractérise alors par une complexité qui détermine son niveau de performance c'est à dire, sa capacité à maximiser l'énergie libre tout minimisant la production d'entropie.

Mais les environmentalistes sont aussi soumis à la critique fondamentale portant sur l'impossibilité de reconnaître une valeur aux objets inappropriés par l'impossibilité de les monétariser. Chaque opérateur économique ne peut faire des choix que sur la base d'une référence monétaire. Cette approche écosystémique est pour le moment inopérante, même si elle fournit une grille de lecture originale du fonctionnement des écosystèmes artificiels. Nous sommes donc obligés de tenter une relation entre flux néguentropiques et flux monétaires et de proposer que ces derniers sont des flux néguentropiques potentiels, c'est à dire que le possesseur de monnaie au temps de vie limité - monnaie fiduciaire (billets et pièces), monnaie scripturale (écritures comptables) - ou capitalisée à long terme dispose d'une capacité à acquérir des flux néguentropiques potentiels quels que soient leur expression (travail, aliment, informations, etc.).

La richesse est alors la capacité à libérer ce potentiel néguentropique, c'est à dire à produire un travail qui va modifier un existant.

## D: du modèle écosystémique à l'économique

### 1: de l'écosystème naturel à l'écosystème artificiel

Notre discours, dans le prolongement de ceux initiés par Odum, Pillet, Vigneron, etc., s'élabore à partir des principes de fonctionnement des écosystèmes naturels mais que l'on ne peut transposer exactement aux écosystèmes artificiels. Ceux-ci y sont certes soumis, mais introduisent dans leur fonctionnement tous les constituants de la noosphère. Celle-ci est alors à la fois vecteur de complexification, mais aussi à l'origine des crises permanentes que connaissent nos écosystèmes artificiels soumis à des contraintes que nous créons alors que les écosystèmes naturels sont soumis à des contraintes créées uniquement par le milieu<sup>12</sup>. Un écosystème artificiel, est donc plus éloigné de l'équilibre thermodynamique (entropie max.) qu'un écosystème naturel, cet écart à l'équilibre étant exprimé par le niveau de complexité. Mais aussi, un écosystème artificiel évolue autour d'un équilibre stationnaire dans des proportions plus importantes d'un écosystème naturel. L'apport de la noosphère est déterminant pour créer ces écarts à l'équilibre.

### a: la noosphère

Ainsi, l'approche écosystémique traditionnelle, à côté des facteurs physico-chimiques et biotiques, intègre pour les écosystèmes artificiels, les facteurs sociaux et bioculturels participant à la dynamique de ceux-ci (J. Vigneron, 1996). Dans cette dernière catégorie rentrent l'organisation et l'application des connaissances (magie, art, religion, science, etc.) jusqu'aux institutions qui structurent toute société.

Paul Duvigneaud, dans le prolongement de Vernadski, qualifiait la noosphère de l'ensemble des transformations de la biosphère par l'esprit humain, l'associant au terme de technosphère pour exprimer que ces transformations souvent néfastes étaient à l'origine de la crise de l'environnement.

Cette conception s'oppose à celle de Teilhard de Chardin qui associait au mot noosphère la somme des connaissances et doctrines accumulées au cours de l'histoire de l'espèce humaine, soulignant que celles-ci étaient déterminantes pour l'évolution de nos écosystèmes artificiels. La noosphère est par conséquent l'ensemble des déterminants qui participent à l'élaboration d'une Culture et éloignent les communautés humaines de la Nature.

La Connaissance est une des composantes de la noosphère à côté des facteurs religieux qui orientent nos actions. Cette croissance des connaissances permet la réalisation de travaux au sens physique sans commune mesure avec ceux mis en jeu dans les écosystèmes naturels. L'informativité de nos écosystèmes et de leurs éléments ne se fait donc pas uniquement par l'évolution du génotype, mais aussi par la capitalisation de savoirs hérités des générations précédentes. Ceci explique que dans les sociétés complexes, le temps de formation des juvéniles est très long; celle-ci permet en retour des performances néguentropiques sans commune mesure avec celle d'un état naturel. Ainsi, un homme seul sur la base de son travail musculaire est capable de transporter sur 1 mile 1750 tonnes par an. Selon la technique des attelages d'animaux, ce chiffre évolue entre 3500 tonnes à 9000 tonnes et ainsi de suite jusqu'à un camion de 30 tonnes qui transporte 3 millions de tonnes de fret par mile de route et par an (Witt, 1997).

Cet accroissement de la performance du transport est le résultat de l'association de techniques, de connaissances, d'expériences accumulées; en résumé de la complexification du processus de transport. Aussi, il n'y a plus aucune relation entre le travail réalisable à partir de la seule énergie musculaire et celui résultant de l'investissement intellectuel. Le premier terme est quasiment négligeable en regard du second terme.

Les écosystèmes naturels sont par conséquent soumis à un équilibre stationnaire presque total auxquels sont aussi soumis les écosystèmes artificiels. Mais à ces derniers sont intégrés des espaces noosphériques où la religion, la science, la morale, l'art et toutes les créations spirituelles d'*homo sapiens*, favorisent les conditions d'écart à cet équilibre.

Les économistes intègrent désormais dans les facteurs de production le capital humain qui désigne l'ensemble des connaissances et des talents acquis par les personnes par l'éducation. La connaissance devient alors un élément déterminant de la performance néguentropique. Celle-ci détermine la performance néguentropique; total du travail obtenu rapporté au total de l'énergie mis en jeu, thermodynamiquement fondée sur le premier principe. Or, nous avons étendu la notion d'énergie à celle de flux néguentropiques. Cette exigence de performance néguentropique explique pourquoi dans les pays développés une part importante du revenu des opérateurs économiques est consacrée à l'éducation. Aussi, un autre facteur de limitation de développement des écosystèmes artificiels complexes sera sans doute la capacité cognitive collective des systèmes. Déjà, la montée de l'exclusion sociale manifeste la rencontre avec cette limite.

---

#### b: capital humain

La théorie économique moderne a largement admis que le savoir, aussi bien en sa qualité d'intrant que de produit, est un élément essentiel du processus de croissance et de création d'emplois. De nos jours, le savoir sous toutes ses formes joue un rôle capital dans le fonctionnement de l'économie et constitue un élément déterminant de la noosphère, dont il assure une croissance régulière par les investissements croissants en recherche fondamentale et appliquée. Les investissements immatériels croissent beaucoup plus rapidement que les investissements matériels.

Les individus qui ont un meilleur niveau de connaissances que les autres obtiennent des emplois mieux rémunérés, les entreprises les mieux dotées en matière grise devançant leurs rivales sur les marchés et les pays qui disposent d'une base de connaissances plus étendue sont plus productifs que les autres. Ce rôle stratégique du savoir est à l'origine de l'accroissement des investissements réalisés par les individus, les entreprises et les pays dans le domaine de la matière grise sous toutes ses formes (Cuellec, 1996). En résumé, les économies de la zone OCDE sont d'ores et déjà, et seront de plus en plus à l'avenir, des "économies du savoir".

La théorie de la croissance a toujours admis le rôle fondamental de l'accumulation de connaissances dans le processus de croissance. Sans progrès technologique, il ne saurait y avoir d'accumulation durable du capital, ce qui provoquerait une diminution de la productivité marginale de ce dernier et, à l'équilibre, la productivité du travail de l'économie tendrait inexorablement vers zéro. C'est l'invention de nouvelles machines et de nouveaux biens intermédiaires qui ouvre des possibilités d'investissement.

C'est pourquoi, comme l'ont montré nombre d'études empiriques, c'est grâce aux gains d'efficacité induits par l'adoption, la diffusion et l'amélioration constante de nouveaux procédés de production que les salaires réels ont pu progresser au cours de la période qui a suivi la dernière guerre mondiale dans les pays de l'OCDE.

Ce progrès technologique est à l'origine d'une accumulation de capital non seulement physique, mais aussi humain. Si l'incorporation de la technologie dans le capital physique est une notion comprise depuis bien longtemps, ce n'est que depuis peu qu'est également reconnue l'importance croissante de son incorporation dans le capital humain. Il ne fait cependant guère de doute que le savoir permettant d'utiliser une technologie donnée fait partie intégrante de cette technologie. Les compétences humaines sont indispensables à l'utilisation, l'adaptation et l'entretien des nouvelles technologies incorporées dans le capital physique. Le capital humain et le progrès technique sont deux facettes du même phénomène, deux aspects indissociables de l'accumulation de connaissances. L'accumulation de capital humain peut se traduire à la fois par un accroissement des connaissances dont disposent les travailleurs qualifiés et par une augmentation du nombre de travailleurs qualifiés.

La prise de conscience de l'importance de cet élargissement considérable de la notion d'accumulation de connaissances - qui rend compte aussi bien du caractère abstrait du progrès technologique que de son incorporation dans le capital ou les ressources humaines - se situe bien entendu au cœur du renouveau de la «nouvelle» théorie de la croissance. L'importance des qualifications dans le processus d'accumulation de "capital humain" et le rôle de l'accumulation de capital humain en tant que facteur complémentaire de la technologie incorporée dans le capital physique sont tout aussi importantes. Ce capital humain devient alors au même titre que l'énergie ou la matière un élément participant au développement de la complexité des écosystèmes artificiels. L'information capitalisée acquiert alors le statut de capital néguentropique.

---

## 2: l'équivalence monnaie-flux néguentropiques

L'idée essentielle qui constitue la pierre angulaire de l'ensemble de nos discours futurs est l'équivalence entre flux monétaires et flux néguentropiques. Cependant, alors que ces derniers ne peuvent faire l'objet d'aucune subjectivisation, les premiers sont en permanence soumis au jeu de la noosphère, créant les conditions d'écarts permanents avec ces flux néguentropiques à l'origine d'une multitude de phénomènes que les discours contemporains qualifient de crise: inflation, spéculation, guerre, grève, bourse, valeur du travail, etc.

La monnaie est une des composantes de la noosphère, donc des écosystèmes artificiels, alors que les flux néguentropiques sont consubstantiels à l'ensemble des écosystèmes qu'ils soient naturels ou artificiels.

Un des principes de fonctionnement des écosystèmes artificiels est le déséquilibre permanent créé par la différence entre la valeur néguentropique d'un objet économique et sa perception noosphérique. Alors que les flux monétaires devraient être strictement équivalents aux potentiels néguentropiques qu'ils représentent, des phénomènes de subjectivisation ou de circonstances font qu'ils ne le sont jamais. Ces phénomènes de subjectivisation sont incommensurables. Des jeux de l'inconscient individuel ou collectif jusqu'aux ruses du commerce pour vendre la plus cher possible un objet économique élaboré en minimisant les coûts, cet écart permanent crée les conditions d'instabilité de nos écosystèmes, en sus de celles dues aux contraintes exercées par le milieu.

Or, entre l'approche monétaire de l'économie à travers le paradigme classique et l'approche écosystémique, fondée dans une première étape à partir de l'énergie, puis (c'est notre contribution) à partir de la notion de flux néguentropiques, subsiste une antinomie pour le moment non résolue; celle d'un lien éventuel entre les flux monétaires et les flux néguentropiques.

A travers l'étude des couplages entre assurances et environnement, nous avons montré que l'obstacle principal qui s'oppose à une reconnaissance du dommage écologique dans les bases d'indemnisation des dommages à l'environnement est la non monétarisation des biens inappropriés. La réponse traditionnelle des économistes acquis au paradigme écosystémique est que les évaluations monétaires et énergétiques devenues néguentropiques, selon notre formulation, sont complémentaires, mais irréductibles. Aussi n'envisagent-ils que des complémentarités et des articulations entre deux discours aux fondements différents.

Notre thèse est cependant qu'il y a une équivalence stricte entre les flux néguentropiques et les flux monétaires; le total de la monnaie en circulation ou stockée correspond à des flux néguentropiques en attente de réalisation, c'est à dire qui physiquement vont participer à l'entretien d'un écosystème artificiel d'un niveau de complexité donné.

Imaginons une pomme cueillie et consommée dans la nature par un chasseur-cueilleur du néolithique. Son potentiel néguentropique est alors immédiatement réalisé dans le système chasseur-cueilleur. Ce dernier néanmoins aurait eu aussi la possibilité de la stocker temporairement pour la manger plus tard. Le potentiel néguentropique aurait alors été réalisé plus tard. Il aurait été en quelque sorte économisé, capitalisé. Dans la nature, le potentiel néguentropique d'un objet naturel préexiste à toute socialisation de celui-ci, c'est à dire à son intégration comme objet naturel ou artificialisé dans un écosystème artificiel.

Ces potentiels néguentropiques sont constants dans le temps. Sous réserve d'une consommation dans des délais raisonnables, la valeur nutritive de la pomme est constante. Aussi, les variations de potentiel néguentropique se réalisent sur des durées longues. Cependant, l'objet naturel non approprié qu'est la pomme sauvage va subir une dénaturalisation par son intégration dans les écosystèmes artificiels. Ainsi, cette pomme pourra faire l'objet de sélection pour en rehausser la qualité, la durabilité ou la résistance aux saisons, etc. La pomme que nous trouvons dans les supermarchés n'est plus un objet naturel, il est une sorte d'organisme génétiquement modifié mais sans intervention directe dans le génome. D'objet naturel, il est devenu objet culturel et alors que son potentiel néguentropique a peu évolué, il a acquis une valeur assimilable à la valeur travail de K. Marx. Mais dans ce cas, il s'agit d'une informativité d'un objet à travers des millénaires d'agriculture.

Ainsi, les gains de blé que nous utilisons aujourd'hui n'ont-ils qu'un lointain rapport avec ceux issus des souches mésopotamiennes d'il y a quatre-cinq mille ans.

A un moment, ce potentiel néguentropique va faire l'objet d'une monétarisation. C'est à dire que la capacité à acquérir cette pomme ou plutôt le travail à réaliser pour la chercher dans la nature ou l'extraire d'un processus agricole va s'organiser à partir de cette monétarisation. Mais alors que ce potentiel néguentropique est constant ou à peu près, la monétarisation, elle, va faire l'objet d'une subjectivisation qui va s'ajouter à celle portant sur l'objet.

L'intégration de la pomme et de ses dérivés anthropisés dans la noosphère subjectivise son potentiel néguentropique qui d'un point de vue strictement physique reste égal dans le temps. Cependant, un 'consommateur' peut se tromper sur l'évaluation de ce potentiel néguentropique. Ainsi, un prédateur peut se méprendre sur la valeur nutritive d'une proie et/ou sa capacité de résistance à la prédation et donc réaliser une performance néguentropique négative ou nulle. De nombreux modèles proie-prédateur ou consommateur-producteur reposent sur ces incertitudes de performances potentielles fondées sur la théorie mathématique des jeux de Von Neumann et de Morgenstern.

L'écart entre le potentiel néguentropique et la perception néguentropique (la valeur des économistes) d'un objet économique est permanent, mais variable. Lorsque l'écart atteint des valeurs critiques (longueur de cohérence du système), le système réagit proportionnellement à l'amplitude de l'écart pour annuler ce dernier. Dans un écosystème naturel, il n'y a pas d'écart car il n'y a pas de monétarisation des flux néguentropiques. Hormis sous les contraintes créées par l'action du milieu sur l'écosystème, celui-ci évolue lentement, chaque espèce tendant cependant à augmenter son efficacité néguentropique dans une approche darwinienne. L'écosystème donne alors l'apparence d'être en équilibre; le fameux équilibre écologique<sup>13</sup>. En revanche, dans les écosystèmes artificiels, les concepts issus de la théorie darwinienne sont toujours valables, mais l'apport de la dimension culturelle par la création d'une noosphère crée les conditions d'un déséquilibre permanent entre les flux néguentropiques et leur appréciation. Le facteur noosphérique est par conséquent fondamental pour comprendre comment nos écosystèmes artificiels restent soumis aux principes de fonctionnement des écosystèmes, mais y dérogent en permanence. Les écosystèmes artificiels intègrent une dimension noosphérique que n'ont pas les écosystèmes naturels et qui crée des contraintes et des désordres s'ajoutant à ceux produits par le milieu. Les évolutions y sont par conséquent plus rapides, sensibles à l'échelle humaine. Elles contrastent avec la perception d'un équilibre naturel qui n'existe pas à l'échelle biologique ou géologique, mais qui évolue plus lentement le rendant imperceptible à l'échelle humaine<sup>14</sup>.

Ainsi, le prix d'un bien c'est à dire d'un potentiel néguentropique dans sa capacité à entretenir la complexité d'un écosystème artificiel va varier en fonction d'une multitude de facteurs: l'habileté du vendeur, l'adresse de l'acheteur, les pulsions inconscientes des uns ou des autres, etc. Il est quasiment impossible de répertorier l'ensemble des éléments déterminant la subjectivisation de la valeur d'un bien d'une part et de son expression monétarisée d'autre part; la monnaie devenant à son tour objet économique. En revanche, il est possible de favoriser une approche écosystémique en renonçant à estimer les évolutions du système à partir des caractéristiques et évolutions de ses constituants, mais en déterminant des variables d'état intensives ou extensives qui vont le caractériser. Au lieu d'une approche réductionniste tendant à déduire le comportement d'un système à partir de ses plus petits communs éléments (théorie atomiste) nous admettons l'émergence macroscopique de propriétés irréductibles à ses constituants et construisons des discours à partir de ce choix épistémologique: c'est la pensée complexe.

L'objectivisation de la valeur néguentropique d'un objet consubstantiel au fonctionnement d'un écosystème artificiel et son expression monétaire, lorsqu'il en a une, est donc rare voire inexistante. Aussi, même si d'un point de vue théorique, il y a équivalence entre les flux monétaires et les flux néguentropiques, ceci ne se réalise jamais dans la réalité (à prendre au sens phénoménologique). Mais, la contribution d'un flux néguentropique à la structuration d'une complexité ne dépend pas de sa subjectivisation. On a par conséquent un écart permanent positif ou négatif entre ces flux et leur expression monétaire. Or, en équilibre stationnaire, la réponse d'un système est d'annuler tout ce qui contribue à écarter celui-ci de cet état. (cf conditions de stabilité des systèmes en thermodynamique des phénomènes dissipatifs: thermodynamique linéaire hors équilibre). Notre hypothèse est par conséquent que toutes les manifestations dites de crise (que l'on identifiera pas) sont les expressions d'une dialectique opposant les éléments de la noosphère créant les conditions de l'écart à l'équilibre stationnaire et la réponse du système pour supprimer ces écarts.

---

### 3: application à divers phénomènes

---

#### a: valeur et richesse

Sur quoi se fonde la valeur d'un bien ? Sur une approche irrationnelle quasi-mystique pour certains d'entre eux ou bien alors sur une objectivisation d'un objet définissable ou quantifiable ? Comme dans d'autres sciences, la valeur exprime un principe de conservation propre à l'analyse économique. Pour les néoclassiques, la valeur est égale à la valeur d'utilité et ne réside pas dans les objets économiques mais dans les préférences des opérateurs économiques<sup>15</sup>.

La théorie néoclassique puise ses concepts dans la physique mécanique. Mais alors que la physique s'est largement renouvelée depuis Lagrange-Laplace, l'économie et surtout les politiques qui en sont issues n'ont guère évolué en dehors du paradigme classique. Cependant, l'économie n'a pas ignoré la thermodynamique.

Le fondement de la théorie néoclassique est l'analogie entre énergie potentielle et utilité. Elle repose aussi sur l'idée qu'un seul prix existe, ce qui facilite la recherche de solutions mathématiques. Notons que pour un pratiquant de l'économie, surtout un assureur, l'idée d'un prix unique est une vue de l'esprit.

Aussi, ce principe de conservation qui établit la constance de la somme des dépenses et de l'utilité, implique l'égalité des élasticités de substitution en situation d'équilibre paraît surprenant. Cependant, c'est à partir d'une éventuelle identité entre monnaie et utilité que s'est édifiée une science naturelle de l'économie: l'économie.

Notre idée est que la valeur ne se fonde pas sur l'utilité, mais sur la capacité d'un objet économique à artificialiser les écosystèmes en les isolant du monde naturel et en les éloignant de l'équilibre thermodynamique, ceci afin d'en augmenter les performances néguentropiques. Ceci passe par une complexification croissante de ces écosystèmes, c'est à dire la mise en relations de constituants de plus en plus nombreux avec le but d'optimiser à la fois l'énergie libre et de minimiser la production d'entropie. L'élément monétaire ou une appréciation de la valeur fondée sur l'utilité en référence à des besoins à la fois néguentropiques mais aussi irrationnels crée les conditions de subjectivisation des objets économiques par les opérateurs économiques.

Un regard écosystémique fondé sur ces hypothèses permet de générer de nouveaux discours à partir des positions relatives des flux néguentropiques et des flux monétaires.



Cette opposition-association entre flux néguentropiques et flux monétaires est née d'une réflexion sur la valeur et la richesse qui s'impose à tout environnementaliste. Notre thèse est que la richesse est l'expression d'un potentiel néguentropique, c'est à dire le stockage de flux néguentropiques, donc la capacité à artificialiser les écosystèmes non pas à l'instant mais à court ou moyen terme. Cette artificialisation favorise l'entretien et le développement de la complexité des structures de non équilibre que sont les écosystèmes artificiels. Cependant, la représentation monétaire de ce potentiel néguentropique en cache la réalité, créant les conditions d'une illusion de la richesse à travers la monnaie: l'illusion monétaire.

---

### b: l'illusion monétaire

La richesse, d'un point de vue physique, est donc perçue comme la capacité à l'instant de libérer des flux néguentropiques qui de flux latents ou potentiels deviennent des flux sensibles<sup>16</sup>. Or, leur représentation monétaire est en permanence soumise à une appréciation noosphérique. Il y a par conséquent une illusion de la richesse dans la mesure où une quantité de monnaie ne représente pas forcément exactement sa réalité néguentropique.

---

#### b-1: l'or espagnol

L'éviction du jeu européen au 18<sup>ème</sup> siècle de la couronne d'Espagne qui avait fait le pari d'un enrichissement par apport de métaux précieux des Amériques en est un des exemples les plus fameux. Celle-ci a confondu la représentation de la richesse avec la richesse qui, de notre point de vue, est la capacité d'un opérateur économique à participer et à développer la complexité d'un écosystème artificiel donné. La quête de l'or devait leur assurer cette richesse alors qu'ils ne faisaient que faire baisser sa valeur représentative au détriment de la croissance de la vraie richesse. Il y a donc une illusion de la richesse à partir d'une monnaie subjectivée. L'afflux de métaux précieux en Europe après la découverte de l'Amérique fut suivie d'une série de perturbations dont la gravité culmine dans les pays ayant profité de cette 'richesse'.

#### b-2: l'inflation

L'équivalence entre flux néguentropiques et flux monétaires permet d'avancer aussi une hypothèse pour expliquer l'inflation. Celle-ci est dans la théorie économique due à une impression de monnaie par l'organisme émetteur ce qui entraîne une augmentation des prix. Or, la capacité du système à gérer des flux néguentropiques selon sa complexité ne peut pas évoluer dans les mêmes proportions. L'inflation est par conséquent un des nombreux phénomènes permettant au système de respecter l'équivalence flux monétaires-flux néguentropiques. La décision d'imprimer de la monnaie relève de la noosphère; l'inflation qui en résulte est une réponse du système.

---

### c: valeur relative des monnaies et PIB

L'émergence des préoccupations environnementales au début des années 1970 a induit deux types de discours sur l'économie de l'environnement. Le premier, dans la tradition classique tente d'intégrer cette nouvelle dimension en utilisant des outils et en se référant à des discours élaborés pour 'lire' le fonctionnement des écosystèmes artificiels de l'Occident.

Face à cette conception réductionniste, les environnementalistes ont puisé dans les discours de la thermodynamique, de l'écologie pour proposer des réponses originales aux problématiques nouvelles soulevées par la crise de l'environnement. Il serait par conséquent assez tentant d'opposer ces deux démarches et de vouloir exclure l'une au profit de l'autre.

Notre postulat est qu'il est présomptueux de contester fondamentalement le discours économiste, comme le font de nombreux écologistes, mais en revanche qu'il est tout aussi illusoire de le transposer sans réflexion critique aux couplages entre écosystèmes naturels et écosystèmes artificiels.

Une grille de lecture écosystémique, à développer, paraît donc indispensable pour modéliser le fonctionnement des écosystèmes quels qu'ils soient; l'artificialisation de ceux-ci, donc l'éloignement de la situation naturelle, obligeant à compléter le discours écosystémique par le discours économique. Mais sans exclusion.

Ce débat rejoint celui portant sur l'opposition entre vitalisme et thermodynamique à la fin du XIX siècle; les premiers postulant que le deuxième principe de la thermodynamique ne permettait pas de comprendre la vie et par conséquent que les lois de la thermodynamique ne s'appliquaient pas aux structures vivantes. Le développement de cette physique a montré que les structures vivantes étaient soumises aux lois de la thermodynamique, et donc que malgré cela des structures auto-organisées pouvaient se développer loin de l'équilibre thermodynamique<sup>17</sup>. Ceci a condamné l'attitude vitaliste en révélant qu'à l'équilibre thermodynamique la production d'entropie est nulle mais l'entropie est max, les relations linéaires dominant. Plus le système s'éloigne (est éloigné) de l'équilibre thermodynamique plus l'entropie est faible, mais plus la production d'entropie est élevée.

En termes issus de l'économie, le PNB mesure l'évolution de la production nationale par l'intermédiaire des variations du volume total des transactions. La critique principale qui est portée à cet indicateur est qu'il est de dimension scalaire et non pas un vecteur dont les composantes correspondraient aux divers secteurs de l'économie. Tout ce qui a pour résultat un accroissement des dépenses enregistré comme une croissance, donc un progrès. Ainsi, les panes de nos écosystèmes artificiels son inscrites à son crédit.

Une catastrophe détruit le quartier d'une ville; les frais de reconstruction participent au PIB/PNB. Les intermédiaires augmentent entre le producteur et le consommateur final, le PNB aussi. Ces deux exemples sont à l'origine d'une critique virulente des écologistes contre cet indicateur. Or, une approche écosystémique montre que l'utilité d'un opérateur économique est justifiée dès lors qu'il participe à l'entretien et à l'augmentation de la complexité du système afin d'optimiser la gestion des flux néguentropiques. Réparer un objet détruit ou s'engager dans l'intermédiation participent à l'entretien et au développement de cette complexification.

L'approche écosystémique admet que toute structure vivante auto-organisée cherche à optimiser sa performance néguentropique, mais le milieu dans son ensemble modère sensiblement cette tendance à maximiser les flux.

Aussi, de notre point de vue, et compte-tenu de l'équivalence entre flux monétaires et flux néguentropiques, étant entendu que plus un système, quel qu'il soit, évolue loin de l'équilibre plus la production d'entropie augmente, alors, le PIB d'une part, mais aussi la PIB par habitant est un bon indicateur pour sinon estimer, ce qui pour le moment est impossible, mais pour comparer des pressions environnementales par pays ou zone économique homogène<sup>18</sup>.

Cette conclusion est à tempérer à partir de notre discours sur la subjectivisation de la monnaie, mais sur le long terme, il est possible d'évaluer ces pressions comparées, les écarts à la réalité néguentropiques étant lissés par les crises qui ramènent l'appréciation des flux monétaires à leur réalité néguentropique. Rappelons que dans le terme flux, nous intégrons les stocks, comme le capital dans le cas de la monnaie.

La valeur relative d'une monnaie est par conséquent déterminée par la performance néguentropique globale du système qui l'émet. Cette valeur s'établit sur la plus petite performance néguentropique (capacité à complexifier) requise pour pouvoir évoluer dans le système qui émet la monnaie. Cette capacité à évoluer signifie que l'opérateur économique est, compte-tenu de la complexité du système, susceptible d'apporter une valeur-ajoutée physique utile. Par conséquent, 1 dollar n'est pas l'expression du même potentiel néguentropique au Etats-Unis ou en Afrique. Au sein d'un même ensemble économique utilisant la même monnaie les différences de potentiels néguentropiques s'expriment à travers des prix différents.

La valeur d'une monnaie s'établit aussi à partir de la complexité du système qui l'émet; performance néguentropique et complexité étant liés. Elle exprime la capacité à gérer des flux néguentropiques. Aussi, toutes choses étant égales par ailleurs, dans un système de complexité donné, une même quantité de monnaie permet d'acquérir la même quantité de flux néguentropiques quelles que soient leurs origines. Ceux-ci, équivalents aux flux monétaires, sont alors exprimés par les macro-indicateurs PIB/PNB.

Cependant, l'assimilation de la richesse à la quantité d'argent est une grossière erreur dans la paradigme écosystémique si la dimension subjective de celle-ci n'est pas soulignée. La valeur relative d'une monnaie peut être surévaluée en regard de la performance néguentropique de l'écosystème émetteur. Mais une fois admis ce principe les indicateurs type PIB ou PIB par hab. sont de bons indicateurs de la complexité des systèmes et de leurs performances néguentropiques à travers la valeur relative des monnaies.

---

#### d: taux actuariel et espérance de complexification

Cette identité entre PIB/PNB et les concepts issus des principes de fonctionnement des écosystèmes que nous avons exposés, permet de formaliser une réflexion sur la notion de taux actuariel, de cours de bourse, d'intérêts, de parités monétaires afin de préciser à la fois le cadre théorique mais aussi ses finalités. Bien que n'ayant pu développer ces points de notre travail, nous livrons néanmoins nos premières intuitions. Notre discours s'articulerait alors sur la notion de potentiel néguentropique, de performance néguentropique et de complexité.

Cette question fondamentale de l'analyse économique contemporaine tend de nos jours à dépasser la polémique opposant les partisans du principe de l'intérêt des autres pour désormais distinguer intérêt et actualisation. L'intérêt apparaît alors comme le prix de l'argent auquel il est nécessaire d'intégrer plusieurs facteurs dont les principaux à notre avis sont:

- le financement du risque de perte du capital par mutualisation avec d'autres risques (c'est assimilable à une opération d'assurance avec la détermination d'une prime de risque);
- les coûts de gestion de l'organisation de la relation emprunteur-prêteur;
- mais surtout l'actualisation d'une unité monétaire qui paraît être, pour tous les systèmes économiques, le facteur de valorisation du temps dans la dynamique économique.

Or, si tout le monde s'accorde sur cette idée de valorisation du temps, les hypothèses sont nombreuses pour la caractériser. Selon notre approche, l'actualisation est fondée sur l'espérance de croissance de la complexité du système dans le temps qui aboutit à un accroissement de la performance néguentropique de celui-ci. Cette différence de performance néguentropique espérée détermine la valeur actualisée de la monnaie donc de ses conditions de prêt. Une opération financière rentable consiste alors à prêter de l'argent avec une espérance de production d'intérêt supérieure à celle de la croissance de la complexité du système. Prêter de l'argent revient à hypothéquer des flux néguentropiques potentiels. Aussi, cette opération a comme préalable la perspective d'une croissance de la complexité; les questions morales perturbent cependant l'application stricte d'un principe fondamental du fonctionnement de nos écosystèmes artificiels complexes, ou pays développés, selon l'école à laquelle on se réfère.

### E: la Morale et l'écosystème

Le courant dominant de l'écologie politique a un objectif social de redistribution des richesses. Or, la thèse développée dans le chapitre suivant propose une nouvelle lecture de l'exclusion sociale et du constat de son augmentation inéluctable. Aussi, les facteurs moraux étant déterminants dans la constitution et le fonctionnement des écosystèmes artificiels, la croissance de la complexité de nos sociétés et la découverte de la finitude de l'écosphère risquent de modifier les bases morales de celles-ci, dans la mesure où l'homme, dont le concept est identifié à l'espèce *homo sapiens sapiens*, a changé de statut. Hier animal-machine dans beaucoup de sociétés, la complexification de nos sociétés fait que ceux qui étaient utilisés pour des travaux fondés sur la force physique n'auront plus aucune utilité demain, et déjà aujourd'hui, s'ils ne peuvent évoluer vers des fonctions plus élaborées.

Ce changement potentiel de la Morale à court-terme fait que l'homme de richesse en soi risque de devenir nuisance.

Hier, il était richesse car même l'individu le plus frustré avait la capacité à développer une force motrice d'une habileté et d'une soumission supérieure à celle de l'animal le plus performant. Ce faisant, il participait à l'artificialisation des écosystèmes. Aujourd'hui, cette artificialisation passe par d'autres voies et notamment la maîtrise de processus où la gestion d'informations domine les autres modes d'intervention sur les écosystèmes. Une majorité d'hommes devient alors nuisance. La vie humaine ne sera par conséquent plus une valeur inaliénable, mais dépendra de la capacité à s'intégrer dans des sociétés au niveau de complexité croissant dans des milieux aux ressources finies.

Aussi, en rupture avec les espérances messianiques du développement durable notre crainte est que la crise de l'environnement induise des pratiques de plus en plus complexes créant les conditions de la fin de l'humanisme. A une Morale universelle fondée sur le souci d'autrui, que René Dubos affirme<sup>19</sup> être commun à l'ensemble de l'humanité, la crise de l'environnement et les interrogations qu'elle suscite risquent d'en modifier les fondements. A l'expression, il n'y a de "richesse que l'homme" succéderont peut-être d'autres valeurs où l'homme, confronté aux limites écosystémiques mais aussi à ses limites cognitives, ne sera plus une richesse en soi.

A l'époque de faible développement technologique cette morale fut fondée sur des bases matérialistes, chaque homme étant *a priori* capable de produire du travail musculaire.

Mais avec le développement de la complexité de nos écosystèmes artificiels la valeur de ce travail musculaire devient nulle compte-tenu de son coût 'énergétique' en regard de celui nécessaire pour mettre en œuvre le même travail par des machines conduites par des hommes qui ont la possibilité de le faire. Le modèle de la valeur-ajoutée présenté dans le chapitre suivant, si il est y vrai, n'est pas limité à un seul discours économique et social. Il pourrait participer à une nouvelle conception où l'homme ne sera plus perçu comme une richesse, mais comme un pollueur potentiel dont l'impact sur les écosystèmes quels qu'ils soient doit être compensée par un apport à l'entretien et au développement des écosystèmes artificiels dans lequel il évolue.

Notons que la Chine confrontée plus tôt que l'Occident aux limites de ses ressources naturelles a développé une morale différente de la morale humaniste de l'Occident. Quiconque visite la Chine constate qu'il n'y a pas d'exclus. Les gens y sont souvent modestes, mais même le plus modeste a son utilité, alors que dans nos sociétés riches, nous entretenons au nom de l'humanisme une population croissante de gens qui n'ont plus aucune utilité sociale compte tenu du niveau de complexité de celles-ci. La conception de l'homme dans les civilisations asiatiques est-elle l'avenir de l'humanisme occidental ? On verra.

Pour le moment, la grille de lecture écosystémique élaborée pour construire de nouveaux discours a permis d'éclairer une des causes structurelles de l'exclusion sociale à partir du modèle de la valeur ajoutée. Ce dernier montre que celle-ci trouve sa source non pas dans une politique donnée, mais qu'elle est consubstantielle à la complexification de nos écosystèmes artificiels; la politique venant amplifier ou limiter ce phénomène.

#### F: conclusion

Les principes de fonctionnement des écosystèmes qu'ils soient naturels ou artificiels sont identiques d'un point de vue physique.

Cependant, la composante noosphérique qui caractérise les écosystèmes artificiels crée les conditions d'une appréciation erronée de la réalité des flux néguentropiques qui participent à l'entretien et au développement de leur complexité.

La conscience de cette différence permet de créer de nouveaux discours susceptibles d'apporter un éclairage différent de ceux avancés par les économistes sur le fonctionnement de nos sociétés; ceci à partir d'une approche écosystémique. L'équivalence systémique entre flux néguentropiques et flux monétaires en est un.

## VII: Le modèle de la valeur-ajoutée

### A: introduction

Le concept de développement durable souligne la nécessité de ne plus concevoir le développement sous le seul aspect économique, mais d'y intégrer les dimensions sociales et environnementales. Or, un des phénomènes les plus marquants de la fin du vingtième siècle fut l'apparition de sociétés à 'deux vitesses' que ce soit sur le plan mondial avec des pays qui se développent et d'autres qui régressent; et sur un plan local par une amplification de l'exclusion. Ainsi, aujourd'hui, on estime à environ 6 à 8 millions le nombre de personnes qui en France ne vivent que grâce à l'assistance sociale ou dans la rue. Ce phénomène suscite une abondante littérature pour dénoncer cette situation de fracture sociale, aussi nous avons proposé une approche de la dynamique de l'emploi fondée à partir des éléments du paradigme écosystémique. Celui-ci permet en effet une approche non monétaire de l'économie fondée sur les flux d'énergie, de matière et d'informations qui complète utilement les travaux des économistes.

Notre but fut de proposer un éclairage supplémentaire de l'exclusion afin de la combattre et de favoriser un "développement durable". Nous avons pris comme justification à la publication de ces réflexions la législation sur les 35 heures avec comme idée que le rapport entre valeur-ajoutée et coût du travail détermine l'ampleur de l'exclusion des circuits économiques. Mais au lieu de limiter l'analyse aux seuls éléments comptables micro ou macroéconomiques, nous avons construit un discours à partir des notions de flux néguentropiques, de complexité et de tous les éléments constitutifs du paradigme écosystémique. Ce discours a comme pierre angulaire le modèle de la valeur-ajoutée.

### B: La lutte contre l'exclusion: fondement du développement durable

#### 1: la dimension sociale du développement durable

La notion de fracture sociale ne revêt pas la même dimension que celle d'inégalité sociale. Cette dernière exprime un jugement moral fondé sur l'idée que des différences de revenus constituent des injustices sociales. Mais les plus bas revenus ne se trouvent pas forcément exclus de l'activité globale, simplement ils en retirent une rémunération leur permettant à peine de subsister. Tout le courant socialiste né au 19ème siècle tend à supprimer ces écarts perçus comme des injustices sociales. Au contraire, la notion de fracture sociale exprime l'idée que des personnes ou des peuples entiers sont devenus en quelque sorte hors jeu et ne vivent désormais que par la volonté de ceux qui participent au jeu quelle que soit leur position, modeste ou déterminante. Aussi, la lutte contre l'exclusion est devenue une référence incontournable des discours politiques récents; le chômage persistant étant une des manifestations les plus visibles de cette exclusion.

#### 2: exclusion et chômage: l'insatisfaction des modèles traditionnels

La théorie économique<sup>1</sup> discerne quatre grandes approches des problèmes économiques:

- la théorie classique dont les représentants les plus fameux sont Adam SMITH et David RICARDO,
- la théorie néo-classique dont les représentants les plus cités sont Léon WALRAS et Alfred MARSHALL,
- la théorie marxiste,
- la vision keynésienne.

Trois grilles de lecture sont habituellement distinguées pour expliquer le chômage. Il s'agit des approches keynésienne, marxiste et classique, néo-classique. Cette dernière se fonde, en grande partie sur les œuvres de Léon Walras (1834-1910), de Vilfredo Pareto (1848-1923) et sur les travaux de l'école marginaliste. En France, aujourd'hui, le débat sur le chômage se résume aux arguments opposants néo-keynésiens et néo-classiques.

Selon l'approche classique/néo-classique, les comportements des consommateurs ou des producteurs répondent à des stratégies de maximisation sous contraintes. Les arbitrages réalisés dépendent des dotations disponibles et des rapports de force: répartition de la valeur ajoutée, capacités de négociation, marges de manœuvre, etc. Dès lors, et grâce aux "bienfaits de la concurrence", l'agrégation des préférences est censée déboucher sur une allocation optimale des ressources.

La théorie néo-classique est la traduction macroéconomique de la théorie de l'équilibre général microéconomique grâce auquel le jeu concurrentiel des marchés conduit à la fois au plein emploi et à la pleine utilisation des capacités de production. Keynes apportera, avec la Théorie Générale, la première théorie cohérente d'un chômage dû à une insuffisance de la demande.

Pour les néo-keynésiens, les ménages subissent du chômage quand les entreprises souffrent d'un manque de débouchés; des prix trop élevés par rapport à la demande solvable pérennisent cette situation. Prises collectivement, les entreprises auraient intérêt à embaucher les chômeurs qui, grâce à leurs revenus, consommeraient le surcroît de production sur le marché des biens. Mais par manque de coordination, prise individuellement, aucune d'entre elles n'a intérêt à embaucher un chômeur.

Aussi, lorsque le prix est flexible et que seul le salaire nominal est rigide, le chômage est dû simultanément à une demande insuffisante et à un salaire réel trop élevé; le marché des biens est en équilibre, mais le marché du travail reste déséquilibré. C'est la situation que décrit Keynes dans la Théorie Générale.

C'est l'absence d'une politique générale et globale qui maintient le sous-emploi, au sens de Keynes. Seule une intervention extérieure (en l'occurrence celle de l'Etat) permet de surmonter cette situation qualifiée de chômage keynésien. Elle est à l'origine des différentes politiques appliquées ou souhaitées à l'échelle nationale ou communautaire.

Pour les néo-classiques, les ménages souffrent du chômage du fait que les entreprises butent non pas sur une contrainte de débouchés, comme dans le cas précédent, mais sur une contrainte de rentabilité. Le coût du travail réel détermine un niveau de production inférieur à celui que seraient prêts à absorber les ménages, et en même temps un niveau d'emploi inférieur au niveau de plein emploi. Cette situation, résultant d'un salaire réel trop élevé, est celle d'un chômage classique.

Enfin, il se peut que la demande soit excédentaire sur les deux marchés. Les entreprises butant sur la pénurie de main-d'œuvre ne peuvent satisfaire la demande de biens et de services des ménages. Cette situation, qui devrait se résoudre à terme par la hausse des prix et des salaires, est celle dite de l'inflation contenue.

Les économistes ont de tout temps recherché comment le coût du travail influe sur l'emploi. Pour les néo-classiques, le chômage est la résultante de salaires réels trop élevés. Les keynésiens leur répondent que le salaire est aussi un revenu dont la baisse entraîne une diminution de la demande adressée aux entreprises, et par là avoir un effet négatif sur l'emploi par manque de consommation.

Depuis, la théorie du déséquilibre en économie a dépassé ce clivage pour avancer que, selon les configurations de prix et de salaires, le chômage peut être de nature "classique" lorsque les entreprises sont soumises à des contraintes de rentabilité, ou de nature "keynésienne" si c'est la contrainte de débouchés qui domine.

Les tentatives de rapprochement entre approche néo-classique et approche keynésienne ont abouti à l'idée que lorsque les prix et les salaires sont rigides, l'économie peut connaître des situations de chômage dues simultanément à une demande insuffisante et à un salaire réel trop élevé. Une hausse de la demande permet de réduire le chômage car, comme elle entraîne simultanément une hausse des prix, le salaire réel diminue et l'offre de biens peut augmenter en même temps que la demande. Cette situation est en quelque sorte intermédiaire entre le chômage classique et le chômage keynésien.

Malgré la richesse de ces controverses sur la nature du chômage, tous les spécialistes s'accordent à penser qu'aujourd'hui la théorie économique achoppe sur l'explication de ce phénomène. Alors que le nombre d'emplois s'est accru de près de 30% aux Etats-Unis entre 1981 et 1996, il a stagné en Europe avec moins de 1,5 % d'accroissement en Allemagne, en France, en Italie et au Royaume-Uni pendant la même période. La spécificité américaine serait due à la flexibilité du marché du travail et à l'adaptabilité de son coût.

Les performances des Etats-Unis confortent les néo-classiques qui cherchent à démontrer que la confrontation de l'offre et de la demande assure l'équilibre des transactions. Des perturbations peuvent certes intervenir mais, selon eux, elles ne sont que temporaires; les mécanismes d'autorégulation assurant une protection efficace contre un chômage massif et durable. Selon eux, les phénomènes de surproduction ou de chômage seraient finalement la conséquence d'interventions néfastes des opérateurs économiques (Etat, entrepreneurs, syndicats), alors que laissé à lui même le système tendrait vers un équilibre général assurant à chacun travail et consommation.

Enfin, relevons que malgré l'importance de la pensée marxiste dans la formation des classes dirigeantes d'aujourd'hui, celle-ci n'est que rarement évoquée.

---

#### a: théorie classique et néo-classique

Dans la théorie classique, les prix et les salaires sont flexibles. Les offres et les demandes résultent de la maximisation du profit des entreprises et de l'utilité du consommateur. La demande de consommation des ménages dépend du revenu disponible réel (donc du volume de la production) et de l'encaisse monétaire réelle.

Selon cette approche, la maximisation du profit conduit à l'égalisation de la productivité marginale du travail et du salaire réel. Le prix ajustant l'équilibre entre l'offre et la demande de biens, cette dernière coïncide toujours avec l'offre de biens.

Si le salaire réel est supérieur au salaire d'équilibre et qu'aucune rigidité perturbe le fonctionnement de ce marché, le chômage est dû à un salaire réel trop élevé. Les travailleurs sont obligés d'accepter un salaire réel plus bas pour trouver du travail ce qui favorise le plein emploi.

Dans le modèle classique, la flexibilité du salaire assure l'équilibre du marché du travail et la flexibilité des prix garantit l'équilibre du marché des biens. Le plein emploi est réalisé ainsi que l'utilisation maximale des capacités de production.



La politique économique est alors inutile car une hausse des dépenses publiques ne fait qu'évincer la demande privée sans effet sur la production.

A cette vision théorique s'oppose le comportement des agents qui créent des rigidités sur les prix et sur les salaires; les offres et les demandes de biens ne coïncident plus. La théorie du "déséquilibre" ou des équilibres non walrassiens a été développée au milieu des années soixante-dix pour rendre compte de cette réalité. Le salaire dépend alors de la productivité, mais aussi des normes sociales et des règles institutionnelles.

---

#### a-1: cas de l'équilibre général

Selon les néo-classiques, la demande de travail des firmes s'élève avec la baisse des salaires et diminue avec sa hausse. En conséquence, pour favoriser l'emploi, il faut que le salaire soit inférieur à la productivité marginale du travail.

Mais, pour les salariés, l'opportunité de travailler est déterminée par la mise en rapport de la désutilité d'un emploi (pénibilité, aliénation du temps, etc.) avec les avantages procurés par les revenus issus du travail.

Aussi, dans le cadre d'analyse walrassien, l'équilibre général est atteint si les prix de tous les biens et services (dont le travail) sont parfaitement flexibles en fonction de l'offre et de la demande. Prix et salaires sont en effet supposés fixés par un "commissaire-priseur" ou une "main invisible" qui réalise l'équilibrage offre/demande sur tous les marchés.

---

#### a-2: cas de déséquilibre

La théorie du déséquilibre part du cadre d'analyse walrassien en concurrence parfaite, dans lequel elle introduit une rigidité des prix<sup>2</sup>. Ainsi, un contexte d'information et/ou de concurrence imparfaite débouche sur la fixation d'un salaire réel supérieur au salaire walrassien dit aussi salaire d'équilibrage. Ces rigidités salariales provoquent un chômage qualifié de "chômage d'équilibre". Ce chômage est involontaire, car les travailleurs qui seraient prêts à accepter un salaire inférieur au salaire d'équilibre ne peuvent être embauchés faute d'une demande de travail suffisante compte-tenu du niveau de salaire. Les salariés en place sont d'autant plus en position de force pour négocier des salaires élevés que l'information est imparfaite sur le marché du travail et sa rigidité élevée.

---

#### a-3: l'apport des disciplines scientifiques à la vision classique de l'économie

La vision dite classique de l'économie fondée sur l'équilibre s'intègre au paradigme mécaniste dominant de la science moderne du 19<sup>ème</sup> siècle qui postule que tout système, qu'il soit humain ou naturel, fonctionne à partir de constantes d'équilibre. On citera comme illustration de ce paradigme la loi de Van't Hoff-Le Chatelier sur les conditions d'équilibre en chimie.

La convergence vers cet équilibre n'est pas immédiate, et comme le faisait déjà remarquer Turgot dès la seconde moitié du XVIII<sup>ème</sup> siècle "*il y a dans toute machine compliquée des frottements qui ralentissent les effets les plus infailliblement démontrés par la théorie, tôt ou tard, néanmoins, les niveaux d'origine se rétabliront*".

L'intégration de ces frottements dans la réflexion scientifique a abouti à la création de la thermodynamique.

---

#### a-4: postulats de base de la théorie classique

Une première approche que les économistes utilisent pour analyser la relation entre coût du travail et emploi est de se placer au niveau de l'entreprise dans le cadre de la théorie micro-économique. Elle comporte plusieurs hypothèses fondamentales:

- le travail fait l'objet de choix calculateurs alternatifs. Le salarié peut préférer utiliser son temps pour des loisirs plutôt qu'à travailler; le chef d'entreprise, choisir des machines à des hommes pour produire. Cette rationalité présupposée de l'opérateur économique porte alors sur la substitution entre objets économiques. Pour les libéraux la rationalité collective correspond à la somme des rationalités individuelles.

- le travail fait l'objet d'optimisations permanentes, les agents économiques recherchant l'optimisation marginale maximum de leurs efforts. L'intégration du travail dans les calculs des agents se fait en utilisant l'arsenal traditionnel des formulations marginalistes.

- le marché du travail est transparent ce qui signifie que l'information est parfaite. Les agents sont donc pleinement informés sur les salaires proposés, sur les caractéristiques des emplois, sur les aptitudes et la motivation des candidats travailleurs, etc.

- les transactions portent sur des unités homogènes de travail permettant des comparaisons exactes.

Ces quatre hypothèses ne correspondent que de très loin à une description, même sommaire, d'un marché du travail concret. Par contre, ces préalables sont indispensables à l'approche économique classique, mais l'exposent aussi aux critiques rejetant en bloc ces fondements.

---

#### a-5: productivité marginale et emploi

L'application la plus concrète de la vision équilibrée de l'économie est celle mettant en relation la productivité marginale du travail et l'emploi.

Selon le modèle microéconomique, l'entreprise est conçue comme une fonction de production qui combine des quantités données de facteurs de production (1,2,3,...,N) pour produire un bien ou un service:  $Q = F(X_1, X_2, X_3, \dots, X_N)$ .

L'hypothèse à la base de cette approche est que l'entreprise ne supporte aucune contrainte pour écouler ses productions au prix du marché. Son objectif est alors de fixer le niveau de production qui maximise son profit en fonction du prix de vente ramené à un standard, et du coût des différents facteurs de production.

La productivité marginale de chaque facteur de production est supposée décroissante, ce qui signifie que la quantité supplémentaire de bien produit obtenue grâce à l'utilisation d'une unité supplémentaire d'un facteur décroît; la quantité des autres facteurs étant inchangée.

L'entreprise a donc intérêt à augmenter la quantité du facteur utilisé jusqu'à ce que sa productivité marginale en valeur ou encore son produit marginal, égale son coût. Tant que le profit marginal est supérieur au coût marginal nécessaire pour réaliser le bien à l'origine du profit, l'entreprise accroît son profit global.

Selon ses hypothèses à la base du modèle macroéconomique sur la productivité marginale, toutes choses étant égales par ailleurs, l'utilisation d'un facteur de production par une entreprise est une fonction décroissante de son coût. Ainsi, la demande de travail, comme tout autre facteur de production, serait alors une fonction décroissante de son coût.

Selon cette approche, l'emploi dans une entreprise non soumise à une contrainte de débouchés, dépend simplement du niveau de salaire en termes réels, selon la relation: productivité marginale du travail est égale au salaire réel.

---

#### a-5-1: substitutalité entre les facteurs de production.

L'entreprise utilise plusieurs facteurs de production. Se pose alors pour le gestionnaire l'opportunité d'investir sur tel ou tel facteur pour favoriser l'expansion de celle-ci et d'optimiser la combinaison de ceux-ci.

Pour fabriquer des chaussures, il est possible d'utiliser des machines (capital) et/ou du travail; la combinaison de ces deux facteurs dépendant de leur coûts relatifs rapportés à leur productivité.

Soit  $K$ , la quantité de capital,  $C$  étant la coût d'une unité de celui-ci et  $L$ , la quantité de travail,  $W$  étant le salaire réel d'une unité de travail, l'entrepreneur optimisera la combinaison des facteurs travail et capital pour minimiser le coût de revient du produit, au moment où, à l'équilibre, le rapport du coût à la productivité marginale est le même pour chaque facteur. Une différence de productivité marginale entre chaque facteur l'amène à favoriser l'un par rapport à l'autre selon leurs productivités marginales réciproques.

Si ce rapport est supérieur pour le travail, l'entreprise a alors intérêt à substituer du capital au travail, la productivité marginale de ce dernier étant supérieure à son coût dans des proportions supérieures au travail. Ceci prendra fin quand l'égalité entre les deux facteurs sera atteinte. Aussi, en situation d'équilibre, l'augmentation du prix d'un facteur entraîne une substitution au profit de l'autre facteur.

La somme de la demande de travail de l'ensemble des entreprises donne la demande globale de travail. Cette courbe selon cette approche est décroissante avec le salaire. Le salarié, selon le niveau de salaire proposé, arbitre entre loisir et travail, mais aussi entre les revenus sociaux et les revenus du travail, compte-tenu d'une multitude de facteurs: pénibilité, valeur culturelle du travail, etc.

Ces raisonnements à la marge dans le cadre d'un équilibre général permettent toutes les sortes d'analyses et de conclusions, chaque acteur étant sensé opérer des choix rationnels à partir d'informations complètes. J. Gautier résume les difficultés de la théorie économique en concluant que: *“Au total, malgré un grand nombre de travaux, de nombreuses incertitudes subsistent quant à l'influence du coût du travail sur la demande. Le lien entre les mécanismes théoriques et les travaux empiriques reste lâche. Les résultats de ces derniers peuvent diverger de façon importante selon leur méthode et leurs données: l'économétrie de la relation coût du travail-emploi est particulièrement délicate.*

*Cependant, il semble que travail qualifié et capital sont moins substituables que travail non qualifié et capital et que pour étudier la sensibilité de l'intensité capitaliste (rapport capital/travail) au coût relatif du travail, il faut tenir compte de l'évolution des coûts relatifs des différentes catégories de main-d'œuvre”.*

---

#### a-5-2: ratios fondés sur la productivité

marginale du travail

La théorie économique classique souligne que les coûts du facteur travail sont un élément essentiel pour la compétitivité des entreprises et que la productivité détermine les salaires que celles-ci peuvent se permettre d'accorder sans perdre de terrain face à leurs rivales. Toute comparaison des coûts du facteur travail prend en compte ces deux aspects.

Même à l'intérieur de la zone de l'OCDE, on observe des différences très nettes entre les coûts salariaux horaires, en valeur absolue, dans le secteur manufacturier de chaque pays. En 1993, ils varient entre \$EU2,56 au Mexique et \$EU25,70 en Allemagne, la moyenne pour l'ensemble des pays de l'OCDE ressortant à \$EU16,07.

En contrepartie, on peut déceler des écarts de productivité perceptibles à travers les parts salariales unitaires (ratio de la rémunération salariale à la valeur ajoutée). En 1993, les parts salariales unitaires varient de 0,27 au Mexique à 0,52 en Autriche et 0,75 en Suède, la moyenne pour l'ensemble des pays de l'OCDE ressortant à 0,61.

Au-delà de ces moyennes, les indicateurs de dispersion des salaires permettent de suivre le niveau des salaires versés dans les différents secteurs industriels et l'influence des qualifications des salariés. Les industries de haute technologie accordent généralement des salaires plus élevés, devançant les industries de moyenne et de faible technologie.

#### b: l'approche keynésienne et néo-keynésienne

Le point de départ de l'argumentation keynésienne dans la Théorie Générale de l'emploi de l'intérêt et de la monnaie (1936) est la contestation de la représentation marginaliste traditionnelle du marché du travail et à travers elle de la conception plus ou moins implicite des ajustements d'ensemble de l'économie qu'elle implique. Keynes appelle la "théorie classique" l'ensemble des travaux fondés sur une approche microéconomique qu'il oppose à une vision macroéconomique. Il conteste l'idée que les rationalités individuelles aboutissent à un équilibre macro-économique satisfaisant. Selon lui, des conduites rationnelles à des niveaux élémentaires peuvent aboutir à un résultat non souhaité par l'ensemble des acteurs.

La situation de chômage keynésien est caractérisée par un excès d'offre de biens (ou excès de capacité de production) et par un excès d'offre de travail (chômage), caractéristiques de la grande crise économique des années 1930.

Les ménages seraient prêts à consommer plus s'ils travaillaient plus, ce qui augmenterait le revenu global et par conséquent la demande de travail des entreprises qui embaucheraient. L'intervention de l'Etat est indispensable pour créer un débouché (public ou privé) à la production des entreprises car celles-ci, en son absence, n'auraient aucune incitation à se développer. Le salaire, désormais, n'est plus seulement perçu comme un coût mais comme une composante de la demande.

Keynes (1936) s'oppose aussi à l'idée dominante dans l'économie "classique" selon laquelle, au niveau global, pour réduire le chômage, il faut baisser les salaires. Il souligne qu'une telle mesure est inapplicable: "*Sauf dans une communauté socialisée où les salaires sont fixés par décret, il n'y a aucun moyen de réaliser une réduction uniforme des salaires dans toutes les catégories de main d'œuvre*".

L'apport de Keynes a été de souligner que la relation salaire-emploi, oblige à sortir du cadre d'analyse en termes d'équilibre partiel sur le marché du travail.

Mais à la différence des “classiques” qui justifient l’existence d’un chômage comme conséquence du non-respect des principes d’équilibres économiques, Keynes affirme que celui-ci est la résultante des mauvaises politiques de l’Etat pour résorber le chômage involontaire.

---

### b-1: demande effective et chômage involontaire

La Grande Dépression des années 1930 a favorisé le développements d’autres explications du chômage que celles de Keynes.

Dans *The theory of unemployment* (1933), A. C. Pigou attribuait la responsabilité du chômage à la rigidité des salaires due au développement de la protection sociale, du syndicalisme et des politiques contractuelles.

A la même époque, J. Rueff voyait dans les régimes d’indemnisation la cause d’un sous-emploi permanent. Les prestations versées permettraient aux ouvriers de rester inoccupés et donneraient naissance à des effets de substitution entre loisir et travail.

Selon ces deux auteurs d’inspiration classique, le rétablissement de l’équilibre ne peut s’opérer que par la restauration de mécanismes concurrentiels et par la diminution des salaires réels. Le volume de l’emploi dépendrait des variations du salaire réel, mais les conséquences divergent entre l’approche classique et l’approche keynésienne.

Car, Keynes part d’une hypothèse différente. Les salariés sont attachés avant tout au montant qui figure sur leur feuille de paye. Ils n’accordent par contre qu’une attention limitée à l’évolution du pouvoir d’achat. Ils sont donc victimes d’une “illusion monétaire” car leur information est imparfaite. Une révision des salaires à la baisse entraîne une diminution de la consommation des ménages, une chute de la production et une extension du chômage. L’investissement est également affecté parce que le manque de débouchés conduit à des anticipations négatives de la part des entrepreneurs.

Le volume de l’emploi n’est donc pas en relation directe avec le montant des rémunérations mais dépend de la production mise en œuvre. Celle-ci, à son tour, est fonction du niveau de la demande effective. Tout reposerait en quelque sorte sur les anticipations des agents économiques et de la confiance dans les évolutions économiques. La demande effective est la somme des dépenses publiques, de la consommation, de l’investissement et du solde extérieur (exportations/importations).

Si la demande de consommation et d’investissement anticipée par l’entrepreneur chute, les décisions d’embauche sont suspendues et le chômage s’amplifie.

Les moyens dont disposent les pouvoirs publics pour agir sur l’économie sont: la relance de la consommation, la redistribution des revenus, la baisse des taux d’intérêt, l’augmentation des disponibilités monétaires, les dégrèvements fiscaux, les prêts bonifiés.

Pour Keynes, même des travaux inutiles, comme la “construction des pyramides” ou le “creusement de trous”, ont une incidence très bénéfique. De telles interventions doivent rester toutefois limitées pour ne pas engager l’économie dans un processus de socialisation difficilement réversible. Aussi, le rôle de l’Etat n’est pas de changer l’organisation du marché, mais de remédier à ses imperfections, le chômage massif étant une des conséquences, alors que le plein-emploi est théoriquement possible. Cette conviction partagée avec les économistes classiques a été fragilisée par les travaux sur la relation chômage-inflation.

### c: la relation de Phillips

En 1958, l'économiste néo-zélandais A. W. Phillips mit en évidence, à partir de données annuelles sur le Royaume-Uni sur pratiquement un siècle, une relation inverse entre le taux de croissance du salaire nominal et le taux de chômage. Cette corrélation explique qu'en période de chômage faible, les salariés sont en position de force pour négocier des hausses de salaires importantes et, réciproquement, ces hausses sont limitées en période de chômage élevé. La hausse des prix est alors égale à la hausse du salaire moins la croissance de la productivité.

Ce lien entre le niveau général des prix et la tension plus ou moins grande qui règne sur le marché du travail est symbolisé par une courbe associant "chômage et variation des salaires", qui deviendra ensuite une courbe mettant en relation "chômage- variation des salaires-variation de prix" grâce aux travaux de Samuelson et de Solow (1960).

Le bon choix politique est alors de trouver un compromis entre inflation et chômage. Pour les néo-keynésiens, une réduction du chômage se paye en terme d'inflation car la courbe du chômage varie en sens inverse de celle de l'inflation et réciproquement.

Cette corrélation fut très vite reformulée sous forme de dilemme: soit on accorde la priorité à la lutte contre le sous-emploi et, dans ce cas, on accepte une inflation relativement élevée; soit on préfère la stabilité des prix, mais il faut alors se résigner à de fortes tensions sur le marché du travail.

Dans le prolongement de ces travaux, Friedman (1968) considère que chaque économie se caractérise par un taux de chômage "naturel" qu'il définit comme "*le taux qui découlerait du système walrassien des équations d'équilibre général si les caractéristiques structurelles effectives des marchés des biens et du travail y étaient intégrées, notamment les imperfections de marché, la variabilité aléatoire des offres et des demandes, le coût de collecte de l'information sur les emplois vacants, les coûts de mobilité, etc.*".

Il établit ainsi que le chômage nul n'est pas possible, mais que structurellement, il existe un seuil incompressible qu'aucune politique ne peut résorber. Si les prix sont flexibles, ce taux de chômage est une position d'équilibre. Toute politique de relance ne fera baisser le chômage en dessous de ce taux que transitoirement. L'arbitrage inflation-chômage, dans la vision friedmanienne, n'est donc valable qu'à court terme. A long terme la courbe de Phillips est verticale, au niveau du taux de chômage naturel.

Il existe une infinité de courbes de Phillips de court terme, une pour chaque niveau d'inflation anticipée des salariés. Le chômage ne peut descendre en dessous du chômage naturel qu'au prix d'une inflation croissante; symétriquement, un taux de chômage supérieur doit s'accompagner d'une baisse du taux d'inflation.

Le taux de chômage naturel est donc le (seul) taux de chômage compatible avec une inflation constante, d'où l'appellation de NAIRU—Non Accelerating Inflation Rate of Unemployment ("taux de chômage qui n'accélère pas l'inflation") ou, de façon équivalente NAWRU—Non Accelerating Wages Rate of Unemployment ("taux de chômage qui n'accélère pas les salaires"). Les variations du NAIRU dépendent de l'accroissement de la productivité, des termes de l'échange et de la progression des revenus, alors que le NAWRU neutralise les effets d'une dérive salariale.

Finalement, le salaire joue deux rôles dans la détermination du chômage. D'un point de vue statique, le niveau de salaire réel et la structure des salaires relatifs jouent sur le niveau du chômage naturel appelé aussi chômage d'équilibre, mais les rigidités nominales du salaire font que ce dernier ne s'ajuste qu'avec retard à la hausse ou à la baisse des prix.

Ceci explique l'écart entre le chômage effectif qui est constaté et le chômage naturel défini par la théorie. C'est un phénomène d'hystérèse.

Aujourd'hui, les valeurs obtenues par la mesure du chômage et de l'inflation remettent en cause la courbe de Phillips et ses évolutions. Quelle que soit la pertinence des explications avancées, force est de remarquer que depuis 1985, les résultats enregistrés montrent qu'il est possible d'obtenir une diminution conjointe du chômage et de l'inflation. Les Etats-Unis et le Royaume-Uni ont obtenu des améliorations significatives dans ces deux domaines<sup>3</sup>.

---

#### d: la vision marxiste

Selon l'école marxiste, le phénomène du chômage est indissociable de la conception de la valeur.

##### d-1: création de valeur

Les moyens de production (matières premières, énergie, machines) ne sont pas créateurs de valeur. Ils s'incorporent au produit au fur et à mesure de leur disparition proportionnellement à leur coût. Les moyens de production ne peuvent jamais ajouter au produit plus de valeur qu'ils n'en ont par eux-mêmes. Marx leur donne le nom de capital constant et parle également de travail mort ou de travail accumulé. Par contre, la force de travail a la propriété de créer une valeur supérieure à celle de son entretien. Pour cette raison, Marx l'appelle capital variable.

La plus-value correspond alors au surtravail que s'approprient les détenteurs de moyens de production, mais qui a été produite par la force de travail: les prolétaires. Leur salaire ne peut durablement s'élever au-dessus du minimum de subsistance. Le chômage ne serait donc pas un accident, mais un principe de fonctionnement de la société capitaliste, car l'exploitation de la force de travail est à l'origine du profit. Dans le Livre I du Capital, Marx tente de démontrer que le profit du capitaliste provient tout entier d'un surtravail extorqué à l'ouvrier, et ne peut en aucun cas être dû au capital constant, qui ne fait que s'incorporer au produit. Les prolétaires sont obligés de vendre leur force de travail aux propriétaires des moyens de production, puisqu'ils n'ont pas d'autres possibilités de subsister. La vente concerne la force de travail et non le travail lui-même.

L'exemple proposé par Marx permet de comprendre l'origine de la plus-value.

Dans l'hypothèse où le salaire indispensable pour permettre l'existence d'un prolétaire équivaut à 6 heures de travail moyen par jour et que le prix de la valeur journalière de la force de travail est fixé à 3 shillings; si le capitaliste emploie le salarié 6 heures par jour, il ne réalise aucune plus-value, et par là aucun profit. Mais rien n'empêche le capitaliste de faire travailler l'ouvrier plus longtemps. Admettons qu'il l'emploie 12 heures par jour. La quantité de travail non payé est appelée plus-value. MARX conclut à l'existence d'un "surtravail" non rémunéré et approprié par le capitaliste.

Cette extorsion est rendue possible dès l'instant où les capitalistes sont propriétaires des moyens de production. Quant aux prolétaires, ils n'ont pas d'autre alternative. D'où l'idée d'un antagonisme irréductible entre ces deux classes. Si le salaire augmente, le profit diminue, et vice versa. Nous sommes donc en présence d'un jeu à somme nulle: ce que l'un gagne, l'autre le perd.

MARX a tiré de cette observation une distinction célèbre, entre travail et “force de travail”. Cette dernière est l'aptitude à travailler chaque jour dans des conditions normales, c'est ce que vend en fait le salarié à son employeur. Le prix de la “force de travail” s'établit en référence au revenu nécessaire à son entretien, c'est-à-dire au minimum socialement nécessaire à l'ouvrier et à sa famille; mais il croit vendre son travail lui-même (tant d'heures contre telle rémunération). Cette confusion est à la base de l'exploitation et de l'aliénation capitalistes.

---

#### d-2: les causes du chômage

Paradoxalement, selon K. Marx, alors que les travailleurs et les capitalistes devraient se livrer une lutte acharnée pour le partage de la valeur ajoutée, il n'en est rien. Les salaires ne s'éloignent pas durablement du minimum de subsistance. L'armée de réserve industrielle (les chômeurs) maintient les rémunérations au niveau le plus bas possible. C'est le fondement du capitalisme.

En période de dépression, l'offre de travail (demande d'emploi) est supérieure à la demande de travail (offre d'emploi). Les salaires baissent et s'éloignent du point d'équilibre. La famine s'installe. En période d'expansion, l'offre de travail est inférieure aux besoins en main-d'œuvre. Théoriquement, les salaires devraient augmenter, conformément à la loi du marché, mais cette hausse est éphémère.

Les entrepreneurs, voyant les prix respectifs des facteurs de production évoluer, modifient la combinaison productive dans le sens d'une substitution du capital au travail. Cela conduit à former une armée de chômeurs et fait pression sur les rémunérations. Les marxistes ont analysé les phénomènes migratoires issus du tiers-monde et des anciennes colonies européennes comme la preuve de la volonté des possesseurs du capital de maintenir une pression sur les salaires, fût-elle exogène.

Ce chômage est une arme aux mains des capitalistes pour éviter que le partage de la valeur ajoutée ne soit favorable aux salariés. Marx tire de ce constat le concept de surpopulation relative.

Prédécesseur de K. Marx, Malthus, dans son Essai sur le principe de population (1798), avait dégagé une “loi naturelle de population”. Il attribuait les déséquilibres du marché du travail aux facteurs démographiques. La présence de travailleurs en surnombre s'explique parce que la population croît plus vite que les ressources disponibles. Pour Marx, au contraire, le chômage est un phénomène historique et non une fatalité. Il est apparu avec le capitalisme et devrait disparaître avec lui, car que l'on soit dans une phase de dépression ou au contraire dans une phase d'expansion, les salariés sont toujours perdants.

C'est la loi d'airain des salaires, nommée ainsi par F. Lassalle, socialiste non marxiste fondateur de la social-démocratie allemande.

Malgré sa pertinence, la théorie marxiste a été écartée du débat contemporain sur le chômage, sans doute parce qu'elle est constitutive du paradigme politique dominant et n'a plus besoin de se justifier contrairement aux autres approches.



L'hypothèse d'un taux de chômage naturel s'accommode mal de la montée continue du chômage en Europe et de son maintien à un niveau élevé. Plusieurs hypothèses ont été formulées pour rendre compte de ce phénomène.

Une première hypothèse est que le maintien d'un niveau élevé de chômage découle seulement de la lenteur des ajustements des salaires qui permettent le retour du chômage à son niveau naturel; on parle alors de persistance du chômage.

La lenteur du retour à l'équilibre peut aussi découler de la perception des perspectives économiques. En effet, un ralentissement durable de l'activité peut amener les entreprises à réduire leurs capacités de production. Tout dépendrait alors du niveau de confiance des investisseurs dans la politique menée et de sa stabilité à moyen-terme.

La deuxième hypothèse est celle d'une variation au cours du temps du taux de chômage naturel liée à la modification de ses déterminants structurels et/ou institutionnels: mauvaise mise en relation des emplois vacants et des demandeurs d'emploi; accroissement de l'écart entre la qualification des offreurs de travail et celle exigée par les employeurs; intervention financière et réglementaire des pouvoirs publics sur le marché du travail; alourdissement des charges sociales; augmentation des indemnités de chômage, accroissement des coûts de licenciement; imperfection accrue de la concurrence sur les marchés des biens, etc.

La troisième hypothèse est la transformation d'un chômage conjoncturel en un chômage naturel. On a alors un phénomène d'hystérèse. Ce terme, emprunté à la physique, désigne la permanence d'un phénomène alors que les causes qui l'ont fait apparaître ont disparu.

Plusieurs facteurs peuvent être à l'origine d'un tel processus. Quand le chômage augmente, au bout d'un certain temps, la part des chômeurs de longue durée peut elle-même s'accroître. Or ces derniers peuvent se décourager et rechercher moins activement un emploi (ce qui accroît le chômage frictionnel), ou voir leur employabilité diminuer, le capital humain se dégradant au cours du temps (le chômage d'inadéquation s'en trouve alors accru). Mais l'hystérèse peut aussi découler des modalités de formation des salaires. Si l'on suppose que les salariés en place (les insiders) sont relativement indifférents au sort des chômeurs (les outsiders), alors ils négocient à chaque période le niveau de salaire réel maximum compatible avec le niveau d'emploi du moment.

Un choc conjoncturel non anticipé accroît aussi le chômage. Mais lors de la reprise, et ce d'autant plus qu'ils l'anticipent, les insiders négocient la hausse de salaire maximale compatible avec le maintien du nouveau niveau d'emploi: le chômage ne devrait donc pas baisser et la croissance devrait se traduire uniquement par une hausse des salaires.

Enfin une hypothèse fameuse sur l'origine du chômage est le poids des charges sociales et de la fiscalité reposant sur les salaires. Cette approche est fondée sur l'analyse économique classique, pour laquelle la taxation d'un bien modifie l'équilibre du marché. Le raisonnement s'appuie sur le rapport de l'offre et de la demande dans le cadre d'un équilibre partiel.

L'absence de taxation aboutit à l'équilibre du marché. La taxation introduit un "coin" entre le prix d'offre (le salaire net reçu par le salarié) et le prix de demande (le coût du travail pour l'employeur) qui modifie cet équilibre initial.

La taxation du bien (ici le travail) a pour conséquence que la quantité demandée pour un salaire net  $W$  est égale à la quantité demandée antérieurement au prix  $W+C$  où  $C$  est le coin fiscal. Un écart apparaît entre le salaire net et le coût du travail. Dans ce modèle, le coin fiscal explique une montée du chômage.

Un autre aspect doit aussi être pris en compte. Une partie, sinon la totalité du coin fiscal, correspond à des services collectifs rendus aux salariés (assurance chômage, assurance maladie). Le coin fiscal serait donc en partie le «prix» à payer pour ces services. Dans une économie libérale, les salariés auraient à financer ces services sur leurs propres revenus qui normalement devraient être supérieurs en nets à ceux perçus par les salariés français exerçant dans une économie très socialisée.

Dans cette optique, le point essentiel est de savoir si le niveau de production des services collectifs ainsi rendus correspond bien aux attentes des salariés.

#### f: Chômage et RTT

Pour les économistes, il semble que l'efficacité de la réduction du temps de travail dépende de la nature du chômage: keynésien ou classique.

Si le problème central des entreprises est une insuffisance de débouchés dans une économie où les prix sont rigides, alors la réduction du temps de travail ne peut qu'augmenter la demande de travail des entreprises. Dans ce cadre, les mesures de compensation salariale, en augmentant le pouvoir d'achat, stimuleraient la demande et donc l'emploi. A l'aide de modèles macroéconométriques, G. Cette et D. Taddéi (1994) estiment des gains net d'emploi en France entre 300 000 et 2,4 millions.

Mais l'évolution du chômage observée depuis vingt ans ne s'expliquerait pas seulement par une montée en puissance du chômage keynésien. L'accroissement de l'écart entre les taux de chômage par qualification ne peut être expliqué par un renforcement des contraintes de débouchés pesant sur la production des moins qualifiés. Aussi, l'accroissement tendanciel du sous-emploi refléterait selon ces auteurs un chômage au moins partiellement de type classique. Dans cette optique, c'est le coût relatif trop élevé de la main-d'œuvre non qualifiée qui implique que cette partie de la population active est involontairement au chômage.

La distinction entre travailleurs qualifiés et non qualifiés est cruciale.

L'accroissement relatif du chômage des travailleurs non qualifiés est expliqué par un progrès technique réduisant le recours au travail non-qualifié lorsque les salaires relatifs restent stables. Dans ce contexte, ces auteurs pensent qu'une réduction non compensée de la durée du travail des travailleurs non qualifiés permet une baisse du chômage non qualifié puisqu'elle accentue l'écart de salaire entre les deux catégories de main-d'œuvre. La rémunération du capital étant constante à long terme, il s'opère une substitution capital/travail.

Dans cet esprit, le schéma d'E. Malinvaud, à qui M. Lionel Jospin, premier ministre avait confié le soin de rédiger un rapport sur l'analyse économique des cotisations sociales à la charge des employeurs (juillet 1998), permet de classer les diverses situations de déséquilibres possibles: le chômage keynésien, le chômage classique et l'inflation contenue.

En cas de chômage keynésien, il y a excès d'offre sur le marché des biens du fait soit d'une demande insuffisante, soit d'un rationnement des entreprises vendeuses.

De plus, le marché du travail est marqué par un excès d'offre de travail par les salariés qui se trouvent face à des entreprises qui n'estiment pas avoir le pouvoir d'achat suffisant pour recruter et mettre en place de nouvelles capacités de production. Les ménages-salariés sont alors rationnés par les entreprises-employeurs.

Le poids des déséquilibres est donc supporté à la fois par les firmes (qui n'ont pas assez de débouchés) et par les ménages (qui n'ont pas assez de travail). Au milieu des années 1960, la France aurait connu une telle forme de chômage.

En cas de chômage classique, l'excès de demande sur le marché des biens correspond à une offre insuffisante qui rationne les ménages; mais, malgré un tel marché potentiel, les firmes n'emploient pas assez de salariés car elles ne jugent pas rentable de satisfaire la demande ou quelles n'ont pas assez d'épargne pour investir et créer les postes de travail adaptés à la structure de la demande. Ainsi, cette demande de bien excédentaire coïncide paradoxalement avec un excès d'offre de la part des demandeurs d'emploi. Les ménages-salariés sont rationnés doublement et subissent les contraintes sur l'ensemble des marchés. Une telle configuration de chômage correspondrait au chômage dans la France au début des années 1980.

La tentative de synthèse élaborée par E. Malinvaud à partir des catégories de chômage issues de la théorie économique incite à penser qu'elles expriment toutes une réalité et sont par conséquent irréductibles les unes aux autres.

Les méthodes d'analyses de situations complexes comme celles de la dégradation de l'environnement ou du chômage obligent à s'affranchir des schémas linéaires issus de la physique classique. La prise en compte de la complexité impose d'admettre que le tout est la somme des parties, mais aussi que le tout est moins que la somme de ses parties constitutives. Le chômage a des causes diverses qui interfèrent dans des rapports non linéaires. Aussi, il paraît vain de rechercher une théorie homogène dotée des mêmes qualités d'élégance et de précision que celles que nous livre l'étude de la nature. Chaque approche du chômage a sa part de vérité, irréductible à une autre, car elle ne repose pas sur les mêmes observations et postulats idéologiques.

L'épistémologie des sciences conclut que nos conceptions de la nature sont largement dépendantes de nos formatages culturels voire génétiques et que ceux-ci évoluent au cours du temps. C'est ainsi que T. S. Kuhn<sup>4</sup> (1922,-), épistémologue, affirmait avoir compris la physique d'Aristote le jour, où il comprit comment fonctionnait l'esprit grec antique.

Le phénomène du chômage contemporain apparaîtra peut être limpide aux savants de demain, mais pour le moment, son appréciation s'inscrit dans une pratique et des idéologies qui ne favorisent pas l'indépendance d'esprit. Aussi, malgré la richesse de ces discours, Patrick Artus et Pierre-Alain Muet soulignent<sup>5</sup> que *“l'ampleur et la persistance du chômage sont des défis pour l'analyse économique traditionnelle”*. Un autre discours en rupture, mais complémentaires de ceux mentionnés ci-avant est donc souhaitable.

### C: le modèle de la valeur-ajoutée

La thèse avancée par ces lignes est que, appréhendée isolément, la durée du travail n'est pas fondamentale en soi, ni le coût du travail d'ailleurs, mais que la dynamique de l'emploi est majoritairement conditionnée par la relation entre la valeur-ajoutée ( $V_a$ ) et le coût du travail ( $C_t$ ) d'une part, et la rémunération ( $i$ ) du capital ( $C$ ) d'autre part. Ces deux relations ne peuvent évoluer que dans une relation inverse l'une à l'autre. C'est à dire que si  $V_a/C_t$  augmente,  $i/C$  diminue. Ces deux rapports tendent l'un et l'autre vers une constante spécifique à chacun dont la somme est égale à un:

Le modèle de la valeur-ajoutée relativise par conséquent toute politique fondée sur une baisse du temps de travail ou sur une baisse du coût du travail, obligeant à replacer celles-ci dans une perspective de relation constante entre la valeur-ajoutée et le coût du travail afférent.

Pour le système ouvert qu'est l'entreprise, le ratio valeur-ajoutée (Va) rapporté au coût du travail (Ct) tend vers une constante. Ce ratio est applicable à tout opérateur économique identifié comme tel (individu, entreprise, structures publiques, nation, etc.) relevant du monde marchand ou non-marchand; à de zones territoriales ou à des branches économiques entières tant en microéconomie qu'en macroéconomie.

La valeur-ajoutée y est conçue comme une néguentropisations de l'espace, de la matière et du temps, c'est à dire un enrichissement informatif de ces ressources, sous l'effet d'un travail. Cette conception issue du paradigme écosystémique permet désormais de distinguer deux définitions de la valeur-ajoutée.

La première est fondée sur une approche monétaire comptable. Le seconde est fondée sur une conception physique. Nous retrouvons donc la dissociation célèbre entre économie monétaire et économie réelle. Le modèle de la valeur-ajoutée que nous avons proposé s'inscrit donc dans une vision de l'économie réelle fondée sur une approche écosystémique.

---

### 1: le modèle Va/Ct

La représentation graphique (figure Va/Ct) du modèle Va/Ct ---> cte est une droite représentative de la constante (pente de la droite). Schématiquement, chaque salarié tend à ce que ce rapport soit inférieur à la valeur de la constante. Le chef d'entreprise agit alors dans le sens opposé cherchant à obtenir le maximum de valeur-ajoutée pour le coût du travail le plus faible. Dans les faits, la brutalité qu'impose le respect de ce rapport est nuancée par l'urbanité des partenaires mais, nul ne peut nier que la répartition de la valeur-ajoutée d'une structure marchande ne fasse l'objet de rudes débats. K. Marx en avait fait le pivot de son analyse politique de la société.

Ce modèle fondé sur un rapport n'est pas à confondre avec la notion de valeur-ajoutée. Cette dernière est une variable dont la valeur dépend, pour chaque opérateur économique, d'une multitude de facteurs. Expression des différences entre individus, peuples, organisation sociales, civilisations, quelles soient culturelles ou génétiques, la valeur-ajoutée susceptible d'être produite par un opérateur économique n'est en aucune façon comparable à celle produite par un autre opérateur. Certains peuples font du travail une valeur en soi; d'autres une nécessité. Certaines organisations sociales sont habiles pour produire; d'autres pas. De cette capacité dépend la "richesse" de la structure portant ces valeurs et ces aptitudes. Aussi, nous sommes obligés d'admettre qu'il y a autant de différences, selon cette approche, qu'il y a d'opérateurs économiques.

En outre, une valeur-ajoutée max, n'est pas synonyme d'utilité max. La fabrication de chaussures, activité présentée comme à faible valeur-ajoutée, est tout aussi utile que l'élaboration de logiciels sophistiqués. L'une et l'autre prestation trouvent acheteurs et par conséquent valorisent le travail réalisé.

La droite qui exprime la constance du rapport Va/Ct peut avoir comme ordonnée à l'origine:

- zéro,
- un chiffre supérieur à zéro si l'on postule que chaque individu a toujours une valeur-ajoutée à apporter (valeur-ajoutée positive)
- un chiffre inférieur à zéro, si l'on a une conviction contraire de la précédente (valeur-ajoutée négative)

## a: le coût du travail

Selon le Bureau international du travail (BIT), les coûts du travail (Ct) sont les coûts en personnel de l'employeur. Ils englobent la rémunération des travaux effectués, les paiements au titre des heures payées mais non travaillées, les primes et gratifications, le coût de la nourriture, des boissons et autres paiements en nature, les coûts de logement du personnel pris en charge par l'employeur, les dépenses de sécurité sociale, le coût pour l'employeur de la formation professionnelle, de la protection sociale et des frais divers (transport du personnel, vêtements de travail et recrutement) ainsi que les taxes qui sont considérées comme des coûts du travail.

Les économistes distinguent les coûts directs du travail de l'ensemble des coûts liés à l'utilisation du facteur travail. Les premiers constituent le coût salarial qui désigne la somme du salaire net et des cotisations sociales à la charge des salariés et des employeurs. Les seconds intègrent les coûts d'ajustements de la main d'œuvre: coûts d'embauche, de licenciements, etc.

Ce coût du travail (Ct) est donc constitué de toutes les charges fixes afférentes à ce poste: salaire, charges sociales, fiscalité, etc., rapporté à l'unité temporelle choisie (heure, semaine, mois, année).

Les différents prélèvements obligatoires pesant sur les salaires introduisent une différence entre le coût supporté par l'employeur et le revenu correspondant dont dispose effectivement le travailleur pour sa consommation (salaire direct).

Cet écart constitue le "coin fiscal" qui intègre les cotisations sociales patronales et salariées, l'impôt sur le revenu et les taxes sur la consommation, soit:

Coût du travail = cotisations patronales + salaire brut

Salaire brut = cotisations salariées + salaire net

Salaire net = impôt sur le revenu + taxes à la consommation + salaire disponible

Coin fiscal = coût du travail - salaire disponible

Une partie du coin fiscal correspond toutefois à un salaire différé versé à l'occasion de la réalisation d'un risque: maladie, accident, décès, retraite, etc. Celui-ci peut-être géré par des structures publiques (Sécurité sociale) ou privées (sociétés d'assurances). Cet ensemble (salaire direct + salaire différé) est le prix payé au salarié par celui qui utilise ses services et doit être distingué d'autres coûts à caractère fiscal qui ne reviennent pas directement au salarié mais participent au fonctionnement des structures collectives.

Ceux-ci ne correspondent pas à une rémunération car le salarié n'en percevra peut-être jamais les fruits. Allocations familiales, taxes diverses dont l'assiette est le salaire et autres prélèvements sont directement assis sur le travail, mais relèvent davantage d'une logique de fiscalité que d'une logique de rémunération. Aussi est-il nécessaire de distinguer ce qui relève d'une rémunération directe ou différée du travail, d'une fiscalité qui prend comme base le travail.

Finalement, le coût du travail se décompose en:

- la rémunération directe qui intéresse directement le salarié et sur laquelle il peut influencer avec le plus d'efficacité: salaire net versé;
- la rémunération différée qui est perçue d'une manière moins précise par le salarié: régime d'assurance, retraite, œuvres sociales, etc.;
- le coût d'utilisation du travail: bureaux, recrutement, formation, etc.;
- la fiscalité sur le travail: taxe sur les salaires, taxe professionnelle, etc., dont l'objet est de financer des services collectifs.

Cette classification pourrait tout à fait être écartée au profit d'une autre sans pour cela modifier l'esprit du modèle de la valeur-ajoutée.

Le coût de l'heure de travail n'est qu'un élément de comparaison des coûts de production; les productivités et d'autres éléments de coût que ceux du facteur travail interviennent dans le prix de revient.

Un premier constat cependant montre que la France (Coûts salariaux horaires) est dans le groupe des économies industrialisées aux coûts salariaux les plus élevés.

---

### b: la valeur-ajoutée

Plus délicate est la notion de valeur-ajoutée, car elle dépend de l'option prise par l'analyste pour établir l'origine de la valeur d'un bien ou d'un service.

Pour qu'une valeur-ajoutée soit réalisée par la vente d'un bien ou d'un service, il faut auparavant créer ou produire cet objet économique, ce qui nécessite la mobilisation de plusieurs ressources: temps, énergie, espace, matière, informations. La conjonction du travail et d'informations fournis par l'opérateur économique (individu, entreprise, service public, etc.) organise la complexification des relations entre ces ressources et aboutit à l'élaboration d'un bien ou d'un service, marchand ou non marchand.

Sur un plan économique, la valeur-ajoutée dépend toujours de la différence entre le prix d'achat des facteurs de production (capital, travail, matières premières, etc.) et le prix de vente réel des produits ou des services créés.

Le prix du marché est cependant un mauvais indicateur de l'incorporation de ressources dans un objet économique, car il ne rend pas toujours compte de l'incorporation des facteurs de production. Les économistes de l'environnement qualifient cette situation de "défaillance du marché".

Pour surmonter les difficultés posées par le prix du marché, les assureurs font la distinction pour l'indemnisation des sinistres entre la valeur de reconstruction ou de remplacement (prix des facteurs) et la valeur vénale (prix du marché). Ainsi à l'approche physique, complexification d'un objet économique, succède une approche économique fondée sur le coût des intrants: la valeur de construction. Puis enfin une autre fondée sur l'arbitrage du marché: la valeur vénale. Toutes les trois sont à la base du processus économique.

Le processus économique performant consiste alors à une augmentation continue de valeur: physique dans une première étape (complexification), marchande dans la deuxième étape.

La valeur-ajoutée est par conséquent une notion qui rend compte du même concept mais dont la définition sera différente selon qu'elle est exprimée par un physicien ou par un économiste.

En économie, cette augmentation de valeur est généralement exprimée en monnaie, mais la thermodynamique permet une autre approche tout aussi pertinente en substituant à la monnaie des variables d'état propres à cette discipline: complexité, entropie, information, énergie, etc.

En associant les enseignements des sciences de l'environnement et celles de l'économie, il est possible d'assimiler la création physique de valeur-ajoutée à celles d'enthalpie libre, d'énergie libre, de néguentropie, de potentiel rédox, etc. Ces variables d'état sont issues de la thermodynamique et de la théorie de l'information.

La valeur-ajoutée sur un plan thermodynamique est alors la grandeur qui caractérise l'augmentation de complexité d'un objet économique fait d'espace, de temps, de matières ou d'informations sous l'effet d'un travail.

Cette approche fondée sur les sciences de l'environnement ne permet pas de corrélérer ce processus de complexification avec les enseignements de l'économie. En effet, il est possible de complexifier un objet économique sans que cela corresponde à la satisfaction d'un besoin privé ou collectif. En outre, il peut ne pas y avoir de relation entre le travail fourni et la valeur finale du produit.

A travail égal, un même produit peut remporter un succès commercial et alors être vendu à un prix assurant une marge confortable ou bien être un échec. Dans le premier cas, la valeur-ajoutée économique est forte; dans le deuxième cas, elle est nulle voire négative. Il n'y a pas eu création de valeur sur le plan comptable. Pourtant, l'incorporation de ressources est strictement la même pour produire une Renault 14 ou une Talbot 1307 (échecs commerciaux patents) que pour une fabriquer une Renault 5 ou une Peugeot 205 (succès commerciaux reconnus).

La distinction entre valeur-ajoutée physique et valeur-ajoutée économique est par conséquent fondamentale pour comprendre comment notre organisation sociale condamne certaines personnes à vivre à la marge de nos sociétés marchandes à haut degré de complexité: leur capacité à créer de la valeur-ajoutée physique par leur travail est faible ou trop coûteuse, voire négative.

Nous sommes alors en présence d'une prestation générant une valeur-ajoutée négative; la valeur de la somme agencée des parties étant inférieure à la somme des valeurs des constituants. Cette perte de valeur ou valeur-ajoutée négative a comme origine, soit une réaction négative du marché au produit ou service, soit une destructuration des objets physiques constitutifs. Ces deux situations créent les conditions favorisant le chômage et l'exclusion.

K. Marx (1818-1883) avait entrevu cette relation entre travail physique et valeur économique en montrant que la plus-value physique est créée par le travail du salarié, mais appropriée économiquement par le détenteur du capital.

Auparavant d'autres savants s'étaient intéressés à ces relations entre des concepts physiques et des notions économiques. Citons S. Carnot (1796-1832), un des fondateurs de la thermodynamique, qui s'intéresse au rendement des machines à feu. Il dépasse rapidement ce seul champ d'application pour poser les bases d'un premier calcul énergétique visant à mesurer l'aptitude des systèmes à délivrer un travail utile à partir d'une quantité d'énergie donnée. L'esprit du modèle de la valeur-ajoutée est à rechercher dans cette discipline car déjà à cette époque, S. Carnot eut l'idée d'une relation entre thermodynamique et économie.

Le but de tout opérateur économique est d'apporter de la valeur, c'est à dire, dans le cadre d'une complexification croissante des échanges et des fonctions, d'apporter à la collectivité un service rémunéré comme contrepartie de l'aliénation de sa liberté à l'efficacité économique. Cette capacité à créer une valeur-ajoutée est proportionnelle au coût d'utilisation de cette structure créant de la valeur. Aussi,  $V_a/C_t$  tend vers une constante. Un opérateur créant peu de valeur ne pourra justifier un coût élevé et réciproquement.

Tout chef d'entreprise comprendra intuitivement la portée de ce modèle. Il paye ces employés en fonction de ce qu'ils sont capables d'apporter à l'entreprise qu'il dirige. Un jeune cadre prometteur verra sa rémunération croître naturellement, de peur qu'il aille offrir ses services à la concurrence. Par contre, ce même chef d'entreprise cherchera à se débarrasser de l'ouvrier qui travaille mal ou du cadre fatigué qui coûte trop cher. S'il ne le fait pas, il met en péril sa structure.

En résumé, la conception de la valeur-ajoutée avancée dans ce texte a comme base les concepts de la physique qui tous d'une manière formalisée différemment rendent compte des processus de complexification de la matière, du temps et de l'espace. La théorie de l'information exprime cet enrichissement par une augmentation des informations intégrées dans l'objet envisagé. Cette complexification est faite à partir d'un travail ou plutôt d'une informativité de cet objet. La correspondance sur le plan économique est fournie par la notion de valeur de construction, donnée plus objectivable que celle de la valeur vénale, qui dépend ..... d'une multitude de facteurs mais qui est la seule valeur économique admise par le marché.

La capacité de l'opérateur économique qu'est l'individu, à produire une valeur-ajoutée physique dépend d'une multitude de facteurs que sont la force, l'habileté, la rigueur, l'éducation, l'expérience, le savoir, etc., toutes choses que les économistes regroupent sous le concept de capital humain utilisable aussi sur le plan collectif pour les entreprises et toutes les structures engagées dans l'économie.

Selon cette approche, il y a élaboration de valeur-ajoutée si le processus physique est suivi d'une intégration économique valorisant l'objet créé par une valeur-ajoutée économique positive. Le concept de valeur-ajoutée utilisé dans le modèle (Va) est par conséquent la conjonction de ces deux conceptions de la valeur-ajoutée, mais pourra être compris soit au sens économique, soit au sens physique, selon les circonstances.

## 2: l'utilisation du ratio Va/Ct

Le ratio Va/Ct, ou son inverse, est déjà utilisé par les micro ou macro-économistes comme indicateur de performance.

Ainsi, l'entreprise industrielle GFI Industries l'utilise comme indicateur de performance de ses branches industrielles: aéronautique, automobile, industrie, packaging (Groupe GFI Industries: ratios Va/Ct).

L'analyse des chiffres montre que les amplitudes du rapport coût du travail/valeur-ajoutée sont larges, mais la lecture des courbes montre qu'il n'y a pas de phénomènes de rétroaction positive. Dans chaque branche industrielle, le rapport évolue autour de la moyenne calculée à 1,61.

L'OCDE tente une comparaison des avantages compétitifs des pays membres par l'utilisation de la Part salariale unitaire qui est le simple ratio de la rémunération salariale<sup>7</sup> rapporté à la valeur-ajoutée en monnaie locale et en prix courant. Celui-ci reflète la part de la rémunération du facteur salaire dans la valeur totale de la production et donc prend en compte la productivité de la main-d'œuvre (Parts salariales unitaires dans le secteur manufacturier).

Les tableaux fournis permettent d'évaluer les différences de performances entre les différents pays de l'OCDE avec toutefois une grande prudence dans la pertinence de ces chiffres, car leur détermination comporte une grande part d'incertitude. Ils permettent toutefois de faire une comparaison, même imparfaite, mais une démonstration de la constance théorique de ce rapport à partir de ces chiffres est impossible.

Au contraire, les principes de l'homéostasie en montrant que le non respect de ce ratio conduit à des phénomènes de rétroactions positives donc à l'implosion ou l'explosion des systèmes observés, fournit un embryon de démonstration.



Les chiffres fournis par l'entreprise GFI Industries montrent autrement que ce ratio tend vers une constante. Cet indicateur de performance n'est pourtant pas suffisant pour comprendre la dynamique d'une entreprise soumise à la concurrence; la rémunération du capital est l'autre élément fondamental.

#### D: le rendement du capital

Une manière d'appréhender la dynamique de l'économie est de prendre en compte la rentabilité du capital. Or, toutes les analyses fondées sur les choix des opérateurs disposant de capitaux achoppent sur une variable non quantifiable: la prise de risque. Chacun sait que la perspective d'une rémunération élevée de ses capitaux est proportionnelle au risque encouru. Or, la perception de ce dernier est particulièrement subjective et dépend largement du "nez" du décideur; le fameux "flair dans les affaires".

Malgré cette incertitude consubstantielle à l'art économique, les financiers savent depuis longtemps que le rendement du capital tend vers une constante, toutes choses étant égales par ailleurs en matière de risque. Personne n'en connaît cependant la valeur.

Tout épargnant, qu'il soit spéculateur ou père de famille, recherche le meilleur rapport rémunération/risque. Placer ses économies est toujours le fruit d'un arbitrage entre risque et rémunération, sachant que la perspective de gain est inversement proportionnelle au niveau de risque pris.

La prise en compte de la rémunération du capital est la deuxième composante fondamentale du partage de la valeur-ajoutée économique dans un système concurrentiel. Aussi est-il nécessaire de l'associer à la première équation.

---

#### 4: le système d'équations valeur-ajoutée/capital

Cette association aboutit au système simple d'équations suivant:

$$\begin{aligned} Va/Ct & \text{-----} > \text{cte1} \\ i/C & \text{-----} > \text{cte2} \end{aligned}$$

avec Va: valeur-ajoutée

Ct: coût du travail

i: rémunération du capital

C: capital

cte1 différente de cte2

Selon la thèse développée dans cet ouvrage, l'association de ces deux équations est au cœur de la dynamique économique. Elle rend compte que, dans une première étape, tout s'articule autour de la répartition de la création de valeur entre le travail et le capital.

Tous les autres éléments ne sont que des phénomènes à l'origine ou issus de cette répartition. Ainsi, on accepte de payer des impôts pour pouvoir travailler ou gérer son capital, car dans les sociétés occidentales, l'Etat a comme fonction d'assumer des fonctions irréalisables à l'échelle micro-économique ou personnelle. Aussi, en dehors de toute perspective idéologique, le rôle de toute structure collective (Etat, association, collectivités territoriales ou supranationales, etc.) est par conséquent de créer de la valeur-ajoutée à usage commun à partir de ressources prélevées ou cédées par les parties constitutives de ces structures.

Se pose alors la question de l'efficacité de la création de la valeur-ajoutée; la sanction de l'échec étant moins rapide que pour des entreprises ou des personnes physiques.

Le rapprochement de ces deux équations simples permet de proposer une analyse de la dynamique de l'économie concurrentielle à partir de la figure mettant en relation graphique la valeur-ajoutée et le coût du travail.

La situation d'équilibre correspond à la conjonction  $Va/Ct=cte1$ ;  $i/C=cte2$ . Mais celle-ci ne dure jamais longtemps. En effet, chaque opérateur économique cherche à optimiser chaque rapport à son profit. Aussi deux autres situations dominantes se rencontrent:

@@@@@@@@@@@@ courbe de la valeur-ajoutée

- dans la première,  $Va/Ct > cte1$ ,  $i/C > cte2$  (2);
- dans la deuxième,  $Va/Ct < cte1$ ;  $i/C < cte2$  (3).

Dans la partie (2), la valeur-ajoutée produite en regard du coût du travail est élevée. Les salariés recherchent alors une augmentation de leur rémunération (grève, pressions diverses) ou quittent l'entreprise pour négocier ailleurs une rémunération plus conforme à leur capacité à créer de la valeur-ajoutée. La rémunération du capital est par conséquent élevée, attirant d'autres capitaux avec comme résultante une baisse du taux de profit qui tend vers la constante, voire diminue sous l'effet de la concurrence.

Entre temps, il y aura eu création de surplus économique et donc de potentiel d'investissement, mais le jeu économique fait que le système évolue vers les constantes 1 et 2.

Les structures évoluant dans la partie (3) sont dans la situation exactement inverse. Le coût du travail est élevé compte-tenu de la valeur-ajoutée créée. Cette position à court terme est favorable aux salariés, mais incite les investisseurs à abandonner cette activité. L'entrepreneur cherchera alors à améliorer sa productivité ou à baisser le coût du travail par unité de valeur-ajoutée produit, sinon l'issue est la destruction de cette activité.

Toute modification du rapport  $Va/Ct$  provoque une réorganisation de la structure économique dont le chef d'entreprise est le moteur. Car à la différence du salarié qui recherche la rémunération de son travail, ce dernier doit à la fois rémunérer son travail, c'est à dire la valeur-ajoutée qu'il crée, mais aussi ses capitaux se différenciant en cela du "capitaliste" qui n'a comme seul souci que le rendement de ceux-ci par une optimisation risques/avantages.

Si ce chef d'entreprise se retrouve dans la situation où  $Va/Ct < cte1$ , alors le coût du travail n'est pas proportionnel à la valeur-ajoutée produite, mais à l'avantage de celui qui reçoit cette rémunération. Dans ce cas, le chef d'entreprise recherche une évolution favorable de ce ratio (licenciement, amélioration de la productivité, etc.). Sinon, les capitaux se retirent de cette activité, la part de la valeur-ajoutée entre salariés et capital n'assurant pas une rémunération satisfaisante de ce dernier.

Toute hausse arbitraire du coût du travail provoque par conséquent une évolution du système et fait évoluer les ratios vers des valeurs très éloignées de la constante.

La réaction des opérateurs économiques défavorisés va être de faire évoluer ceux-ci vers leurs valeurs d'équilibre en utilisant tous les moyens à leur disposition. L'attitude naturelle est de tendre vers les constantes. Quand aux opérateurs favorisés, ils chercheront à maintenir ces positions avantageuses.

---

### 5: le partage de la valeur-ajoutée entre travail et capital

Le partage de la valeur-ajoutée entre le capital et les salariés est un débat politique constant, la part de l'Etat n'étant pas négligeable.

Dans son enquête financière 1999 portant sur 469 entreprises, la Fédération des industries mécaniques montre que le partage de la valeur-ajoutée s'est réalisé dans sa branche comme suit:

	1997	1998
Salariés	71,9	71,7
Impôts	11,5	12,3
Financiers	1,0	0,5
Entreprise	15,6	15,5

---

#### a: valeur-ajoutée et travail

Historiquement, les deux chocs pétroliers ont entraîné une augmentation de la part des salaires dans la valeur-ajoutée dans tous les grands pays de l'OCDE. En France, la part des salaires s'est accrue fortement au détriment de l'excédent brut d'exploitation (EBE) jusqu'au début des années quatre-vingt.

Ensuite, la décennie quatre-vingt est au contraire marquée par un net accroissement de la part du revenu du capital dans tous les pays, sauf aux Etats-Unis et au Royaume-Uni, où elle reste relativement stable.

A partir de 1982 et jusqu'à la fin de la décennie, le taux de marge a augmenté de façon ininterrompue et a gagné près de dix points, pour fluctuer à partir de 1990 autour d'une moyenne d'environ 38,5 %. L'appréciation des termes de l'échange, notamment au cours de la première moitié des années 1980 à la suite du contre-choc pétrolier, puis après 1985 avec la baisse du dollar, a joué positivement sur cette remontée. Cependant, celle-ci s'explique surtout par le net décrochage des augmentations du salaire réel par rapport aux gains de productivité au cours de la période, notamment à la suite de la politique de désindexation privilégiée à partir du tournant de 1982-1983 qui s'est traduite par l'adoption de la politique de rigueur .

Selon les comptes nationaux, la part des salaires (y compris les charges sociales) dans la valeur-ajoutée de l'ensemble des sociétés était de l'ordre de 63% de 1970 à 1973. Elle s'est élevée jusqu'à 69 % en 1981, puis elle a diminué à 60% en 1988. Elle reste pratiquement à ce niveau depuis 1989. D'où l'idée que l'économie française aurait "surréagi" dans la deuxième partie des années quatre-vingt et que la part des salaires dans la valeur-ajoutée serait aujourd'hui "anormalement basse".

Tout le débat sur la partage de la valeur-ajoutée ressurgit sur la base de ce constat. Quelle est la normale ?

La compression des salaires aurait servi à améliorer la situation financière des entreprises, mais a sans doute contribué à l'atonie de la croissance. D'où l'idée de réaffecter une partie de cette valeur-ajoutée aux salariés, sous forme d'augmentation de pouvoirs d'achats ou de réductions du temps de travail accompagnées de hausses des coûts horaires de travail.

D'autres affirment au contraire que la "normale" serait la situation du début des années soixante-dix. En examinant une période plus longue, remontant aux années 1960, ils observent que la part des salaires dans la valeur-ajoutée était dans la première partie des années 1960 de l'ordre de 60 %, identique à son niveau actuel et qu'elle a commencé à dériver vers le haut avant la fin des années soixante, réduisant la rémunération du capital.

---

### b: valeur-ajoutée et capital

La dynamique fondamentale du comportement des entreprises est ce que les économistes appellent la "profitabilité économique des fonds propres" ou profitabilité économique du capital productif, soit la rentabilité diminuée du taux d'intérêt réel. Elle correspond à la prime obtenue en rémunération du risque de l'entreprise.

Cette rentabilité évoluerait dans une relation inversée avec celle du travail (Rentabilité économique et part des salaires dans la valeur-ajoutée).

La rentabilité économique des sociétés a fortement chuté de 1970 à 1982 avant de se redresser, puis de reculer à nouveau depuis 1989. La forte hausse des cours de la place de Paris au milieu des années 1980 coïnciderait avec une modification du partage de la valeur-ajoutée et le rééquilibrage des comptes d'exploitation des entreprises françaises.

Il apparaît ainsi que sur le long terme, le partage de la valeur-ajoutée est modifié en permanence sous l'influence de facteurs endogènes ou exogènes; la rémunération du capital et du travail évoluant sur une base cyclique en opposition de phases autour des deux constantes évoquées ci-avant.

---

### 6: détermination des constantes d'équilibre

Tout opérateur économique aimerait connaître à l'instant la valeur de ces constantes pour perfectionner ses procédures de décision, mais malheureusement cela relève du vœux pieux car celles-ci sont a priori inaccessibles.

Dans un monde figé en équilibre statique, nous pourrions affirmer que ce rapport est égal à une constante, mais la science moderne ayant démontré que les notions d'équilibre issues de la mécanique classique ont un domaine d'application restreint, nous sommes obligés de souligner que ce modèle exprime une tendance et non un état.

La mécanique classique fondée sur le mouvement des astres a favorisé l'élaboration d'un paradigme par lequel le monde apparaît comme un monde d'ordre soumis à des lois que l'activité scientifique doit exprimer. C'est la vision classique de la science. A ce monde intelligible fait d'ordre et de lois simples, répond un monde sensible dont la thermodynamique ou la physique quantique tente de rendre compte sans avoir les ambitions de l'approche classique. L'étude des phénomènes économiques relève de ces paradoxes.

Comment proposer des modèles simples susceptibles de rendre compte de phénomènes souvent inaccessibles ou coexistent toutes les formes d'agencement de la matière.

Aussi, nous ne pouvons et nous ne donnerons jamais une valeur des constantes énoncées dans le système proposé ci-avant. Nous préférons souligner que la dynamique des systèmes micro ou macro économiques s'organise à partir de ces deux ratios, en renonçant à les chiffrer et en étant conscient que jamais les systèmes ne sont dans l'état d'équilibre formalisé par ces deux équations simples.

La thermodynamique des phénomènes dissipatifs montre que l'équilibre correspond à l'état d'entropie maximum et que les phénomènes vivants sont la résultante d'une structuration loin de ces états d'équilibre. En effet, l'état d'équilibre selon le deuxième principe de la thermodynamique correspond à la situation d'une entropie maximum qui correspond à l'état de désordre maximum. Tout l'art de la vie consiste donc à créer des ruptures pour survivre en s'éloignant de l'équilibre thermodynamique. Rupture économique pour s'enrichir, rupture du front adverse pour gagner la bataille, rupture épistémologique pour faire progresser le savoir, etc. Dans cet esprit, le salarié et le capitaliste cherchent chacun à optimiser le partage de la valeur-ajoutée à leur profit. L'Histoire montre que cela se réalise de différentes manières: négociation, intervention de l'Etat, conflits, etc.

Tout ordre quel qu'il soit repose sur une transgression du second principe de la thermodynamique; rupture qui crée l'ordre et l'organisation, mais qui en permanence doit être renouvelé pour s'opposer à la croissance régulière de l'entropie dans les structures pérennes. L'état d'équilibre est mathématiquement possible, mais l'étude des phénomènes vivants nous montre que celui-ci est irréel. En thermodynamique, l'état d'équilibre correspond à une entropie maximale, qui pour les systèmes vivants est la mort. Or, il est trivial d'affirmer que le but de la vie est de lutter contre la mort. Toute la philosophie, les sciences exactes jusqu'à nos comportements les plus routiniers participent à cette ambition. Or, celle-ci n'est réalisable qu'en luttant en permanence contre la tendance de tout système à évoluer vers des états d'équilibre. Il est donc nécessaire de créer des ruptures continues.

C'est ce que fait le chef d'entreprise, en recherchant de nouveaux marchés, en embauchant, en licenciant, en investissant, en vendant, etc. Imagine-t-on un chef d'entreprise opter pour l'entretien de l'existant comme stratégie de conservation et de développement de son entreprise ? En tant que consultant, je n'en ai jamais rencontré.

Ce propos dépasse largement l'objet de cette HDR, mais une fois encore des considérations épistémologiques sont fondamentales pour exprimer les fondements de cette conception des opérateurs économiques à partir du modèle de la valeur-ajoutée. L'ensemble permet de construire un nouveau discours sur l'inemployabilité et l'exclusion.

---

## 7: complexité et employabilité

Alors que la physique classique recherchait la simplification pour rendre compte des phénomènes naturels, remportant de grands succès dans l'étude de l'Univers, les sciences de la vie et de l'énergie devaient explorer un monde de désordre, de mutations et de lutte dont le dénominateur commun est la complexité. P. Teilhard de Chardin (1881-1955) utilise l'expression de "complexité-conscience" pour résumer l'évolution qui démarre avec des êtres unicellulaires simples pour aboutir aujourd'hui à une société humaine ultra-complexe et la création d'une noosphère (culture), à côté de la lithosphère (monde naturel non vivant) et de la biosphère (monde naturel vivant); preuve de l'accroissement constant de la complexité des structures vivantes.

Les économistes constatent la même évolution. La division du travail en est l'expression la plus manifeste. Elle existe depuis que l'humanité produit et pratique le commerce.

Déjà Platon (427-347 av J.-C.) remarquait dans la République qu’*on fait plus et mieux et plus aisément, lorsque chacun ne fait qu’une chose, celle à laquelle il est propre*. A. Smith (1723-1790) prolonge cette réflexion en écrivant en 1776 dans Recherches sur la nature et les causes de la richesse des nations: *“Dans chaque art, la division du travail, aussi loin qu’elle peut y être portée, donne lieu à un accroissement proportionnel dans la puissance productive du travail”*. Elle se justifie par la supériorité technique d’une division du travail. En redéfinissant les tâches de chacun, on accroît la productivité et les rendements d’échelle. *“[Cette] grande augmentation dans la quantité d’ouvrages qu’un même nombre de bras est en état de fournir, en conséquence de la division du travail, est due à trois circonstances différentes: premièrement, à un accroissement d’habileté dans chaque ouvrier individuellement; deuxièmement, à l’épargne du temps qui se perd ordinairement quand on passe d’une espèce d’ouvrage à un autre; et troisièmement, enfin, à l’invention d’un grand nombre de machines qui facilitent et abrègent le travail et qui permettent à un homme de remplir la tâche de plusieurs”*.

Depuis A. Smith, on sait que le principe fondamental de la croissance économique est la spécialisation croissante des outils de production et des tâches, donc la complexification de celles-ci, ce qui suppose des *“institutions et des procédures de plus en plus complexes pour gérer des relations d’interdépendance de plus en plus complexes”*.

L’apport d’une nouvelle technique ou d’une division supplémentaire du travail, donc d’une complexification du processus économique, n’est intéressant que dans la mesure où celle-ci permet un accroissement à la marge de l’efficacité du processus.

La complexification de l’économie est un phénomène général et constant. Ainsi, le marché boursier s’est singulièrement développé avec l’apparition de nouveaux outils dont le maniement est réservé aux seuls professionnels spécialisés.

Le financement des entreprises est devenu un phénomène complexe obligeant à la maîtrise d’instruments sophistiqués et d’un langage hermétique pour l’épargnant de base. Cette complexité permet une augmentation de l’efficacité marginale de l’utilisation des ressources, qu’elles soient artificielles ou naturelles, face à une population humaine en hausse constante. Ainsi l’utilisation du pétrole est due à l’accroissement de l’efficacité des techniques utilisées permettant d’accéder à des gisements inaccessibles avec les modes d’extraction passés. Ceci est possible par la complexification de l’utilisation de cette ressource, tant dans la phase de recherche et d’extraction que dans la phase d’utilisation. La complexification des moteurs permet d’améliorer leurs performances dans tous les domaines tout en limitant la consommation de carburant.

Cette complexification est possible car la dimension de la noosphère augmente, manifestation d’une artificialisation croissante des écosystèmes et de la biosphère. Les nouveaux savoirs et leur diffusion sont à la base de cette croissance.

Cette complexification permet un accroissement des performances tant en valeur absolue que marginalement, toutes choses étant égales par ailleurs. La terre supporterait-elle six milliard d’individus dans le cadre d’une économie de cueillette ?

Les économistes s’accordent à penser que les emplois de demain seront plus qualifiés que ceux d’aujourd’hui (B.I.P.E.). La non-employabilité n’est-elle pas alors la conséquence d’une complexification toujours croissante de nos sociétés et de l’économie en particulier ?

Le modèle de la valeur-ajoutée montre que tout individu a une chance de s’insérer dans une structure économique si le coût du travail qu’il va induire est inférieur à la valeur-ajoutée qu’il va générer.

La thermodynamique nous fournit une grille d'analyse utile pour saisir cela. Une réaction chimique mettant en jeu 3 éléments selon la réaction  $A \rightleftharpoons B + C$  est d'autant probable que l'enthalpie standard de formation est faible. Si celle-ci est élevée, la réaction ne se produit pas. Donc, si l'exigence de l'impétrant au travail est élevée par son fait ou celui des convenances sociales, celui-ci ne trouvera pas à s'employer.

Le coût du travail mini exigible ne doit donc pas excéder le minimum de valeur-ajoutée à apporter dans la structure compte-tenu de son niveau de complexité, sinon nous sommes dans la configuration où  $Va/Ct < cte$  qui est la situation de régression économique donc de la baisse de la demande de travail.

Chaque perturbation de ce système déclenche un cercle vicieux à l'origine de l'exclusion.

### 8: le cercle vicieux

Quels sont les enseignements pratiques de ce modèle théorique: celui de nous renseigner sur les risques d'une mauvaise application de la législation sur les 35 heures et de son impact sur le coût unitaire du travail. Il est en effet peu probable que les salariés en place acceptent une baisse de leurs rémunérations surtout si celle-ci impose de nouvelles modalités d'utilisation des équipements et une pénibilité accrue. L'application de cette législation risque de conduire alors à une augmentation du coût horaire du travail, avec comme corollaire de plus fortes exigences en matière de productivité, par l'introduction de nouvelles machines ou de nouveaux process.

Schématiquement cela risque d'obliger à une complexification supplémentaire des structures économiques imposant plus de valeur-ajoutée aux opérateurs économiques, par unité de temps.

Si les gains de productivité sont nuls car impossible à réaliser, les performances de la structure économique faibliront avec le risque de compromettre ses positions concurrentielles, amplifiant le phénomène de délocalisation ou de faillite pour les branches industrielles n'ayant plus de potentiel d'amélioration de la productivité.

Si les gains de productivité compensent exactement la hausse horaire des rémunérations, la position concurrentielle de l'entreprise n'est pas modifiée. Par contre, les exigences nouvelles demandées aux salariés risqueront de provoquer à moyen terme des hausses de rémunération ou tous les mouvements inimaginables conçus à partir des deux équations mettant en jeu le capital et la rémunération du travail dans le partage de la valeur-ajoutée.

Enfin une autre hypothèse est que le chef d'entreprise profite de cette législation pour améliorer sa productivité dans des proportions supérieures à la hausse du coût du travail afin d'anticiper d'éventuelles pressions concurrentielles sur les prix ou pour améliorer ses marges.

S'il y a augmentation du coût du travail horaire, plusieurs possibilités s'offrent tant aux salariés qu'aux chefs d'entreprise pour réagir, mais les perspectives d'embauche sont dans tous les cas de figure assez limitées. Par contre, le licenciement des personnes incapables de répondre aux nouveaux ratios est l'option la plus probable. Les effets de seuils: ancienneté, salaire minimum, amplifiant ce phénomène.

Le cas le moins défavorable est une réorganisation de la production, mais elle aura sans doute peu d'effet sur l'emploi.

Par contre, le risque est que la pénibilité des travaux demandés: travail de nuit ou les jours fériés, horaires atypiques, crée de nouvelles demandes sociales si la valeur-ajoutée produite est proportionnellement plus forte que l'augmentation du coût horaire du travail. Les salariés exigeront alors de nouvelles augmentations de leurs rémunérations renforçant et fragilisant tout à la fois leurs positions.

Elles les renforcent, car l'employeur hésitera davantage à embaucher; les conséquences en cas d'erreur étant plus coûteuses avec des salaires élevés qu'avec des salaires faibles.

Elles les fragilisent car à la moindre faiblesse, ceux-ci ne répondront plus aux contraintes du ratio  $Va/Ct$  et les conduira en dehors de l'entreprise.

Toute hausse du coût du travail alimente par conséquent un cercle vicieux qui, selon le modèle de la valeur-ajoutée, conduit à exclure du monde du travail concurrentiel les personnes incapables de répondre aux nouveaux canons de productivité si le rapport  $Va/Ct$  baisse et atteint les valeurs critiques en terme de rentabilité du capital.

Sur le plan macroéconomique, le constat d'une évolution de nos sociétés industrielles anciennes vers un système productif à forte valeur-ajoutée, abandonnant aux pays émergents les activités qualifiées à faible valeur-ajoutée; forte valeur-ajoutée signifie alors que le coût du travail l'est aussi, mais justifié par la capacité des opérateurs économiques à gérer et à développer des objets intégrés à des systèmes de complexité élevée. Cette évolution condamne au chômage et à l'exclusion des circuits économiques concurrentiels les personnes incapables de répondre aux critères du modèle de la valeur-ajoutée dans nos pays caractérisés par une économie complexe. Elles n'ont plus aucune utilité économique compte-tenu des exigences professionnelles actuelles.

Une autre idée fondamentale à admettre pour saisir la dynamique de l'exclusion est de postuler que la productivité d'une structure est toujours améliorable. Les évolutions techniques dans nos sociétés sont constantes. A chaque instant, l'opérateur économique a la possibilité d'améliorer la productivité de sa structure si le rapport  $Va/Ct$  tend vers un minimum.

Au-dessous d'un certain seuil, l'apport en productivité ne peut compenser la hausse du coût du travail, l'alternative est alors de délocaliser ou de disparaître, ce qui socialement revient au même. Cette amélioration de la productivité passe par l'intégration de nouvelles techniques, une nouvelle organisation du travail, une formation des salariés capables de progresser, etc.

Il suffit de parcourir un salon professionnel<sup>10</sup> pour mesurer que l'évolution économique fondée sur la recherche de l'avantage concurrentiel se résume à:

- produire des nouveautés en fonction des besoins en cours ou à venir
- produire autant à coûts plus faibles
- produire plus à coûts constants,

ceci indépendamment des évolutions économiques globales (vie d'un produit, secteurs non viables, branches économiques émergentes, etc.).

Chaque jour, des milliers d'entrepreneurs tentent d'apporter, avec ou sans succès, une réponse originale à cette problématique. La recherche d'une meilleure productivité par l'innovation produit ou process est le fondement de la dynamique économique car elle seule crée les ruptures nécessaires à la survie et à l'enrichissement des structures.

Etant établi que le rapport  $Va/Ct$  tend vers une constante et que la productivité d'une structure économique est toujours améliorable, quelles incidences une baisse du temps de travail à coût salarial identique provoque-t-elle sur l'emploi ? A priori, celles-ci sont négatives.



Limite à produire une valeur-ajoutée satisfaisante, compte tenu de la complexité de nos sociétés et coût incompressible du travail (SMIC, charges, fiscalité) font qu'individuellement de nombreux opérateurs économiques ne peuvent satisfaire aux exigences du modèle de la valeur-ajoutée. Ceux-ci sont alors exclus des circuits économiques, chaque hausse du coût du travail provoquant le passage de la strate immédiatement supérieure du statut de salarié intégré à celui d'exclu du monde du travail concurrentiel.

Sachant que dans une économie coercitive comme la nôtre, le coût du travail dépend du contexte législatif et non des arbitrages du marché, le seuil  $Va/Ct$  détermine une valeur-ajoutée minimale à produire pour rester dans le secteur concurrentiel.

Toutes les unités de production de valeur-ajoutée incapables d'en produire en rapport avec leur coût du travail propre sont exclues de l'entreprise ou menacées de l'être car elles font baisser le rapport global de celle-ci.

On pourrait imaginer au nom d'une politique sociale hardie que les salariés dont le rapport  $Va/Ct$  est supérieur à la  $Cte$  acceptent une modération de leur salaire. Mais répondant eux aussi à la dynamique de ce modèle, ils seraient tentés de rechercher ailleurs l'amélioration de leur rapport personnel, ou alors de limiter volontairement leur production de valeur-ajoutée.

La conclusion qu'impose ces lignes est que toute hausse directe (baisse du temps de travail) ou indirecte (charges sociales, fiscalité) du coût du travail provoque une réorganisation de la structure économique visée afin de ramener le rapport  $Va/Ct$  proche de la  $Cte$ .

Cette réorganisation s'opère par une amélioration de la productivité des entreprises capables de survivre en excluant les populations les plus fragiles au regard de ce modèle.

Plus le coût incompressible de chaque unité de travail augmente, plus la valeur-ajoutée à mettre en rapport avec ce coût augmente elle aussi.

Tous les individus dont le potentiel de production de valeur-ajoutée est inférieur à celui déterminé par le rapport  $Va/Ct$  se retrouvent en situation de vulnérabilité avec un accroissement de la charge de travail pour les salariés restants dont les rémunérations croissent à moyen-terme compte-tenu de la valeur-ajoutée supplémentaire qu'ils produisent.

En nous maintenant dans les paradigmes actuels, nous risquons donc d'évoluer dans une société où de moins en moins de gens travailleront de plus en plus et financeront de plus en plus de gens qui travailleront de moins en moins. L'exclusion risque d'être par conséquent un phénomène durable à gérer sur le long terme qui nécessite pour la limiter la création d'outils politiques nouveaux en rupture avec les schèmes et les pratiques jusqu'alors adoptés.

L'optimisation de l'employabilité imposerait par conséquent des mesures politiques qui conduiraient à une baisse généralisée du coût du travail, soit par une baisse du salaire direct ou du salaire différé, soit encore par une baisse de la fiscalité et donc des services collectifs. Cette baisse du coût du travail concernerait uniquement les opérateurs économiques dont le rapport valeur-ajoutée/coût du travail est inférieur à une constante... dont on ne connaît pas la valeur.

---

### 9: le risque des 35 heures selon le modèle de la valeur-ajoutée

L'étude des scénarios économétriques à l'origine de la législation sur les 35 heures montre que ceux-ci sont très prudents et très mesurés quant à l'impact que ces dispositions auront sur l'emploi. Ils conditionnent la réussite de cette législation à la modération salariale.

L'application de cette législation rompt des situations d'équilibre créées par plusieurs années de négociations salariales et de rapport de force entre les partenaires sociaux.

La pression des salariés performants et/ou protégés risque d'aboutir à une augmentation des coûts de production ou des services, que ce soit dans le secteur privé (baisse de compétitivité) ou public (augmentation des déficits ou pression fiscale accrue). La baisse de la compétitivité globale de la France est par conséquent une hypothèse à entrevoir dans une économie mondialisée où la réussite est la conjonction des performances relatives du secteur public et du secteur privé, et non plus leur opposition selon l'idéologie dominante.

Déjà beaucoup d'industriels installés en France estiment payer trop chers les services dont ils ont besoin. Cette problématique est essentielle dans la concurrence que se livrent les manufactures. En effet, la productivité dans les services est sensiblement plus faible que dans le secteur industriel.

Si le manque de productivité des services, qu'ils soient publics ou privés, est identique dans chaque pays industrialisé, l'effet sur le prix des produits finis est nul. Mais si de grandes distorsions de concurrence apparaissent, celles-ci rejaillissent sur la compétitivité globale et pénalisent la performance économique. Quelques chiffres issus des statistiques de l'OCDE permettent de proposer une première hypothèse.

En France, contrairement à l'Allemagne et aux Etats-Unis, l'évolution de la productivité dans les services est très inférieure à l'évolution de la productivité globale. L'essentiel de l'amélioration aurait donc été réalisé par le secteur industriel.

En France, en 1980, la productivité dans les services est équivalente à celle de l'économie globale; par contre, en 1995, le rapport est de 88,45 %, soit une chute de la productivité qui n'est pas observée dans les deux autres pays de référence.

Aux Etats-Unis, la productivité dans les services est de 94,05 % par rapport à l'économie globale et de 100,15 % pour l'Allemagne où donc elle est très légèrement supérieure.

Une conclusion s'impose: la productivité dans les services en France n'a pas évolué comme dans le secteur industriel. Ceci conforte le sentiment qu'en France, certains services marchands ou publics sont chers.

Les débats suscités par la législation sur les 35 heures remettent sur le devant de la scène les questions concernant les relations entre coût du travail et emploi. Pour les uns, le plein emploi passe par une baisse générale des coûts salariaux; pour les autres, il faut partager le volume d'heures de travail, c'est l'esprit de la loi sur les 35 heures. Enfin chacun est persuadé qu'il reste à imaginer la bonne politique qui éviterait le chômage et l'exclusion et garantirait à tous des revenus corrects. La martingale reste à trouver et constitue un des espoirs les plus audacieux de la science économique. Mais, comme le rappelle John Maynard Keynes<sup>11</sup> *“la difficulté n'est pas de comprendre les idées nouvelles, elle est d'échapper aux idées anciennes qui ont poussé leurs ramifications dans tous les recoins de l'esprit des personnes ayant reçu la même formation (...)”*.

Celle que nous avons présentée à travers ces lignes et dans notre ouvrage “Coût du travail et exclusion” est que l'approche comptable de la valeur-ajoutée aboutit à des conclusions diverses sur les phénomènes d'exclusion souvent optimistes. Mais une approche écosystémique fondée sur la notion de valeur-ajoutée physique montre que cette exclusion a des causes organiques dues à la croissance de la complexité de nos écosystèmes artificiels.

L'écart qui existe entre valeur-ajoutée physique et valeur-ajoutée comptable est constitutif de l'écart entre flux néguentropiques et flux monétaires. Cette intuition est à l'origine du modèle de la valeur-ajoutée.

## D: origines du modèle

Ne voulant pas dissocier les propositions émises dans mes publications d'un parcours et d'observations je veux montrer maintenant comment l'idée du modèle de la valeur-ajoutée m'est venue à l'esprit. Il a trois origines.

La première se fonde sur les travaux des économistes et leurs réflexions sur le coût du travail, notamment que le coût marginal du travail est égale au gain marginal de productivité. Nous avons tenté au début de ce chapitre d'en résumer les idées-force.

La deuxième trouve ses racines sur les publications d'écologues fondées sur la thermodynamique et les transferts d'énergie entre les composantes des écosystèmes à partir de l'hypothèse-théorème de Lotka sur la maximisation de l'énergie libre. Les idées principales sont exposées dans les chapitres sur les sciences de l'environnement, le paradigme écosystémique et son utilisation pour lire certains phénomènes économiques.

Enfin ce modèle est directement issu de mon expérience et de mes observations de chef d'entreprise et de parent. Pour un chef d'entreprise il est évident que l'on paye les personnes en fonction de leur apport à la création de valeur-ajoutée comptable. Aussi, malgré les circonstances conjoncturelles qui impactent le coût du travail, il est naturel de poser comme hypothèse que ce rapport est constant, quels que soient les domaines économiques. Mais ce raisonnement est purement comptable et ne se réfère pas aux discours savants des économistes et des environnementalistes. Aussi, c'est en regardant mes enfants que je compris que la notion de valeur-ajoutée à un sens physique dans le prolongement de nos propositions sur une grille de lecture des écosystèmes et que celle-ci est toujours relative au niveau de complexité de celui-ci.

Un enfant passe à l'état adulte le jour où, selon ses potentialités et la formation qu'il a reçue, il est en mesure de participer à l'entretien puis au développement de la structure dans laquelle il est appelé à évoluer. Tant qu'il n'est pas en mesure de le faire il reste à l'état d'enfant, c'est à dire un élément du système qui participe à la production d'entropie (le désordre) sans être capable de gérer et de produire des flux néguentropiques. Tous les parents confirmeront que les enfants sont certes 'source de joie' pour faire plaisir au psycho-pédagogues, mais sont surtout une formidable machine à créer du bazar partout où ils passent.

Un élément du Code des assurances conforta ce truisme. Selon l'art. L 132-3, -assurance sur la tête d'un incapable-, il est interdit d'assurer sur la vie des enfants de moins de 12 ans. Le libellé de cet article est révélateur de l'esprit du législateur. Il suit un principe fondamental de l'assurance qui est d'organiser l'indemnisation de préjudices subis à la suite d'évènements aléatoires. Or, dans le cas d'un enfant et d'autres incapables (adulte sous tutelle ou en établissement psychiatrique) le préjudice de l'entourage est certes moral, mais financièrement nul, tout comme le préjudice financier consécutif à la disparition d'une personne incapable.... de créer de la valeur-ajoutée comptable. Il n'est alors pas difficile d'établir une relation entre la capacité bordélique des enfants et leur incapacité à générer par conséquent de la valeur-ajoutée physique (structuration d'un objet économique) et comptable (capacité à valoriser financièrement d'un point de vue utilitaire cette valeur-ajoutée physique). Si un enfant se révèle incapable d'intégrer nos systèmes selon ses capacités, résultantes de son potentiel et de sa formation, à évoluer dans une complexité donnée, il est en situation d'exclusion sociale. Le coût de son travail n'est donc pas le facteur déterminant de l'exclusion, mais seulement le facteur aggravant ou limitant.

Cependant, à la différence des enfants qui sont en phase d'évolution et atteindront pour la majorité d'entre eux les seuils critiques leur permettant de s'intégrer à la complexité de nos écosystèmes en créant une valeur-ajoutée physique valorisée comptablement, les adultes en situation d'exclusion durable n'ont plus cette perspective.

Imaginons maintenant une maison occupée par des personnes de niveau d'éducation différents.

Une première maison est occupée par des personnes n'ayant pu recevoir de formation.

La maison qu'ils occupent est simple. Elle est munie de fenêtres, de volets et de tout ce qui dans nos sociétés de l'Europe occidentale est déterminé par des usages dus aux conditions géoclimatiques.

Une deuxième maison est occupée par un couple d'architectes connaissant les derniers détails techniques pour gérer au mieux cette maison. C'est l'esprit de la domotique qui paraît-il sera incontournable dans le futur. Selon la définition que nous avons avancée, la complexité de cette dernière maison est supérieure à celle de la première. Pour un même volume, davantage d'éléments sont réunis et associés pour gérer cet habitat, les occupants ayant conçu celui-ci en fonction de leurs... possibilités cognitives.

Maintenant imaginons que chaque couple ait un ou plusieurs enfants. Pour tout parent, il est évident que ceux-ci acquerront leur autonomie le jour où ils pourront gérer comme leurs parents la complexité de la maison où ils ont vécu leurs premières années jusqu'à l'âge adulte.

L'investissement en formation nécessaire pour évoluer dans la première maison est moins important que pour la deuxième maison. L'enfant par conséquent doit acquérir une compétence minimale déterminée par la complexité de la maison qu'il occupe pour ne plus être un facteur de désordre. A partir de ce moment, il valorise l'investissement dont il a fait l'objet pendant son éducation, mais tant qu'il n'a pas atteint ce seuil critique déterminé par la complexité du milieu dans lequel il évolue, il n'a pas de valeur car il est incapable de participer à l'entretien de la complexité de son habitat.

C'est en constatant, dépit, la capacité bordérisatrice de mes enfants que j'ai abouti au modèle de la valeur-ajoutée et à une nouvelle explication de l'exclusion, non plus fondée sur des critères économiques, mais à partir de la capacité à évoluer dans un système de complexité donnée et d'y apporter une valeur-ajoutée physique contribuant à l'entretien et au développement de cette complexité.

Selon le modèle de Lotka-Volterra, les populations de proies et de prédateurs s'équilibrent dans le temps. D'un point de vue écosystémique, ce modèle est transférable à tous les écosystèmes dès lors qu'il existe des relations entre leurs éléments constitutifs et des transferts négentropiques entre niveaux trophiques différents. Pour un écosystème naturel nous établirons une ou plusieurs relations entre une espèce et ses ressources alimentaires. Un animal unique organisera son régime alimentaire selon les caractéristiques de son espèce mais aussi en fonction des contraintes du milieu dans lequel il évolue. Ainsi, un renard consommant habituellement des poules pourra être contraint de se rabattre sur des espèces plus difficiles à chasser si les poules deviennent inaccessibles. La canalisation de la prédation sur un type de proie dépend selon les écologues du coefficient d'appétition, c'est à dire du rapport entre l'apport 'énergétique' espéré et l'investissement du même ordre pour attraper la proie. Dans un écosystème en équilibre parfait, la maximisation de l'énergie utile aboutit à une situation d'équilibre stationnaire entre populations d'espèces.

Faisant abstraction des facteurs noosphériques qui créent les conditions d'écart avec les flux néguentropiques, le relation prédateur-proie devient une relation producteur-consommateur dans les écosystèmes artificiels; l'un produisant de la valeur néguentropique que consomme l'autre pour entretenir et développer sa complexité et lui-même produire de la valeur néguentropique; chacun cherchant à maximiser non plus l'énergie libre, mais aussi la valeur d'utilité qu'il consomme.

Ainsi le modèle de la valeur-ajoutée exprime que selon une approche utilitaire, le coût du travail, c'est à dire ce que l'opérateur économique est susceptible de recevoir du système, est déterminé par sa capacité à produire une valeur-ajoutée physique, c'est à dire organiser un objet économique susceptible d'être utile au fonctionnement d'un écosystème de complexité donnée.

La prise en compte de l'environnement participant à la complexification de nos sociétés est alors un facteur d'exclusion, car celle-ci participe à la complexification de nos écosystèmes artificiels.

## Conclusion générale

Cette HDR tente de relater l'itinéraire d'une personne qui au cours des années 1984-1985 a élaboré une grille de lecture des problématiques de l'environnement puis, a tenté d'organiser ces intuitions.

Aussi le plan de ce document s'articule à partir de l'idée que l'histoire de la philosophie occidentale dominante est achevée à la fin du 18<sup>ème</sup> siècle avec la constitution du paradigme classique qui s'est élaboré en rupture avec les discours religieux et scolastique qui dominait l'Europe occidentale depuis sa christianisation. Depuis ce paradigme classique fait l'objet de nombreux questionnements dont la crise de l'environnement est une des manifestations.

Au cours des années 1970, la crise de l'environnement a participé sur plusieurs fronts à la contestation de cette société occidentale et en particulier dans le domaine scientifique avec la constitution d'un paradigme écosystémique qui tente un synthèse des discours fondés sur une contestation du paradigme classique. Ainsi, le débat opposant les positivistes aux constructivistes n'est que le prolongement de ceux opposant Platon et Aristote aux sophistes dont Protagoras était un des chefs de file. Mais alors que les succès de la science classique ont créé les conditions de l'élaboration du mythe du progrès, la crise de l'environnement a favorisé une approche sophiste de la connaissance redonnant au mot 'discours' une importance que celui de 'loi' s'était accaparé. Le recours au terme 'modèle' ne serait alors qu'une timide tentative de médiation entre ces deux conceptions de la Connaissance. D'où l'importance de regarder l'environnement avec le regard du philosophe et de l'historien, rôle que l'épistémologie a joué pour la science.

Cette épistémologie est une discipline qui recouvre l'étude de l'ensemble des catégories du savoir. Ainsi, il y a à côté des épistémologies portant sur les sciences de la nature ou sur les mathématiques, des épistémologies concernant les sciences humaines: le droit, l'économie, la philosophie, l'histoire, la géographie, etc. Mais comme le rappelle Jean Piaget, l'épistémologie est "*l'étude de la constitution des connaissances valables*".

Or, l'environnement ne constitue pas à proprement parler un nouveau domaine de la connaissance, mais plutôt une manière d'organiser des éléments de la Connaissance pour répondre à de nouvelles problématiques.

A l'instar de la médecine qui existait avant la science moderne, mais ne peut désormais progresser sans elle, la démarche environnementale impose la maîtrise de techniques et d'outils dédiés, mais qui constituent des moyens et non des fins. Elle se fonde sur une approche holiste des phénomènes.

L'environnement n'a donc pas à revendiquer un statut de discipline comme la physique, le droit ou la philosophie, mais doit favoriser l'organisation de discours et de pratiques répondant à des problématiques nouvelles ou considérées comme telles.

Aussi, à l'expression d'épistémologie de l'environnement qui consisterait en l'étude de la constitution des connaissances valables en environnement, Frédéric Malaval propose le néologisme: *envirologie*. Revendiquant alors le statut de discipline, celle-ci consisterait en l'étude des discours sur l'environnement. Son objet serait de les identifier, de déterminer les paradigmes qui les structurent et d'en proposer de nouveaux; ceci selon une approche multi- et transdisciplinaire. La création de cette discipline constitue un but prioritaire de Frédéric Malaval. Elle est l'aboutissement naturel de son travail.

Aussi, après avoir exposé les principales étapes de ses réflexions sur l'environnement et ses résultats, ce travail montre comment les interrogations suscitées par l'émergence de la notion d'environnement participent à la constitution de ce qu'il qualifie de paradigme écosystémique, qu'il oppose au paradigme classique à partir duquel se sont élaborés tous les discours qui animent le monde occidental. Malheureusement, les conclusions auxquelles il aboutit prennent à contre-pied de nombreux discours officiels.

Ainsi, la notion de développement durable a intégré les préoccupations environnementales aux préoccupations sociales; le message véhiculé par les prosélytes de cette conception de l'économie étant que la prise en compte de l'environnement dans les processus de développement favorisera la lutte contre l'exclusion sociale.

A travers ce qu'il appelle le modèle de la valeur-ajoutée, qu'il a créé, Frédéric Malaval montre au contraire que la prise en compte de l'environnement induit des procédures de production et de gestion de plus en plus complexes qui renforcent l'exclusion sociale. Cette thèse a été résumée dans un ouvrage<sup>1</sup> publié en 1999 et qui utilisait la législation sur la réduction du temps de travail comme illustration de celle-ci. Elle est fondée sur des éléments du paradigme écosystémique.

Cette HDR est pour lui l'occasion de montrer plusieurs axiomes du paradigme écosystémique et comment celui-ci permet d'élaborer un nouveau discours sur le fonctionnement des écosystèmes, qu'ils soient naturels ou artificiels.

A côté du modèle de la valeur-ajoutée dont le formalisme selon lui n'est pas achevé<sup>2</sup>, Frédéric Malaval conclut sa présentation par des hypothèses sur les relations entre flux monétaires et flux néguentropiques. Ces derniers -barbarisme ou néologisme, l'avenir décidera- sont issus de son modèle de fonctionnement des écosystèmes.

Ces relations soulèvent de nombreuses problématiques qu'il évoque et qui devraient constituer des pistes de recherche à partir des relations Environnement/SurEnvironnement.

Les premières poursuivront l'étude de l'histoire de leurs manifestations et de leurs relations; les secondes chercheront à déterminer les conditions de réintégration des SurEnvironnement dans les Environnement.

En résumé, les innovations publiées par Frédéric Malaval portent sur:

- une grille de lecture de la crise de l'environnement fondée sur la notion de SurEnvironnement
- une recherche sur les couplages assurances/environnement/développement durable;
- le modèle de la valeur-ajoutée.

Les innovations-hypothèses avancées dans cette thèse d'habilitation sont:

- l'identification du paradigme écosystémique et du paradigme classique;
- un modèle qualitatif de fonctionnement des écosystèmes;
- l'équivalence flux monétaires et flux néguentropiques.

Aussi, aujourd'hui, ses recherches portent sur:

- l'envirologie avec deux axes prioritaires
  - . l'opposition entre paradigme classique et paradigme écosystémique;
  - . les rapports Nature-Culture
- l'élaboration d'une grille de lecture écosystémique de l'économie

Ces travaux théoriques ne le dispensent pas pour autant de participer à l'édition d'ouvrages plus concrets:

- . en collaboration et sur l'initiative du Professeur J. Vigneron, sur les innovations scientifiques et techniques en environnement;
- . des guides pratiques sur la gestion de l'environnement pour les élus ou les chefs d'entreprise.

Cependant, il est conscient ne plus pouvoir mener en parallèle ses activités professionnelles et sa recherche.



## Bibliographie Enviologie

“12 questions d'actualité sur l'environnement”, Ministère de l'environnement, 1992

“Action for the future: priorities for the environment”, Association of Metropolitan Authorities, AMA, 1989

“A Gaian Philosophy”, <http://www16.brinkster.com/subvertica>

Allain Annie, Marc Gladieux, “L'environnement: ses enjeux économiques, politiques et culturels”, Travaux et recherches, 1998

ALLEGRE Claude, “Economiser la planète”, Fayard, 1991

ALLEGRE Claude, “Ecologie des villes, écologie des champs”, Fayard, 1993.

“Amélioration d'hygiène et de l'environnement dans les habitats pour faibles revenus”, OMS, 1989

Amigues J.P., F. Bonnieux, Ph. Le Goffe, P. Point, “Valorisation des usages de l'eau”, Economica, 1995

Anderson Paul K., “OMEGA - Murder of the ecosystem and suicide of man”, WCB, 1971 (JV)

Andrevon Jean-Pierre, “La nécessité écologique”, Car rien n'a d'importance Editions, 1994

Anselme Michel, Jean-Louis Parisis, Michel Péraldi, Yves Ronchi, “Tant qu'il y aura des arbres”, Recherches, 1981

ANTOINE Serge, “La planète terre entre nos mains”, Documentation française, 1994

Archambault E., B. Desaignes, JP Carcela da Fonsela, “Une approche multidisciplinaire de l'environnement”, Economica, 1980

Arques Philippe, “La pollution de l'air”, Edisud, 1998

AUBERTIN Catherine, Franck-Dominique VIVIEN, “Enjeux de la biodiversité”, Economica, 1998

Aumont A., “Le bruit: 4ème pollution du monde moderne”, PU de Montréal, 1970

ASCHIERI André, “La France toxique. Sante-environnement: les risques caches”, la Decouverte, 1999

“Aspects économiques du changement climatique”, OCDE-AIE, 1993

BABET André, “Triselec- La bonne affaire”, Economica, 1997

Bachelet M., “L'ingérence écologique”, Frison-Roche, 1995

Bachet Christian, “Chef de guerre chez les Creeks”, Editions France Empire, 1994

Bailly Antoine, Brun Ph., R.J. Lawrence, M.C. Rey, “Développement social durable des villes”, Anthropos, 2000 (JV)

Barnier Michel, “Chacun pour tous - Le défi écologique”, Stock, 1990 (JV)

Barraqué V., “Les politiques de l'environnement”, Recherches, 1998

Barraqué B., “La politique de l'eau en Europe”, La Découverte, 1995

Barreau J., Godard O., Lenco M., Perelman R. I. Sachs, “Environnement et qualité de vie”, Guy Le Prat Ed., 1975

Belbeoch B. et R., “Tchernobyl, une catastrophe: quelques éléments pour un bilan”, Ed. Allia, 1993

Barrière Martine, “La science au service de l'environnement”, La Découverte, 1992

Bertier de Guillaume, “Les titans du capitalisme américain”, Plon, 1992

Bertolini Gérard, “Déchets, mode d'emploi”, Economica, 1996

- Bertolini Gérard, *“La récupération au quotidien”*, EDRA, 1982 (JV)
- Bertolini Gérard, *“Eau, déchets et modèles culturels”*, Ed. Entente, 1983 (JV)
- Bertolini Gérard, *“Homo plasticus”*, Sang de la terre, 1991 (JV)
- Bertolini Gérard, *“Le minimalisme - concepts et pratiques d'éco-conception”*, Economica, 1999
- Besse Jean-Marc, I. Roussel, *“Environnement, représentations et concepts de la nature”*, L'Harmattan, 1998
- BETCH Jean-Marie, *“Pour une recherche contribuant à une politique de développement durable”*, Assises du développement durable, 1996
- Biehl Janet, Peter Staudenmaier, *“Ecofascism: lessons from the german experience”*, <http://www.spunk.org>, mars 2001
- Biehl Janet, *“Ecology and the Modernization of Fascism in the German Ultra-Right”*, <http://www.spunk.org>, mars 2001
- Bigot François, *“L'urbanisme au défi de l'environnement”*, Apogées, 1994
- “Biodiversité; l'homme est-il l'ennemi des autres espèces ?”*, La Recherche, juillet 2000
- Boff Leonardo, *“La Terre en devenir - Une nouvelle théologie de la libération”*, Albin Michel, 1994
- Bombard Alain, *“Les grands navigateurs”*, Presses de la cité, 1976
- Bonnal Christophe, *“La pollution spatiale devient un enjeu économique”*, La Recherche, février 1998
- BONNEFOUS Edouard, *“L'homme ou la nature ?”*, Hachette, 1970
- Bourg Dominique, *“Hans Jonas et l'écologie”*, La Recherche, juillet 1993
- Bourg Dominique, Jean-Louis Schlegel, *“Parer aux risques de demain: le principe de précaution”*, Ed. du Seuil, 2001
- Bourg Dominique, Jean-Michel Besnier, *“Peut-on croire encore au progrès”*, Puf, 2001
- Bourg Dominique, *“La Nature en politique ou l'enjeu philosophique de l'écologie”*, L'Harmattan, 1993
- Bourg Dominique, *“Nature et technique - Essai sur l'idée de progrès”*, Hatier, 1997
- Bourg Dominique, *“Environnement, morale et politique”*, Revue européenne des sciences sociales, n°118, 2000
- Bourg Dominique, *“Planète sous contrôle”*, Textuel, 1998
- Bourg Dominique, *“Les sentiments de la nature”*, La Découverte, 1993
- Bourguignon Claude, *“Le sol, la terre et les champs: de l'agronomie à l'agrologie”*, Sang de la terre, 1996
- Boyer Philippe, *“Ma planète, ça ma regarde”*, Gallimard, 1990
- Bramly Serge, *“Terre sacrée - Univers sacré des Indiens d'Amérique du nord”*, Laffont, 1974
- Braudel Fernand, *“Grammaire des civilisations”*, Arthaud, 1987
- Brodhag Christian, *“Les quatre vérités de la planète”*, Ed. du félin, 1994
- BROWN Lester R., Annual ( 1992-), Worldwatch Institute, en français, *“L'état de la planète”*, Economica
- Brown L.R., Ch. Flavin, S. Postel, *“Le défi planétaire”*, Sang de la terre, 1992 (JV)
- Bruckner Pascal, *“Le sanglot de l'homme blanc”*, Seuil, 1986
- Boy Daniel, V. J. le Seigneur, A. Roche, *“L'écologie au pouvoir”*, Ed. Presses de sciences, 1995

- Boy Daniel, *“Le progrès en procès”*, Presses de la renaissance, 1999
- Buisson L., *“Préserver l'eau”*, Editions de l'argile, 1996
- Butor Michel, *“La modification”*, Ed. de Minuit, 1957
- Cabanes Bruno, *“L'Amérique a un héros: le séquoïa”*, l'Histoire n°228, janvier 1999.
- CADORET Alain, *“Protection de la nature - Histoire et idéologie - De la nature à l'environnement”*, L'Harmattan, 1985.
- Cairncross Frances, *“Les marchés verts”*, Les éditions d'organisation, 1993
- Cans Roger, *“La bataille de l'eau”*, Le Monde Ed., 1994 (JV)
- Cans Rogern *“La passion de la terre”*, F1RST, 1991 (JV)
- CEMT, *“Transports: à problèmes nouveaux, solutions nouvelles”*, OCDE, 1995
- CEMT, *“La politique des transports et l'environnement”*, CEMT-OCDE, 1990
- Chabasson L., J. Theys, *“Plan national pour l'environnement”*, 1990 (JV)
- Chalmin Philippe, *“Enjeux économiques et sociaux”*, Economica, 1995 (coll. privée J. Vigneron)
- Chaïb Jérôme, *“Les mares entre culture et nature”*, Le courrier de la nature, mars 1997
- “Changement climatique, instruments économiques et distribution des revenus”*, OCDE, 1995
- CHARDIN de Teilhard, *“La place de l'homme dans la nature”*, Union générales d'éditions, 1962.
- Charpak Georges, Richard L. Garwin, *“Feux follets et champignons nucléaire”*, Odile Jacob, 1997
- Charrier Bertrand, *“Bataille pour la planète”*, Economica, 1997 (JV)
- Chassard Bouchaud Colette, *“Environnement et radioactivité”*, PFU, 1993
- Chaussade Jean, *“Les ressources de la mer”*, Flammarion, 1997
- “Chernobyl - Ten Years On”*, AEN, 1996
- “Climate change policy initiatives”*, OCDE, 1992
- Clément G., *“Le jardin planétaire”*, Albin Michel, 1999
- Clerc Denis, Alain Lipietz, Joël Satre-Buisson, *“La crise”*, Syros, 1983 (coll. privée J. Vigneron)
- Cohen Saul B., *“Geography and the American Environment”*, Voice of America Forum Lectures, 1968 (JV)
- Colborn T., D. Dumanoski, J.P. Myers, *“L'homme en voie de disparation”*, Terre vivante, 1996
- Collin Jacques, *“L'eau, le miracle oublié”*, Guy Tredaniel, 1998
- Comité national français de géographie, *“Les Français dans leur environnement”*, Nathan, 1997
- Commoner B., *“La pauvreté du pouvoir: énergie et crise économique”*, Puf, 1980
- “Contre le bruit - Renforcer les politiques de lutte contre le bruit”*, OCDE, 1986
- Costa Jean-Patrick, *“L'Homme-Nature ou l'alliance avec l'univers”*, Sang de la terre, 2000
- Courtillot Voncent, *“La vie en catatsrophes”*, Fayard, 1995
- Courtine Didier, *“Décharge proscrite”*, Economica, 1996

Crescenzo De Luciano, *“Les grandes philosophies de la grèce antique”*, Ed. de Fallois, 1999

*“Croissance et environnement: les conditions de la qualité de vie”*, La documentation française, 1993.

Darmon Pierre, *“L’homme et les microbes”*, Fayard, 1999.

Delalande andré, *“Tout savoir ou presque sur l’énergie”*, PYC, 1998

Desbrosses Philippe, *“Nous redeviendrons paysans”*, Ed. du Rocher, 1993 (JV)

Desbrosses Philippe, *“L’intelligence verte, l’agriculture de demain”*, Ed. du Rocher, 1997 (JV)

Delort Robert, Walter François, *“Histoire de l’environnement européen”*, Puf, 2001

*“Déchets municipaux: coopérer pour prévenir”*, La documentation française, 1997

Descola Philippe, *“Les cosmologies des indiens d’amazone”*, La Recherche, novembre 1996

*“Des déchets et des hommes”*, Environnement africain n°29-30, 1990 (JV)

Dessus Remy, *“Energie, un défi planétaire”*, Belin, 1996

*“Développement durable: un effort renouvelé de l’OCDE”*, OCDE synthèse, 1998

*“Développement durable, contribution des ministres”*, Ministère de l’environnement, 1996

*“Développement durable - Synthèse des assises thématiques”*, Ministère de l’environnement, 1996

*“Dictionnaire de l’environnement: les termes normalisés”*, septembre 1994

Dobré Michel, *“L’opinion publique et l’environnement”*, Ed. Institut français de l’environnement, 1995

Domenach M., M. Pocouet, *“Population et environnement”*, Puf, 2000

*“Données économiques de l’environnement”*, Ministère de l’environnement (France), 1987

*“Données économiques de l’environnement”*, Ministère de l’environnement (France), 1998

*“Données économiques de l’environnement”*, Economica, 1997

*“Données OCDE sur l’environnement”*, OCDE, 1985, 87, 91, 93, 95, 99

*“Donor Assistance to Capacity Development in Environment”*, OCDE, 1995

Dron D., *“Environnement et choix politiques”*, Flammarion, 1995

Dron D., *“Déchets municipaux: coopérer pour prévenir”*, La documentation française, 1997

du Bois de Gaudusson Jean-Claude, S. Soumastre, *“Protection des milieux aquatiques”*, Doc. française, 1990

Dubos René, *“L’Homme et l’adaptation au milieu”*, Payot, 1973.

Dumont René (préf.), *“Le livre des verts - dictionnaire d’écologie politique”*, Ed. du Félin, 1994

Duplessy Jean-Claude, *“Gros temps sur la planète”*, Odile Jacob, 2000

*“Effets sur l’environnement des systèmes énergétiques”*, OCDE, 1983

ELLENBERG Heinz, *“L’écologie”*, Grammont, 1975

Encyclopaedia Universalis, mots clés: environnement, nature, pollution, 1995

*“Energy efficiency and the environment”*, AIE, 1991

*“Energie et environnement”*, OCDE, 1974

“*Entreprise et environnement: recherche développement durable désempérement*”, FNEP, 1994

“*Environnement*”, Scor notes, juin 1994

“*Environnement - Préparation du IX plan*”, Commissariat général du plan, La documentation française, 1983 (JV)

“*Environmental policies in Yugoslavia*”, OCDE, 1986

“*Environmental policies in Finland*”, OCDE, 1988

“*Environnement: les espoirs de la science*”, Sciences et avenir, juillet 1991

“*Environnement: le temps de la précaution*”, Risques n°11, 1992

“*Environmental signals 2000*”, European Environment Agency, 2000

Erdoes Richard, A. Ortiz, “*Mythes et légendes des indiens d’Amérique du Nord*”, Albin Michel, 1995

Erkman Suren, “*Vers une écologie industrielle*”, Ed. Mayer, 1998 (JV)

ESAMBERT Bernard, “*Le développement durable: une clé pour le XXIème siècle*” dans 12 questions d’actualité sur l’Environnement, Ministère de l’environnement, 1996

“*Etat de l’environnement*”, Ministère de l’environnement (France), 1987

Etchegoyen Alain, “*Le temps des responsables*”, Julliard, 1994

“*Ethique et environnement*”, Ministère de l’environnement, colloque du 13 décembre 1996

“*Examens des performances environnementales de la France*”, OCDE, 1997 (coll. privée J. Vigneron)

FAIRFAX Sally K., “*The Essential Legacy of a Sustaining Civilization*”, Ecology Law Quaterly n°3, 1998

Faucheux Sylvie, J.F. Noël, “*Les menaces globales sur l’environnement*”, La Découverte, 1990 (JV)

Ferry Luc, “*Les animaux ont-ils une âme ?*”, Le Point n°1282, avril 1997

Ferry Luc, “*Le nouvel ordre écologique*”, Grasset, 1992

Fischer G.N., “*Psychologie sociale de l’environnement*”, Privat, 1992

“*Five Years after Rio*”, The World Bank, 1997

Frank Thomas, “*One market Under God*”, Secker and Warburg, 2000

FREMAU Olivier, “*Industrie et environnement*”, Ellipses, 1994

Friedmann Arnold, Zimring C., Zube E., “*Environmental design evaluation*”, Plenum Press, 1978 (JV)

Gaid Abdelkader, “*Allons-nous vers un apartheid écologique ?*”, Scientifika, 1993

GALL Jean-Claude, “*Paléocéologie: paysages et environnements disparus*”, Masson, 1995

Gardiner Brian, “*Les besoins énergétiques*”, Défis écologiques, 1991

Gaujous Didier, “*La pollution des milieux aquatiques*”, Lavoisier, 1995

Gerbaux Françoise, “*Utopie: pour le territoire - cohérence et complexité*”, Ed. de L’Aube, 1999

“*Gestion de l’eau-Performances et défis dans les pays de l’OCDE*”, OCDE, 1998

Gevaert P., “*L’avenir sera rural: au secours d’un monde moderne en dérive*”, Ruralis, 1993

Goguel Jean, “*Géologie de l’environnement*”, Masson, 1980

Goodrick-Clarke Nicholas, *“Savitri Devi, la prêtresse d’Hitler”*, AA, 2000

Goodrick-Clarke Nicholas, *“Les racines occultistes du nazisme”*, 1989

GORDSMITH E., HILDYARD N., BUNYARD P., *“5000 jours pour sauver la planète”*, Editions du chene, 1990

GORE Al, *“Sauver la planète - L’écologie et l’esprit humain”*, Albin Michel, 1993

Gounelle de Pontanel H., Giudicelli C.P., *“Protection de l’environnement”, hygiène et environnement”*, Frison-Roche, 1993

Gouron Pierre, *“Terres de bonne espérance”*, Plon, 1982

Grupp Michaël, *“La société sous le joug de l’approvisionnement énergétique”*, Ed. Galilée, 1979 (JV)

Gualde Norbert, *“Un microbe n’explique pas tout: l’immunité de l’humanité entre Gaïa et le chaos”*, Les empêcheurs de penser en rond, 1999

GUERIN-HENNI Anne, *“Les pollueurs - Lutttes sociales et pollutions industrielles”*, Seuil, 1980

Guigo Mary et al., *“Gestion de l’environnement et étude d’impact”*, Masson, 1995

Guyau Luc, *“Le défi paysan”*, Le Cherche Midi, 2000

Goldsmith Edouard, *“Une vision écologique du monde”*, Ed. du rocher, 2000

Hainard Robert, *“Le miracle d’être”*, Sang de la terre, 1997

Hall Edward T., *“La dimension cachée”*, Seuil, 1971

*“Handbook of incentive measures for biodiversity”*, OCDE, 1999

Hare T., *“Le danger des déchets toxiques”*, Gamma, 1992

HARRIBEY Jean-Marie, *“Le Développement soutenable”*, Economica, 1998

Hulot N., Barbault R., D. Bourg, *“Pour que la terre reste humaine”*, Ed. du Seuil, 1999

Huxley Aldous, *“Les portes de la perception”*, Ed. du Rocher, 1954

*“Indicateurs d’environnement”*, OCDE, 1994

*“Indicators for the integration of environmental concerns into transport policies”*, OCDE, 1999

*“Interim report on the OECD three-year project on sustainable development: executive summary”*, OCDE, May 1999

*“Introduction to trade unions and environmentally sustainable development”*, Bureau for Workers’ Activities International Labour Office, 1999

Jacquin Philippe, *“Les indiens d’Amérique”*, Flammarion, 1996

Jeudy Henri-Pierre, *“Le désir de catastrophes”*, Aubier, 1990

Joly-Sibuet E., Lascoumes P, ..., *“Conflits d’environnement”*, Ministère de l’environnement, 1988 (JV)

Jonas H., *“Le principe de responsabilité - Une éthique pour la civilisation technologique”*, Ed. Cerf, 1990

Joussaume Sylvie, *“Climat d’hier à demain”*, CNRS, 1999

Kail M., J. Lambert, E. Quinet, *“Evaluer les effets des transports sur l’environnement”*, Lavoisier, 1999

Kandel Robert, *“Les eaux du ciel”*, Hachette, 1998

Karampatéa Mariléna, *“La mythologie grecque”*, Editions Adam, date (?)

- Kazazian Thierry, *“Le cycle de l’emballage”*, Masson, 1995
- KEATING Michael, *“Sommet de la terre 1992- un programme d’action - version pour le grand public de l’Agenda 21 et des autres accords de Rio”*, Centre pour notre avenir à Tous, 1993
- Keyfitz Nathan, *“Croissance démographique: qui peut en évaluer les limites ?”*, La Recherche, avril 1994
- Kilimke Josef, *“Atomkraft - Risiko ohne grenzen”*, Grüne Kreisverbände, 1981
- Koning de H.W., *“La fixation des normes en matière d’environnement”*, OMS, 1989
- Krech III Shepard, *“The Ecological Indian, Myth and History”*, Norton, 1999.
- “La Bible”*, Tob, 1980
- LACAZE Jean-Claude, *“La pollution des mers”*, Dominos Flammarion, 1996
- Lascoumes ., *“Instituer l’environnement: vingt-cinq ans d’administration de l’environnement”*, Ministère de l’environnement, 1999
- Lascoumes P., *“L’éco-pouvoir”*, La Découverte, 1994
- “L’agriculture et l’environnement - Enjeux et stratégies”*, OCDE, 1998
- “L’aménagement du territoire au GD de Luxembourg”*, 1991
- “La lutte contre la pollution des eaux par l’industrie: rapport general”*, Institut international des sciences administratives 1965
- Lamirault Thierry, *“La nature mise en perspective”*, Economica, 1997
- LANGEWED Fred, *“The implementation of Agenda 21 `our common failure'?”*, The Science of The Total Environment, July 1998
- “La pollution”*, Scor notes, 1989
- LARBI BOUGUERRA Mohamed, *“La pollution invisible”*, Puf, 1997
- LARRERE Catherine, *“Les philosophies de l’environnement”*, Puf, 1997
- LARRERE Catherine, Raphaël LARRERE, *“Du bon usage de la nature - Pour une philosophie de l’environnement”*, Aubier, 1997
- LARRERE Catherine, Raphaël LARRERE, *“La crise environnementale”*, Inra Editions, 1997
- Larres C. et R., *“La crise environnementale”*, INRA, 1994
- “La sensibilité écologique des Français”*, Ifen, 2000 (JV)
- Latour Bruno, *“Politique locale et écologie pratique”*, La Recherche, avril 1997
- Lamère Raphael, D. Vernersch, *“Agriculture et environnement: l’économie peut-elle les réconcilier ?”*, Les problèmes économiques vol. 2662
- Lamy Michel, *“La biosphère, la biodiversité et l’homme”*, Ellipses, 1999
- “L’avenir de l’environnement mondial”*, PNUE, 1999 (JV)
- Lavoux Thierry, Rechatin Cécile, *“L’environnement en France”*, Ifen, 1999
- “L’eau, la ville et l’urbanisme”*, IAURIF, 1997
- “L’eau au XXIe siècle, de la vision à l’action”*, Editions futuribles, 2000

*“L'eau aujourd'hui: planète bleue, planète grise”, Société suisse pour la protection de l'environnement, Georg, 1990*

*Le Clech B., “Environnement et agriculture”, Synthèse agricole, 1995*

*Lecomte Jacques, “L'eau: usages et conflits d'usage”, Que sais-je n°266, 1998*

*Lecourt Dominique, “Dictionnaire d'histoire et de philosophie des sciences”, Puf, 1999*

*Le Coz C., B. Tassin, D. Thévenot, “Mesures et environnement”, Presses des Ponts et Chaussées, 1997*

*“Lectures de la crise”, Cahiers du Germes n°8, mai 1983 (coll. privée J. Vigneron)*

*“Le développement et l'environnement”, BERD, 1992*

*“Le développement et l'environnement”, Banque mondiale, 1992*

*Lefebvre J.F., Guérard, Drapeau, “L'autre écologie”, Editions Multimondes, 1996*

*“L'effet de serre”, La Recherche, mai 1992*

*“L'écologiste”, collection complète*

*LE CONTE DES FLORIS Daniel, Thierry GRILLET, “Les Natures du Vert - Environnement: une grande 'cause' mais moi d'abord !”, Autrement Editions, 1986*

*Lenoir Yves, “Climat de panique”, Favre, 2001*

*Lenoir Yves, “La Vérité sur l'effet de serre”, La Découverte, 1992*

*“L'environnement - Ce qu'en disent les Français”, La documentation française, 1999 (JV)*

*“L'environnement au XXI siècle: les enjeux”, Germes, 1998*

*“L'environnement en France”, Ifen, 1994-1995*

*“L'environnement - Ressource pour l'avenir, OCDE, 1985*

*“L'environnement urbain:quelles politiques pour les années 1990”, division urbaine OCDE, 1990*

*“L'environnement et le développement”, ONU, 1992*

*“Les études d'impact sur l'environnement”, OCDE, 1979*

*“Les paradoxes de l'environnement”, Albin Michel, 1994*

*“Le réchauffement planétaire”, OCDE, 1995*

*“Le recours aux forêts”, collection complète*

*Leroy Jean-Bernard, “La pollution des eaux”, PFU, 1994*

*Leroy Jean-Bernard, “Les déchets et leur traitement”, PFU, 1997*

*“Le développement durable - Contribution au débat national”, Commission française du développement durable, rapport 1996*

*“Le développement durable”, Comité 21, décembre 1996*

*“Les espaces naturels, un capital pour l'avenir”, La documentation française, 1991*

*“Les défaillances du marché et des gouvernements dans la gestion de l'environnement: le cas des transports”, OCDE, 1992*

*“Les héros de l'environnement”, Autrement n° 59, avril 1984 (coll. privée J. Vigneron)*



- Lemechev, "Désastre écologique en URSS", *Sang de la Terre*, 1991
- Lepage Corinne, F. Guéry, "La politique de précaution," PUF, 2001
- "Les paradoxes de l'environnement", Albin Michel, 1994
- "Les perspectives de l'environnement de l'OCDE", OCDE, 2001
- "Les politiques de l'environnement face à la crise", *Cahiers du Germes* n°9, décembre 1984 (coll. privée J. Vigneron)
- "Les politiques de l'environnement face à la crise", *Cahiers du Germes* n°10, juin 1985 (coll. privée J. Vigneron)
- "Les politiques de l'environnement face à la crise", *Cahiers du Germes* n°11, décembre 1985 (coll. privée J. Vigneron)
- "Les transports et l'environnement", Conseil National des Transports, *La documentation française*, 1999
- "L'état de l'environnement", OCDE, 1985
- "L'état de l'environnement", CEE, 1977
- "L'état de l'environnement", CEE, 1979
- "L'état de l'environnement", OCDE, 1979
- "L'état de l'environnement", OCDE, 1991
- "L'étiquetage écologique des produits dans les pays de l'OCDE", OCDE, 1991
- Lewis Roy, "Pourquoi j'ai mangé mon père", Actes Sud, 1990
- "L'homme et l'environnement", Payot, 1991
- Linster Myriam, "Inventaire national des formations concernant l'environnement", Université Paris -Val de Marne, 1984
- Lomborg Björn, "The skeptical environmentalist", Cambridge University Press, 2001
- LONG Bill L., "International Environmental Issues and the OECD 1950-2000", OECD, 2000
- Longet René, Régina Weick, "La gestion des déchets: la société du prêt à jeter", Georg, 1993
- Lovelock James, "Gaia, comment soigner une terre malade ?", Laffond, 1992
- "L'utilisation rationnelle de l'énergie et l'environnement", AIE-OCDE, 1992
- MacMillan H. R., "Energy and the environment", University of British Columbia, 1972
- Maes Michel, "Options déchets", Ed. Johanet, 1992 (JV)
- MAINGUET Monique, "L'homme et la sécheresse", Masson, 1992.
- Magny Michel, "Une histoire du climat: des derniers mammoths au siècle de l'automobile", Ernance, 1995
- MALAVAL Frédéric, "Symphonie n°6- Impressions sur le concept 'environnement'", BMA, 1996
- Mamou-Mani Alain, "Au-delà du profit", Ed. Albin Michel, 1995
- Mamou-Mani Alain, "La vie en vert: le mariage de l'économie et de l'écologie", Payot, 1991
- "Managing the environment: local authorities in action", Local Government Management board, 1990
- Mandel Vera, "Comment développer une conscience écologique", *La Recherche*, mai 1992
- Maresca B., P. Hebel, "L'environnement: ce qu'en disent les Français", *La documentation française*, 1999

Marillet Bernard, "Le loup", Pardès, 1997

Marticher de Nicole, "Aménagement du territoire", La Découverte, 1995

McLuhan T.C., "Pieds nus sur la terre sacrée", Denoël, 1974

Massoud Zaher, "Terre vivante", O. Jacob, 1992

Martin Pierre, "Ces risques que l'on dit naturels", Edisud, 1998

Martin Yves, L.Y. Maystre, "Santé et pollution de l'air", Presses polytechniques normandes, 1988

Mauconde G., Ch. Pierre, "La pollution - Survivre sur une planète en péril", Economica, 1989

Maurade G., "La pollution: Survivre sur une planète en péril", Economica, 1989

Meana Di Carlo Ripa, "Adieu, la terre", Les Editions de l'environnement, 1993

MEBRATU Desta, "Sustainability and sustainable development - Historical and conceptual review", Environmental Impact Assessment Review, November 1998

Mekibben, "La Nature assassinée", Fixot, 1990

Mermet Laurent, "Stratégies pour la gestion de l'environnement", L'Harmattan, 1992

Merlin P., J.P. Traisnel, "Energie, environnement et urbanisme durable", Puf, Que sais-je, 1996

Merlu Pierre, Jean-Pierre Traisnel, "Energie, environnement et urbanisme durable", Puf, 1996

MEYRONNEINC Jean-Paul, "Le transport face à l'environnement", CELCE Paris, 1998

MONGEAU Serge, "L'ecosophie ou la sagesse de la nature", Ecosociete, 1993

Monod Jacques, "Le Hasard et la Nécessité", Le Seuil, 1970

MOUVIER Gérard, "La pollution atmosphérique", Dominos Flammarion, 1994

Nicolino F., "Le tour de France d'un écologiste", Seuil, 1993

Nollet Patrick, "Pour mieux gérer l'environnement", Les Ed. de L'environnement, 1993

"Notre avenir à tous", Ed. du Fleuve, 1988 (JV)

"Notre avenir pour tous", Commission européenne, 1998

"Nova Renascença", volume XIII, 1993 (coll. privée J. Vigneron)

Nowak Françoise, "Le Prix de l'eau", Economica, 1996

O'CONNOR Martin, "Emergent complexity and procedural rationality: post normal science for sustainability", dans Getting Down to Earth, International society for ecological economics, (?)

O'CONNOR Martin, Rosemary ARNOUX, "Ecologie, échanges inéluctable et éthiques de l'engagement" - Sur le don et le développement durable", Revue du Mauss N°15-16, 1991

OST François, "La nature hors la loi - L'écologie à l'épreuve du droit", Editions La Découverte, 1995

"Our common future", World Commission on Environment and Development, Oxford University Press, 1987

Paillotin Guy, "L'homme veut se réappropriier la nature", La Recherche, janvier 1997

Péguy Charles-Pierre, "Jeux et enjeux du climat", Masson, 1989

PELLERIN Pierre, "Le tracassin des environnés", Editions Jean-Claude Simoën, 1978

Pelletier J., "Villes et urbanisme dans le monde", V-Géogra. Edit., 2000

Pelt Jean-Marie, "La Terre en héritage", Fayard, 2000

Pelt Jean-Marie, "Au fond de mon jardin", Fayard, 1992

Pelt Jean-Marie, "L'homme re-naturé", Seuil, 1990

Pelt Jean-Marie, "Le tour du monde d'un écologiste", Fayard, 1990

Pelt Jean-Marie, "Plantes en péril", Fayard, 1997

Pichard Philippe, "La gestion des déchets", Flammarion, 1995

Pichat Philippe, "La gestion des déchets", Flammarion, 1995

Pietrasanta Yves, D. Bondon, "Le lagunage écologique", Economica, 1994

"Plan national pour un développement durable", Ministère de l'environnement du Grand-Duché de Luxembourg, 1999

Ploye François, "L'effet de serre: science ou religion du XXI siècle ?", Naturellement, 2000

"Politiques de l'environnement et changement technique", OCDE, 1985

"Politiques énergétiques et développement durable", Futuribles n°189, juillet 1994 (JV)

"Politique énergétique, les voies du solaire", La documentation française, 1981 (JV)

"Politiques d'efficacité de l'énergie et environnement: Experiences pratiques dans les pays en développement", Economica, 1994

Pomel Simon, "La déforestation dans le monde tropical", Talence, 1998

Ponting Clive, "Le viol de la terre, depuis des siècles toutes les civilisations sont coupables", Nil, 2000

Poujol Thierry, "Des réseaux pneumatiques dans la ville", LATTIS, 1986

Prades J.A., "Ethique de l'environnement et du développement", Puf, 1995

"Préserver la diversité biologique", OCDE, 1996 (coll. privée J. Vigneron)

Prieur Michel, Stéphane Doumbé, "Droit de l'environnement et développement durable", Pulim, 1994

"Problèmes d'environnement - dire d'experts", Entreprises pour l'environnement, Lavoisier, 1996

"Protection de l'environnement: protection de la vie", Suisse de Réassurances, 1989

"Promotion Cleaner Production in Developing Countries", OCDE, 1995

PRUD'HOMME Rémy, "Le ménagement de la nature - Des politiques contre la pollution", Dunod, 1980

Ramade François, "Les catastrophes écologiques", McGraw-Hill, 1987 (JV)

Ramade François, "Le grand massacre", Hachette, 1999

"Rapport de la France à la commission du Développement durable des Nations-Unies", 1996

"Rapport mondial sur le développement humain", Economica, 1994

Razafindratandra Yvan, Jean-Louis Sevêque, "Sites pollués et potentiellement pollués", Victoires, 1998

"Réchauffement planétaire - Les avantages de la réduction des émissions", OCDE, 1992

REDAUD Jean-luc, "Planète eau: repères pour demain", Editions Johanet, 1999

- REMOND-GOUILLOUD Martine, "Le sommet de Rio: quel bilan ?", *Risques* n°11, 1992
- "Rencontres d'Aurillac; développement local et initiatives", Syros, 1985 (coll. privée J. Vigneron)
- "Renforcement de la coopération en matière d'environnement avec les pays en développement", OCDE, 1989
- "Ressources mondiales - Un guide pour l'environnement mondial 1996/1997", Centre de recherches pour le développement international et Comité 21, 1997
- "Réunion du Conseil de l'OCDE au niveau ministériel", OCDE, 2001
- Rylander R., Mégevand I, "Introduction à la médecine de l'environnement", Frison-Roche, 1995
- "Rio: septicisme et optimisme", *La Recherche*, septembre 1992
- Tronchon Pierre, "Risques majeurs, environnement et collectivités locales", ED. Berger-Levrault, 1991
- Robert A., A. Feuillet, "Introduction à la Bible", Desclée, 1959
- Robic Marie-Claire, "Du milieu à l'environnement - Pratiques et représentations du rapport homme-nature depuis la renaissance", *Economica*, 1992
- Rocks L., R.P. Runyon, "La crise de l'énergie", Ed. Lavauzelle, 1974 (JV)
- Roqueplo Philippe, "Pluies acides: menaces sur l'Europe", *Economica*, 1988
- Rosnay de Joël, "L'homme symbiotique", Seuil, 1995
- ROSTAGNAT Michel, "Les nouvelles frontières de l'environnement", Editions du Rouergue, 1993
- Rostand Jean, "Inquiétudes d'un biologiste", Stock, 1967
- RONDINELLI Dennis A., Michael A. BERRY, "Environmental citizenship in multinational corporations: social responsibility and sustainable development", *European Management Journal*, February 2000
- SACHS Ignacy, "L'écodeveloppement; stratégies de transition vers le XXIème siècle", Synos-alternatives, 1993
- Sainteny Guillaume, "L'introuvable écologisme français", Puf, 2000
- SAINT MARC Philippe, "Socialisation de la nature", Stock, 1975
- Seager J., "Atlas de la terre: le coût écologique de nos modes de vie", Autrement, 1995
- Seligmann F., "Eau et développement durable", Après-Demain, 1998
- Séralini Gilles-Eric, "Le sursis de l'espèce humaine", Belfond, 1997
- Schama Simon, "Le paysage et la mémoire", Le Seuil, 1998.
- Schmidheiny Stephan, "Changer de cap", Dunod, 1992 (JV)
- Schneider Stephen H., "La terre menacée, un laboratoire à risque", Hachette, 1999
- "Science et décision en santé environnementale", Société française de santé publique, 1997
- Scott S., B. Nolan, T. Fahey, "Formulating environmental and social indicators for sustainable development", ESRI, 1996
- Seager Joni, "Le coût écologique de nos modes de vie", Autrement, 1995
- Silguy de Catherine, "Histoire des hommes et de leurs ordures", Le cherche midi, 1996 (JV)
- Singer Max, "Vers un monde moins peuplé que les Etats-Unis ?", *La Recherche*, janvier 2000

Skrotzky Nicolas, "*Guerres: crimes écologiques*", Sang de la terre, 1991

Sorman Guy, "*Le progrès et ses ennemis*", Fayard, 2001

Souchon C., "*Les déchets*", CNDP, 1992

Soullard Eric, "*Le propre et le sale à Versailles*", l'Histoire n°240, février 2000

Sueur Jean-Pierre, "*Changer la ville*", Odile Jacob, 1999

"*Sur la voie d'un développement durable*", Bureau fédéral du Plan, Bruxelles, 1999

"*Surveillance de l'environnement - Stratégies et bon usage de la mesure*", Club CRIN 'Environnement'

"*Sustainability Reporting Guidelines*", Global reporting initiative, 2000

"*Sustainable development - The UK strategy*", HMSO, 1994

"*Sustainable Development: OECD Policy Approaches for the 21st Century*", Draft manuscript, 1997

Stoffaës C., "*L'économie face à l'écologie*", La Découverte, 1993

"*Stratégies de lutte contre les oxydants photochimiques en Europe*", OCDE, 1990

Staudenmaier Peter "*Fascist Ecology: The "Green Wing" of the Nazi Party and its Historical Antecedents*", <http://www.spunk.org>, mars 2001

"*Stratégie nationale du développement durable*", Ministère de l'environnement, décembre 1996

"*Stratégie mondiale de la biodiversité*", WRI, UICN, PNUE, 1994

"*Strategies et politiques visant à réduire la pollution atmosphérique*", Ed. des Nations Unies, 1995

TARDIEU Vincent, "*Des forêts et des hommes*", Robert Laffont, 1992

"*Technologies de l'environnement*", Ecologie Ethologie humaines vol.5, 1986

Teilhard de Chardin, "*La place de l'homme dans la nature*", Albin Michel, 1956

"*The UK Environment*", Dpt. of the environment, 1992

THEYS Jacques, KALAORA Bernard, "*La Terre outragée*", Editions Autrement, 1992

"*The economic appraisal of environmental projects and policies*", ODI, 1995

Thuillier Pierre, "*Psychologie et politique: le déclin de l'Occident selon Skinner*", La Recherche, décembre 1986

Thuillier Pierre, "*Les mythes de l'eau*", La Recherche, mai 1990

TISSIER Bernard, "*Education, formation, environnement*", Economica, 1998

TOURAINÉ Alain, "*Société de risques et développement durable*", Les entretiens de l'assurance, FFSA, 1997

"*Towards sustainable development*", OCDE, 1998

"*Towards more sustainable household consumption patterns*", OCDE, 1999

"*Traité des Organisations non gouvernementales et des mouvements sociaux*", Cedi, mars 1993 (coll. privée J. Vigneron)

"*Transport and the environment*", OCDE, 1988

Von Jürgen Neffe, "*Geschwister Im Geiste*", Der Spiegel n°35, août 2000

“*Un lieu de contrôle démocratique des sciences*”, Département de philosophie de l’homme de sciences, Facultés universitaires de Namur, septembre 1977 (coll. privée J. Vigneron)

“*Une terre en reniassance - les semences du développement durable*”, Le Monde diplomatique, Savoirs n°2,?

VAN DER WAL Harm, Klaas Jan MONING, “*Environmental policy and the social dimension of sustainable development*”, OECD Seminar Social and environment interface, september 1999

Vatimbella A., “*Le capitalisme vert*”, Syros, 1992

Vernasdsky Wladimir, “*La biosphère*”, Diderot, 1997

Vernier J., “*L’environnement*”, Puf, 1992

“*Vers une nouvelle conscience*”, Editions Jean Bouilly, 1988 (coll. privée J. Vigneron)

“*Vers une nouvelle ère mondiale*”, OCDE, 1997

Veyret Yvette, Pierre Pech, “*L’homme est l’environnement*”, Puf, 1997

Vialatte Jérôme, “*Les partis verts en Europe occidentale*”, Economica, 1996

Vierdot Eric, “*L’environnement dans l’entreprise*”, L’Harmattan, 1997

Vigerstad Torgny, Lynn S. McCarty, “*The Ecosystem Paradigm and Environmental Risk Management*”, Human and Ecological Risk Assesment, volume 6, 2000

Villeneuve Claude, “*Eau secours*”, Editions Multimondes, 1996

Villiers de Marcq, “*L’eau*”, Actes Sud, 2000

VIGNERON Jacques, Laurence FRANCISCO, “*La communication environnementale*”, Economica, 1996

Vigneron J., “*La protection de l’environnement*”, Ministère de l’environnement, 1981 (JV)

Weiss Edith Brown, “*Justice pour les générations futures*”, Sang de la terre, 1994

Westbroek Peter, “*La terre est-elle un superorganisme ?*”, La Recherche, Février 1997

White Lynn, “*Les racines historiques de notre crise écologique*”, Sang de la terre, 1993

Wicherek Stanislas, “*Paysages agraires et environnement*”, CNRS, 1999

WILSON E.O., “*La diversité de la vie*”, Odile JACOB, 1993

Worldwatch Institute, “*Tableau de bord de la planète*”, La Découverte, 1994

Young K., “*Managing the post-industrial city*”, Ed. Heinemann Educational Books, 1983

Zeippem Marcle, “*L’homme à l’aube de l’an 2000*”, Gilson, 1997

## Bibliographie Assurance pollution

- ALBERT Michel, “*Le rôle économique et social de l’assurance*”, dans Encyclopédie de l’assurance, Economica, 1998
- AMBACHER Max, “*L’assurance du risque pollution en Europe*”, L’Assurance Française n°678, juillet 1993
- AMBACHER Max, “*Quelle garantie pour les risques de pollution ?*”, Séminaire Responsabilités Assurances et Environnement, Forum du droit et des affaires, 1994
- “*Annuaire des statistiques d’assurance*”, OCDE, 1996 (coll. privée J. Vigneron)
- “*Assurances et environnement*”, Fondation européenne pour l’environnement, 1994
- “*Assurance du risque d’atteintes à l’environnement*”, Lamy assurances, 1994
- “*Assurance pollution et protection de l’environnement en Grande-Bretagne, France, Allemagne, Belgique, Pays-Bas, Italie*”, Sedgwick courtage, pas daté 1994 ou 1995
- “*Aspects fondamentaux des assurances*”, OCDE, 1996
- BACKER de Paul, “*Prévention du risque ou management environnemental ?*”, Séminaire sur Pollueur-payeur: quels enjeux ?, Euroforum, 1994
- BISCH Michel, “*Le risque de vie*”, Argus Editions, 1995
- Boisson de Chazoumes Laurence, R. Desgagné, C. Romano, “*Protection internationale de l’environnement - Recueil d’instruments juridiques*”, Pédone, 1998
- BOURGUIGNON Philippe, “*Les risques d’atteinte à l’environnement*” dans Encyclopédie de l’assurance, Economica, 1998.
- Boy Laurence, “*Le principe de précaution, de la morale au droit*”, La Recherche, décembre 1999
- BOYER Marcel, Jean-Jacques LAFFONT, “*Environmental risks and bank liability*”, European economic review 41, 1997.
- BEZIER Olivier, “*Assurpol*”, Assurpol, note interne du 22 décembre 1992.
- BOE Patrick, Gungor DINCLER, “*Situation actuelle de la garantie antipollution en Europe*”, Responsabilité et environnement industriel, AFITE-CNISF, octobre 1994.
- CARTER Robert L., “*Liability for accidental pollution: obstacles to the supply of insurance*”, The Chatered Insurance Institute, 1990.
- CHAPELIN Jean-Jacques, “*Comment mettre en œuvre le Management Environnemental ?*”, Séminaire sur Pollueur-payeur: quels enjeux ?, Euroforum, 1994
- CHAUMET Francis, “*L’assurance du risque environnemental*”, Cahier du droit de l’entreprise n°1, 1999.
- CLARKE Chris, “*5th Annual Environmental Insurance Conference: Developments in liability and coverage*”, European environmental review, 1996.
- COCRAL Françoise, “*Les responsabilités diverses et le contrat d’assurance*”, Assurance française, 1980
- “*Code des assurances*”, L’Argus Editions.
- COLLART Jean, “*Indemnisation et assurance en cas de dommages accidentels à l’environnement*”, Comité de l’environnement de l’OCDE, juin 1989.
- COMBY Jean-Yves, “*L’assurabilité des risques de pollution*”, Risques n°11, 1992.
- COMBY Jean-Yves, “*La position de réassureur*”, Séminaire Responsabilités Assurances et Environnement, Forum du droit et des affaires, 1994

“Conseils, études, expertises, audits en environnement: quelles garanties de qualité pour un marché en développement?”, Note de synthèse DESS RPE, février 1996

Dadé Pierre-Henri, “Manuel du technicien incendie”, Argus, 1978

DAVID Laurent, Luc BARNAUD, “Quels risques assurer?”, Ecole nationale supérieure des mines de Paris, 1995.

“Décision de la Commission des Communautés européennes du 14-01-1992 relative au GIE Assurpol”, Assurpol, circulaire n°10/1992.

DELPOUX Claude, “Responsabilité civile du fait des atteintes à l’environnement: les réponses actuelles de l’assurance”, Gazette du Palais, mai 1994.

DELPOUX Claude, “Atteintes à l’environnement: l’évaluation des risques en vue de l’assurance”, Face aux risques, décembre 1994.

“Demande d’assurance et micro-économie de l’incertain”, Puf, 1990

DENEESTER-MORANCAIS M.-L., “Assurance et environnement”, Gazette du Palais, 28-29 nov. 1997.

DEPRIMOZ Jacques, “Régime juridique des assurances contre les risques d’atteinte à l’environnement”, Juris-classeur environnement.

DESSAL René, “Risques et financement”, Assurance française, 1986

DUTARET J.L., S. GABAI, A.P. de LA GIRAUDIERE, “Assurance du risque pollution”, Editions Apogée, 1994

Edelman Bernard, “Le droit et le vivant”, La Recherche, juillet 1989

“Exemples de sinistres”, Assurpol, circulaire n°5/1990.

“Environnement”, Les dossiers de la FFSA, 1995.

“Environnement et assurance - Faits et tendances”, Scor réassurance, février 1995.

“Environnement et assurance - Faits et tendances”, Scor réassurance, août 1994.

“Environnormes: guide pratique du management environnemental”, DPE, 1999

“Environmental liability insurance coverage in OECD-Europe”, Environment Directorate OECD, 1989.

“Environmental Impairment Liability insurance for enterprises”, Swiss Re, 1991.

FORTIN Max, “L’apport de l’assurance à la prévention et à la réparation des atteintes portées à l’environnement”, Conseil général des Ponts et Chaussées, 1994.

FORTIN Max, “Assurances et prévention des pollutions”, Sécurité n°15, 1994.

FOUGERAT Denis, Thierry SIBIEUDE, “PMI/PME: Intégrer l’environnement dans votre gestion”, Economica, 1995

FREEMAN Paul K. - Howard KUNREUTHER, “Managing Environmental Risk Through Insurance”, Kluwer academic publishers, 1997.

GABAI Sophie, “Evolution récente de l’assurance des atteintes à l’environnement”, Colloque Risques, assurances et environnement, Forum du droit et des affaires, 1993.

GARCIN Pierre, “Le nouveau périmètre de la capacité de réassurance Assurpol”, Séminaire Responsabilités Assurances et Environnement, Forum du droit et des affaires, 1994.

GENET Alain, “Expertise et pollution”, L’Expert (?).

GIARINI Orio, “The Role of Risk Management and Insurance: Looking Beyond the Neo-classical Views on the Economics of Uncertainty”, The Geneva Papers on Risk and Insurance n°80, July 1996

“Global warming: element of risk”, Swiss Re, 1994



- Godard O., *“Principe de précaution: dans la conduite des affaires humaines”*, Ed. de la maison des sciences de l'homme, 1997
- GRETZ Francis, Claude PICHOT, *“Connaître et comprendre la loi sur le contrat d'assurance terrestre”*, Assurance française, 1985
- GROSSMANN Marcel, *“Manuel de réassurance”*, Argus Editions, 1983
- “Guide simplifié d'auto-évaluation de la situation de l'entreprise au regard de la protection de l'environnement”*, Entreprises pour l'environnement, (?)
- HUSSON Gérard, *“L'assurance pollution, second essai”*, Risques n°11, 1992.
- “Insuring environmental impairment liability”*, Swiss Reinsurance Company, 1996.
- “ISO 14000, Systèmes de management environnemental”*, Editions de l'Ecole polytechnique de Montréal, 1996
- JOSSET Michel, *“Calcul du montant des garanties financières pour les installations classées”*, Gan Industrie services, août 1996.
- JOSSET Michel, *“L'analyse des risques d'atteintes à l'environnement par les assureurs”*, Gan Industrie services, septembre 1995.
- KARTEN Walter T., *“How to Expand the limits of Insurability ?”*, The Geneva Papers on Risk and Insurance n°85, october 1997
- KLEINDORFER Paul R., *“Market-Based Environmental Audits and Environmental Risks: Implementing ISO 14000”*, The Geneva Papers on Risk and Insurance n°83, April 1997
- LAMBERT Denis-Clair " *Economie des assurances*", Armand Colin, 1996.
- LAMBERT-FAIVRE Yvonne, *“Risques et assurances des entreprises”*, Dalloz, 1991.
- LAMBERT-FAIVRE Yvonne, *“Droit des assurances”*, Dalloz, 1990
- LAMBERT-FAIVRE Yvonne, *“Couverture des atteintes à l'environnement: assurance RC et/ou assurance de choses ? Vers une assurance obligatoire ? Les avantages et les inconvénients”*, Séminaire Responsabilités Assurances et Environnement, Forum du droit et des affaires, 1994.
- “La responsabilité civile en matière de pollution et son assurance”*, textes du colloque, Munich Ré, 1994.
- “L'assurance dans l'environnement économique”*, CAPA n°176, 1986
- “La terre malade de ses eaux”*, L'Argus, septembre 1991.
- “La théorie des marchés de l'assurance”*, Economica, 1984
- LASCOUMES Pierre, *“Du risque-dommage au risque-symptôme: techniques assurantielles et prévention des pollutions”*, Annales des Mines, juillet-août 1992.
- “L'assurance pollution et les fonds d'indemnisation des pollutions accidentelles”*, L'Assurance Française n°627, avril 1991.
- LATRON Tanguy, *“Caractérisation des sinistres d'atteintes à l'environnement”*, AXA Global Risks, octobre 1997.
- LE DAMANY Sylvie, *“Assurance et environnement”*, CICLE 1993.
- LE DAMANY Sylvie, *“L'industriel et l'assureur face aux risques d'atteintes à l'environnement, une incitation à la prévention ?”*, Séminaire sur Pollueur-payeur: quels enjeux ?, Euroforum, 1994.
- LEPAGE Corinne, *“Garanties financières”*, Gazette du Palais, 8 et 9 octobre 1999.
- “Le principe pollueur-payeur en matière de pollution accidentelle”*, OCDE, 1988

- “*Les atteintes à l’environnement*”, les cahiers pratiques de l’Argus, septembre 1998.
- LE SEIGNEUR Vincent Jacques, “*L’assurance pollution*”, Le Nouvel Economiste n°941, avril 1994.
- “*Les limites de l’assurable: convergence/divergence entre assurés industriels et assureurs*”, L’Assurance française n°690, février 1994.
- LEON Jean Marc, “*Bilan écologique de l’entreprise*”, IFAE, 1996
- LEPAGE Corinne, “*Méthodologie des audits d’environnement*”, 1992
- “*Les collectivités locales et l’assurance du risque pollution*”, Assurpol, circulaire n°5/1990.
- “*Les risques de la nature*”, Risques n°20, 1994
- “*La mise en œuvre du règlement européen dans les Etats membres*”, Ministère de l’environnement, juin 1994
- “*La qualification environnement de l’organisme professionnel de qualification de l’ingénierie: infrastructure, bâtiment, industrie*”, Le Moniteur, cahier spécial n° 4783 bis
- “*L’assurance pollution*”, Monographies sur l’environnement n°42, OCDE, 1992.
- “*L’assurance pollution*”, anonyme, (?)
- “*L’ISO 14001 et les normes de management de l’environnement*”, AFNOR, 1996
- LORENZI Jean-Hervé, “*L’industrie de l’assurance*” dans Encyclopédie de l’assurance, Economica, 1998
- MALAVAL Frédéric , MATHARAN Xavier, “*Assurance pollution: ce qu’il faut faire*” Décision Environnement n° 20, octobre/novembre 1993.
- MALAVAL Frédéric, “*Pour ou contre une obligation d’assurances en responsabilité civile pollution ?*”, Séminaire sur Pollueur-payeur: quels enjeux ?, Euroforum, 1994.
- Malaval Frédéric (pseudo: Lebault), “*Assurera-t-on le risque pénal ?*”, Décision Environnement, juin 1995
- MALAVAL Frédéric, “*Assurances et pollutions*”, Dossier’doc n°5, Décision Environnement, 1994
- Malaval Frédéric, “*Patrick Lucas, l’assurance pollution est un marché d’avenir*”, Décision Environnement, septembre 1994
- MALAVAL Frédéric, “*Assurances et pollution*”, Dictionnaire des assurances, Editions législatives, 1996.
- Malaval Frédéric (pseudo: Lebault), “*Les assureurs se passeront de l’éco-audit*”, decision-Environnement, novembre 1995
- Malaval Frédéric (pseudo: JM), “*Assurances: les charmes du statu quo*”, decision-Environnement, avril 1994
- MALAVAL Frédéric, “*Développement durable, assurances et environnement*”, Economica, 1999.
- Martin P., “*Ces risques que l’on dit naturels*”, Edibud, 1998
- MARTIN-LAGARDETTE Jean-Luc, (F. Malaval) “*Garanties financières: un début d’assurance obligatoire ?*”, Décision Environnement, mars 1995.
- MATHIVON Jean-Claude, “*Pollution*”, Dictionnaire des assurances, Editions législatives, 1997.
- MATHIVON Jean-Claude, “*La police Assurpol est-elle adaptée aux besoins des industriels ?*”, Séminaire Responsabilités Assurances et Environnement, Forum du droit et des affaires, 1994.
- MEYRONNEINC J.P., “*Le management de l’environnement dans l’entreprise*”, Coll. “Environnement”, AFNOR, 1994
- NOLLET Patrick, “*Pour mieux gérer l’environnement*”, Entreprises pour l’environnement, 1993

- OLDERTZ Carl, “*A new concept of insuring personal injuries or property damages, caused by environmental disturbances*”, Skandia Insurance Co, 1989.
- PASQUET Alexis, “*Etude sur le potentiel de développement du management environnemental selon la norme ISO 14001 et la motivation des entreprises*”, EPE, 1998
- PEANO Marie-Annick, “*Un souci de cohérence dans la jurisprudence relative à l’étendue de la garantie dans le temps*”, Responsabilité civile et assurances n°1, janvier 1996.
- PETERS Geoffrey, “*La responsabilité civile pollution*”, Le Cahier technique n°12, mars 1993.
- PETAUTON Pierre, “*L’opération d’assurance: définitions et principes*” dans Encyclopédie de l’assurance, Economica, 1998
- PFENNIGSTORF Werner, “*Liability insurance coverage for environmental damage in the Federal republic of germany*”, rapport pour l’OCDE, 1989.
- “*Philosophie de l’assurance*”, Risques n°10
- PINGUET Serge, “*L’assurance du risque pollution*”, L’Expert, (?).
- “*Pollutions: qui va payer ?*”, L’observateur de l’environnement n°11, janvier 1994.
- “*Prévention des dégradations environnementales: la limitation de votre responsabilité juridique passe-t-elle exclusivement par une couverture d’assurance ?*”, Colloque Assurance et Pollution du 21 et 22 septembre 1994.
- Prieur M., “*Droit de l’environnement*”, Dalloz, 1991
- “*Réflexion sur l’assurance responsabilité civile*”, FNSAGA, 1988.
- “*Risques d’atteinte à l’environnement*”, Editions Francis Lefebvre, 1994.
- ROCARD Philippe, “*Garanties financières-Indemnisations*”, Colloque sur l’identification des risques, note des conférenciers, 1996.
- ROUGET Pascal, “*Redéfinition du périmètre d’intervention d’Assurpol*”, Colloque Risques, assurances et environnement, Forum du droit et des affaires, 1993.
- SMETS Henri, “*L’assurance obligatoire de la responsabilité civile pour pollution*”, Sniim n°18, 1994.
- SMETS Henri, “*Des caisses mutuelles pour les pollueurs*”, Colloque sur RC et assurances des entreprises, Institute for International Research, 1995.
- SMETS Henri, “*Le FIPA - réponse à l’inassurabilité*”, Assises de l’assurance, décembre 1993.
- SMETS Henri, “*Le FIPA, instrument financier pour l’indemnisation des pollutions accidentelles*”, Colloque Risques, assurances et environnement, Forum du droit et des affaires, 1993.
- SOL Vincent, “*Les garanties financières deux ans après leur entrée en vigueur*”, Risques n°36, décembre 1998.
- SPÜHLER Jürg, “*The EU Experience and the Challenges in Insuring Environmental Risks*”, The Geneva Papers on Risk and Insurance n°80, july 1996.
- STAHEL Walter R., “*Some Thoughts on Sustainability, Insurability and Insurance*”, The Geneva Papers on Risk and Insurance n°85, october 1997
- STUCKERT Martine, “*La police ‘Environmental Protected Risk*”, Séminaire Responsabilités Assurances et Environnement, Forum du droit et des affaires, 1994.
- “*Système communautaire de management environnemental et d’audit - Expérience pilote*”, Ministère de l’environnement, juin 1994
- “*Théorie et pratique de l’assurance vie*”, Dunod, 1991
- “*Vade-mecum de l’auditeur qualité*”, AFNOR, 1996

VIGNERON Jacques, “Séminaire ISO 14000” Réseau CVP, 1997

VIGNERON Jacques, “Note préliminaire concernant les certifications des entreprises et des institutions de recherches et d’enseignements dans les domaines de l’environnement et du développement durable”, Cergy-Pontoise, 1999

“Y a-t-il des risques inassurables ?”, La revue du courtage n°679, février 1994.

ZAGASKI Chester A. Jr, “Environmental Risk and Insurance”, Lewis publishers, 1992.

ZWEIFEL Peter, “The Contribution of Environmental Impairment Liability (EIL) Insurance to Eco-Efficiency”, The Geneva Papers on Risk and Insurance n°80, July 1996

### Analyse de risques-assurances

BENARD Adrien, Anne-Lise FONTAN, “La gestion des risques dans l’entreprise”, Eyrolles, 1994

BENARD Adrien, “La visite de risque préalable à la souscription d’une police environnement”, Séminaire Responsabilités, Assurances et Environnement, Forum du droit et des affaires, 1994.

CONSOLINI L., “La gestion des risques industriels et commerciaux”, Sageri, juin 1987.

CURATALO Alessandro, “Du risque industriel au risque environnemental”, Colloque sur l’identification des risques, note des conférenciers, 1996.

ESCANDE Jean, “La cartographie dynamique des risques”, Colloque Risques, assurances et environnement, Forum du droit et des affaires, 1993

“Environmental Risk Assessment”, SCOPE n°15, 1980 (JV)

“Evaluation des impacts sur l’environnement”, SCOPE n°5, 1975 (JV)

GAUDION N., “Les enjeux financiers du risque pollution”, Chambre de commerce et d’industrie de Paris, 1997.

GARCIN Pierre, Sylvie LEHOUCHE, “L’Audit d’environnement”, Face aux risques n°321, mars 1996.

GARCIN Pierre, “Système de management environnemental et assurances des risques d’atteintes à l’environnement”, AXA Global risks, septembre 1997.

GARCIN Pierre, “Méthode DSP - Support technique de la souscription des contrats RC atteintes à l’environnement”, AXA Global Risks, 1997.

GARPOL, “Le contenu du dossier de présentation d’une affaire nouvelle pollution”, circulaire n°4/1985.

“Guide d’appréciation de la prévention des atteintes à l’environnement”, Assurpol-CNPP, 1998.

“Guide méthodologique pour la réalisation d’une analyse environnementale”, Ministère de l’environnement, décembre 1994.

“Identifier les risques juridiques pour mieux les prévenir”, Forum pour la gestion des villes et des collectivités territoriales, 1995.

“Indemnisation des dommages dus à la pollution”, OCDE, 1981

“Installations classées pour la protection de l’environnement - La prévention des risques industriels”, Ministère de l’environnement, 1988.

JOSSET Michel, “L’analyse des risques d’atteintes à l’environnement par les assureurs”, Responsabilité et environnement industriel, AFITE-CNISF, octobre 1994.

KERVEN Georges-Yves, “Eléments fondamentaux des Cyndiniques”, Economica, 1995.

Kerven Georges-Yves, “L’archipel du danger”, Economica, 1991 (JV)

Lagadec Patrick, "*Pilotage des situations de crise*", Ecole polytechnique, 1997

Lagadec Patrick, "*Développement, environnement et politique vis à vis du risque*", Ecole polytechnique, ?

"*La prévention*", Risques n°4, 1991

"*La prévention des pollutions et des risques des activités économiques*", Ministère de l'environnement, novembre 1989.

Latesteijn van Henk C., "*A Risk Approach by the State on the Subject of Sustainability*", The Geneva Papers on Risk and Insurance n°85, 1997

LAUFER Romain, "*La notion de risque "acceptable"*", Colloque sur l'identification des risques, note des conférenciers, 1996.

"*Le risque majeur industriel*", CPE, Ministère de l'industrie, 1986 (JV)

LEROY Alain, "*Audit de gestion environnementale et audit technique d'environnement*", note interne de GAN industrie services, 2 novembre 1993.

LEROY Alain, "*La visite de risque préalable à la souscription d'une police RC pollution*", Colloque Risques, assurances et environnement, Forum du droit et des affaires, 1993.

LEROY A., J.P. SIGNORET, "*Le risque technologique*", Coll. Que sais-je ?, P.U.F., 1992.

"*Les accidents industriels majeurs: quelles leçons en tirer ?*", Société alpine de publications, 1990

"*Les atteintes à l'environnement*", Argus, Cahiers pratiques, supplément, 18 sept. 1998.

"*Les risques industriels - Perception, prévention*", Journées d'études organisées par le groupement national des ingénieurs des TPE (Mines), 1987.

"*Les risques technologiques majeurs*", Annales des mines, 1986.

MALAVAL Frédéric<sup>1</sup>, "*Assurance et audit d'environnement*", Décision environnement, décembre 1995.

"*Nouveaux aspects de la prévention des risques technologiques*", Revue du Syndicat national des ingénieurs de l'industrie et des mines n°19, pas de date.

PELRAS Olivier, "*Guide technique du risque d'atteintes à l'environnement*", AXA Global Risks, mars 1997.

"*Perceptions des risques et de la sécurité*", IPSN, 1991

"*Périls de la nature et sinistres catastrophiques*", Suisse de Réassurances, 1989.

"*Prévention et indemnisation des risques de pollution industrielle*", Journées d'études et d'informations, Rouen, février 1991.

"*Prévention des risques industriels*" Ministère de l'environnement, mars 1990.

Risques n°1, 1990

Risques n°2, 1990

ROCARD Philippe, Henri SMETS, "*Evaluation socio-économique des mesures de maîtrise de l'urbanisation au voisinage des installations dangereuses*", Ecodécision, 1991.

"*Sandoz, dix ans après: enseignements d'une catastrophe*", L'Environnement magazine, 15 novembre 1996.

SEILLAN Hubert, "*Définitions, évolutions du concept et mondialisation du risque*", Colloque sur l'identification des risques, note des conférenciers, 1996.

Sibony Daniel, "*Psychanalyse du risque*", Risques n°1, 1990

SIGNORET Jean-Pierre - Alain LEROY, "*La prévision du risque technologique*", La Recherche n° 183, décembre 1986.

SIMON Jean-Michel, "*Identifier les risques présentés par une ancienne décharge de déchets industriels*", Séminaire Responsabilités Assurances et Environnement, Forum du droit et des affaires, 1994.

SMETS Henri, "*Frequency distribution of the consequences of accidents involving hazardous substances in OECD countries*", Joint conference on Law and Economics of Industrial Risks, Waste Treatment and Industrial Accidents, Yvoire, France, 1995.

SMETS Henri, "*Limites supérieures des risques créés par les installations dangereuses*", Préventique n°43, février 1992.

TENGS Tammy O. and all, "*Five-Hundred Life-Saving Interventions and Their Cost-Effectiveness*", Risk Analysis, 1995.

### Evaluation des dommages à l'environnement

CRETEAUX Isabelle, "*L'évaluation des atteintes au milieu naturel*", SCOR Notes, avril 1999.

"*Evaluer les dommages à l'environnement*", OCDE, 1996.

"*Inventaire des accidents et pollutions accidentelles 1993*", BARPI, 1994.

JOLLIA-FERRIER Laurent, "*Le coût de la prévention*", Séminaire Responsabilités, Assurances et Environnement, Forum du droit et des affaires, 1994.

SMETS Henri, "*Le coût de l'indemnisation des tiers victimes de la pollution accidentelle en France*", Colloque international sur l'assurance des dommages causés par la pollution, Gand les 14 et 15 décembre 1989.

SMETS Henri, "*L'indemnisation complète des victimes de pollution accidentelle*", Risques n°11, 1992.

SMETS Henri, "*Indemnisation des victimes de catastrophes industrielles*", colloque "*La crise et le droit de la sécurité civile*", 1995 (?).

SMETS Henri, "*L'indemnisation des pollutions accidentelles terrestres*", Préventique-Sécurité n°43, janvier-février 1999.

SMETS Henri, "*Les indemnisations pour les pollutions accidentelles*", Les dossiers de l'AEE n°8, avril 1995.

SMETS Henri, "*Dimension économique des grands risques technologiques*", note personnelle, 1997.

### Droit de l'environnement

"*Actes du colloque des notaires sur l'environnement*", 1995.

ALT Eric, "*La responsabilité civile environnementale*", Les petites affiches n°48, avril 1995.

"*Aspects techniques et juridiques de la gestion des sols et des eaux contre la pollution*", Ecole nationale des Ponts et Chaussées, juin 1994.

BAVOILLOT François, "*Les réponses actuelles du droit au problème du risque environnement et leurs applications pratiques*", Les petites affiches n°29, mars 1995.

BAYET Dominique, "*La responsabilité pénale du chef d'entreprise à l'issue des arrêts de plénière de la chambre criminelle*", Gazette du Palais, juillet 1993.

COLLOMB Bertrand, "*L'environnement et la nouvelle responsabilité des entreprises*", actes du colloque organisé sur le thème de *les risques majeurs d'environnement*, Conseil économique et social, avril 1993.

“Convention sur la responsabilité civile des dommages résultant d’activités dangereuses pour l’environnement”, Conseil de l’Europe, 1993.

“Proposition de Directive du Conseil concernant la responsabilité causés par les déchets”, Commission des communautés européennes, septembre 1989.

DELPOUX Claude, “Evolution et complexité de la responsabilité”, Colloque sur l’identification des risques, note des conférenciers, 1996.

DESPAX Michel, “La défense juridique de l’environnement: réflexions à propos de quelques décisions de jurisprudence concernant la pollution de l’eau et de l’atmosphère”, Etudes pratiques 89607.

Despax Michel, “Droit de l’environnement”, Litec, 1980 (JV)

DOUMENCQ Michel, “Evolution du droit pénal en environnement”, Colloque sur l’identification des risques, note des conférenciers, 1996.

EWALD François, Francis CHAUMET, “Autour de la précaution”, Risques n°11, 1992.

EWALD François, Jean-Hervé Lorenzi, “Encyclopédie de l’assurance”, Economica, 1998

FONTAINE Didier, “Les responsabilités locales dans la lutte contre la pollution de l’air”, Les Petites Affiches n°71, juin 1991.

FORTESA Jean, “Environnement: la réponse de l’entreprise aux nouvelles responsabilités qui pèsent sur elle”, Colloque Risques, assurances et environnement, Forum du droit et des affaires, 1993.

GUIHAL Dominique, “Nouveau code pénal et protection de l’environnement”, Gazette du Palais, 20 avril 1995.

GUIHAL Dominique, “Répressions et réparation des atteintes à l’environnement”, Gazette du Palais, février 1993.

Guihal D., “Droit répressif de l’environnement”, Economica, 1997 (JV)

HUET Jérôme, “Le développement de la responsabilité civile pour atteinte à l’environnement”, Les petites affiches n°2, 3 et 6, janvier 1994.

HUGLO Christian, “La responsabilité pénale de l’élu: les délits liés au manque de précaution: risques et environnement”, support de cours, 17 juin 1994.

HUGLO Christian, “Les responsabilités des collectivités locales et de leurs élus”, Séminaire Responsabilités, Assurances et Environnement, Forum du droit et des affaires, 1994.

HUGLO Christian, “Contentieux - Problématiques et perspectives”, Jurisclasseur Environnement.

HUGLO Christian, “Vers la reconnaissance d’un droit de la nature à réparation”, Les petites affiches n°117, septembre 1993.

HUGLO Christian, “Les risques liés à l’environnement et les catastrophes naturelles”, Colloque sur les collectivités locales et l’assurance, 1994.

HUGLO Christian, “La décontamination des sols pollués - La législation et la jurisprudence française”, Forum du droit et des affaires, 1991.

Kiss A., Shelton D., “Manuel of european environmental law”, Grotius Publications, 1993 (JV)

Kiss A., J.P. Beurrier, “Droit international de l’environnement”, Pedone, 2000 (JV)

LACROIX Dominique, “Responsabilité et environnement industriel”, Responsabilité et environnement industriel, AFITE-CNISF, octobre 1994.

LA GIRAUDIÈRE de Ann-Philippe, “Pollution historique: comment éviter l’engagement de votre responsabilité contractuelle”, Séminaire Responsabilités, Assurances et Environnement, Forum du droit et des affaires, 1994.

LAMBERT-FAIVRE Yvonne, “Atteintes à l’environnement - Responsabilités civiles et garanties”, Sécurité n°15, 1994.

“*La responsabilité civile en matière d’environnement. Le projet de Convention du Conseil de l’Europe et le livre vert de la Commission des Communautés européennes*”, Recueil Dalloz Sirey, 1994.

“*Le droit et l’environnement*”, CNRS-PIREN, 1990.

LEPAGE Corinne, “*La responsabilité pénale des personnes morales en matière d’environnement*”, Les petites affiches n°153, décembre 1993.

“*Le principe pollueur-payeur en matière de pollution accidentelle*”, Comité de l’environnement, OCDE, 1988.

“*Livre vert sur la responsabilité pour dommages à l’environnement*”, Commission des communautés européennes, 1993.

“*Livre blanc sur la responsabilité pour dommages à l’environnement*”, Commission des communautés européennes, 2000.

“*Loi 92-3 du 3 janvier 1992 sur l’eau*”, Assurpol, circulaire n°8/1992.

“*Loi 92-646 du 13 juillet 1992 relative à l’élimination des déchets et aux installations classées*”, Assurpol, circulaire n°9/1992.

LONDON Caroline, “*Environnement communautaire: l’heure des choix*”, La semaine juridique n°25, 1991.

LONDON Caroline, “*Droit comparé de la responsabilité*”, Colloque Risques, assurances et environnement, Forum du droit et des affaires, 1993

London Caroline, “*L’entreprise et l’intégration de l’environnement*”, Ed. Préventique, 1996 (JV)

MOISE E., “*La mal indemnisation des victimes de pollution*”, Etude pour l’OCDE, 1993 (?).

MOULY Christian, “*Responsabilité objective ou responsabilité pour faute*”, Les petites affiches n°79-, Juillet 1992.

OCDE, “*L’indemnisation des dommages de pollution et la prévention des accidents*”, note du secrétariat, 1991.

Ouallet Catherine, “*Les déchets - Définitions juridiques et conséquences*”, AFNOR, 1997 (JV)

POLLET Valérie, “*Troubles de voisinage*”, Jurisclasseur Environnement.

POINT P., “*Principes économiques et méthodes d’évaluation du dommage écologique*”, Coll. SFDE, 1991.

REMOND-GOUILLOUD M., “*De l’économie au droit: pour une meilleure réparation des dommages de pollution de accidentelle*”, note pour le secrétariat de l’OCDE, 1991.

REMOND-GOUILLOUD Martine, “*Du risque à la faute*”, Risques n°11, 1992.

REMOND-GOUILLOUD Martine, “*Les risques majeurs d’environnement de demain, un défi pour aujourd’hui*”, actes du colloque organisé sur le thème de *les risques majeurs d’environnement*, Conseil économique et social, avril 1993.

REMOND-GOUILLOUD Martine, “*Droit à réparation*”, Jurisclasseur Environnement.

REMOND-GOUILLOUD Martine, “*Du droit de détruire - Essai sur le droit de l’environnement*”, Puf, 1989 (JV)

“*Responsabilité et prévention des risques technologiques*”, Avis n°19 du 31 mars 1995 du Collège de la prévention des Risques Technologiques, Préventique-Sécurité n°21, mai-juin 1995.

ROCHE Jean-Michel, “*Responsabilité pénale et responsabilité civile en environnement*”, Responsabilité et environnement industriel, AFITE-CNISF, octobre 1994.

ROMI Raphaël, “*Le droit de l’environnement à la recherche du ‘développement soutenable’*”, Les petites affiches n°125, octobre 1993.

ROMI Raphaël, “*L’Europe et la protection juridique de l’environnement*”, Voctaires, 1993

ROMI Raphaël, “*La définition des objectifs du droit de l’environnement: réflexions sur la notion de ‘diversité biologique’*”, Les petites affiches n°114, septembre 1993.



- ROUSSEAU Nicole, "*Pollution: une affaire de responsabilité d'abord*", L'Assurance Française n°692, mars 1994.
- Sadeleer de Nicolas, "*Les principes du pollueur-payeur, de prévention et de précaution*", Ed. Bruylant, 2000
- Schneider-Maunoury, "*La responsabilité environnementale*", L'Harmattan, 1999 (JV)
- SEILLAN Hubert, "*Responsabilité professionnelle des prestataires de services en environnement*", Séminaire Responsabilités, Assurances et Environnement, Forum du droit et des affaires, 1994.
- SMETS Henri, "*Pollution accidentelle, l'indemnisation des tiers*", Préventique n°32, mars-avril 1990.
- SMETS Henri, "*Mieux indemniser les atteintes à l'environnement*", Sécurité n°10, janvier-février 1994.
- SMETS Henri, "*Les exceptions admises au principe pollueur-payeur*", D.P.C.I., 1994.
- SMETS Henri, "*La responsabilité civile et les dommages à l'environnement*", Sécurité n°15, 1994.
- SMETS Henri, "*Pour une indemnisation garantie des victimes de pollution accidentelle*", L'Assurance Française n°599, janvier 1990.
- SMETS Henri, "*Le principe pollueur-payeur, un principe économique érigé en principe de droit de l'environnement*", Editions A. Pedone, 1993.
- SOMMER Jean-Michel, "*Convention du Conseil de l'Europe sur la responsabilité civile des dommages résultant d'activités dangereuses pour l'environnement: convention de Lugano du 21 juin 1993*", Responsabilité et environnement industriel, AFITE-CNISF, octobre 1994.
- THIEFFRY Patrick, "*La responsabilité civile du pollueur: les projets communautaires et la convention du conseil de l'Europe*", Gazette du Palais, août 1993.
- THIEFFRY Patrick, "*L'opportunité d'une responsabilité communautaire du pollueur: les distorsions entre Etats-membres et les enseignements de l'expérience américaine*", Colloque Risques, assurances et environnement, Forum du droit et des affaires, 1993.
- Tourrain R. et Ch., "*Les élus locaux face à leurs responsabilités*", 1984
- VILLENEUVE de C., "*Les développements au niveau des Communautés européennes en matière de responsabilité civile et de l'assurance pour dommages causés à l'environnement*", Colloque international sur l'assurance des dommages causés par la pollution, Gand les 14 et 15 décembre 1989.
- WERTENSCHLAG Bruno, "*Nouvelles infractions et nouveaux responsables en matière de droit pénal de l'environnement*", Les petites affiches n°115, septembre 1994.
- WERTENSCHLAG Bruno, "*Nouveau code pénal: quelles incidences ?*", Séminaire sur Pollueur-payeur: quels enjeux ?, Euroforum, 1994.
- "*White Paper on environmental liability draws close*", Ends Report 280, may 1998.

## Bibliographie Sciences de l'environnement

- Acot Pascal, "*Comment est née l'écologie ?*", La Recherche n° 215, novembre 1989
- Aguesse Pierre, "*Qu'est-ce donc que l'écologie ?*", Le courrier de la nature, mars 1996
- Annequin et Boutigny, "*Thermodynamique*", Vuibert, 1976
- Armand F., "*Éléments d'écologie appliquée*", Edisciences, 1995
- ATIAS C., J.L. LE MOIGNE, "*Sciences et conscience de la complexité*", Librairie de l'Université, Aix en Provence, 1984
- Barbault R., "*Écologie générale - Structure et fonctionnement de la biosphère*", Masson, 1997 (JV)
- Becker Michel, Gérard Lévy, "*Le dépérissement du chêne: une leçon d'écologie*", La Recherche, avril 1983
- Blandin Patrick, Donato Bregandi, "*A l'aube d'une nouvelle écologie*", La Recherche, juin 2000
- Bobin Jean-Louis, "*L'énergie*", Flammarion, 1996
- Cardwelle D.S.L., "*Les débuts de la thermodynamique*", La Recherche, septembre 1974
- Chanu Jacques, "*La thermodynamique du non-équilibre*", La Recherche, décembre 1977
- DAJOZ Roger, "*Précis d'écologie*", Dunod, 1985
- Danchin Antoine, "*Entropie et ordre biologique*", La Recherche, septembre 1978
- DELAHAYE Jean-Paul, "*Information, complexité et hasard*", Hermes, 1994
- Deléage Jean-Paul, "*Une histoire de l'écologie*", Seuil, 1994
- Droin Jean-Marc, "*L'écologie et son histoire*", Flammarion, 1993
- DUVIGNEAUD Paul, "*La synthèse écologique*", Doin, 1983
- "*Écologies/géographies*", Hérodote n° 26, 1982 (coll. privée J. Vigneron)
- Franc Alain, Pierre-Henri Gouyon, "*Information et complexité: questions sans réponses*", La Recherche n° 296, mars 1997
- Guinier André, "*Ordre et désordre dans la matière*", La Recherche, novembre 1971
- Heimstra Norman W, McFarling Leslie H., "*Environmental psychology*", Brooks/Cole publishing compagny, 1978 (coll. privée J. Vigneron)
- Kempf Hervé, "*L'écosystème*", La Recherche, avril 1998
- LEBRETON Philippe, "*Eco-Logique*", InterEditions, 1978
- Meuron-Landolt de Monique, "*La vie: une nécessité thermodynamique*", La Recherche, juillet 1970
- NICOLIS Grégoire - Ilya PRIGOGINE, "*A la rencontre du complexe*", Puf, 1992
- ODUM Eugene P., "*Écologie*", Les éditions hrw, 1976
- ORIO Angelo A., Jacques VIGNERON, "*Leçons et séminaires d'écologie quantitatives*", tome 1, 1976
- ORIO Angelo A., Jacques VIGNERON, "*Leçons et séminaires d'écologie quantitatives*", tome 2, 1976
- Quesnel L., "*Sciences sociales et l'environnement*", University of Ottawa Press, 1994

Faye, P., B. Faye, M. Tournaire, A. Godard, "Sites et sitologie", Ed. Pauvert J.J., 1974

Prigogine Ilya, "La thermodynamique de la vie", La Recherche, juin 1972

PRIGOGINE Ilya, Dilip KONDEPUDI, "Thermodynamique - Des moteurs thermiques aux structures dissipatives", Editions Odile Jacob, 1999

Ramade F., "Eléments d'écologie: écologie fondamentale", Mc Graw-Hill, 1985

RAMADE François, "Eléments d'écologie appliquée", Coll. Ediscience, McGraw Hill, 1974

Ramade F., "L'écologie a-t-elle un avenir ?", La Recherche, avril 1993

Somerville Christopher R., Shauna C. Somerville, "La photosynthèse des plantes", La Recherche, avril 1984

Tondeur Daniel, "La thermodynamique du non-équilibre", La Recherche, décembre 1997

Tonnelat Jacques, "Qu'est-ce qu'un être vivant ?", La Recherche, juin 1979

TONNELAT Jacques, "Thermodynamique probabiliste - un refus des dogmes", Masson, 1991

Wolkowski Zbigniew Willam, "Synergie et cohérence dans les systèmes biologiques" E4, 1985 (coll. privée J. Vigneron)

Wolkowski Zbigniew Willam, "Synergie et cohérence dans les systèmes biologiques" E4, 1986 (coll. privée J. Vigneron)

## Bibliographie Epistémologie

“30 ans de science et de recherche”, La Recherche, mai 2000

ALLEGRE Claude, “Dieu face à la science”, Fayard, 1997

Arnould Jacques, “La conspiration du hasard et des contraintes”, La Recherche, mars 1997

Aron Raymond, “Les étapes de la pensée sociologique”, Gallimard, 1967

Auffray Jean-Paul, “L’espace-temps”, Flammarion, 1996

BARREAU Hervé, “L’épistémologie”, Puf, 1998

Barrère Martine, “La science au service de l’environnement et du développement”, La Découverte, 1992

Baruk Henri, “Civilisation hébraïque et science de l’homme”, Ed. Zikarone, 1981

Bensaude-Vincent Bernadette, “Paul Langevin: plaidoyer pour l’histoire des sciences”, La Recherche, décembre 1982

Bitbol Michel, “Erwin Schrödinger: un philosophe chez les physiciens”, La Recherche, novembre 1990

Blay Michel, “Pierre Duhem et la théorie physique”, La Recherche, janvier 1981

Boorstin Daniel, “Les découvreurs”, Laffont, 1986

Boutot Alain, “Le pouvoir créateur des mathématiques”, La Recherche, novembre 1989

Bouveresse Jacques, “La philosophie des sciences de Karl Popper”, La Recherche, novembre 1974

Bouvier A., M. George, F. Le Lionnais, “Dictionnaire des mathématiques”, Puf, 1996

Carrel Alexis, “L’homme cet inconnu”, Plon, 1997

Charon Jean E., “L’homme et l’univers”, Marabout, 1974

Charon Jean E., “L’esprit, cet inconnu”, Marabout, 1974

Comte Claude, “Lagrange, poète scientifique et citoyen européen”, La Recherche, mars 1989

Connes Alain, “La réalité mathématiques archaïque”, La Recherche, juin 2000

Coveney Peter V., “L’irréversibilité du temps”, La Recherche, février 1989

Dahan Dalmenico Amy, “L’image fin de siècle des sciences”, La Recherche, janvier 2000

Delahaye Jean-Paul, “Une extension spectaculaire du théorème de Gödel: l’équation de Chaitin”, La Recherche, juin 1988

Dettelbach Michæl, “La science omnivore d’Alexander Von Humbolt”, La Recherche, octobre 1997

Dubois Monique, P. Atten et P. Bergé, “L’ordre chaotique”, La Recherche, février 1987

Dumas Jean-Louis, “Histoire de la pensée - renaissance et siècle des lumières”, Tallandier, 1989

Dumas Jean-Louis, “Histoire de la pensée - temps modernes”, Tallandier, 1989

ECKMANN Jean-Pierre, MASHAAL Maurice, “La physique du désordre”, La Recherche n°232, mai 1991

Ekeland Ivar, “La théorie des catastrophes”, La Recherche, septembre 1977

Ekeland Ivar, “Les mathématiques dans la rue”, La Recherche, septembre 1987

Espagnat d' Bernard, "*Niels Bohr et l'étrangeté du monde*", La Recherche, novembre 1985

Favereau Olivier, "*La science économique entre deux siècles*", La Recherche, décembre 2000

Foucault Michel, "*Histoire de la folie à l'âge classique*", Gallimard, 1972

Gould Stephen Jay, "*Darwin et les grandes énigmes de la vie*", Pygmalion, 1979

Gould Stephen Jay, "*Comme les huit doigts de la main*", Seuil, 1996

GUEDJ Denis, "*Le théorème du perroquet*", Seuil, 1998

Haken Hermann, Arne Wunderlin, "*Le chaos déterministe*", octobre 1990

Haroche Serge, Jean-Michel Raimond, Michel Brune, "*Le chat de Schrödinger se prête à l'expérience*", La Recherche, septembre 1997

Hawking Stephen, "*Une brève histoire du temps*", Flammarion, 1989

"*Histoire des pensées économiques*", Sirey, 1988

"*Histoire de la philosophie - Orient, Antiquité, Moyen âge*", La Pléiade, 1969

"*Histoire de la philosophie - La Renaissance, l'Âge classique, Le Siècle des Lumières, La Révolution kantienne*", La Pléiade, 1973

"*Histoire de la philosophie - Du XIX siècle à nos jours*", La Pléiade, 1974

Holton Gérard, "*Heisenberg, Oppenheimer et l'émergence de la physique moderne*", La Recherche, février 1982

Holton Gérard, "*L'imagination scientifique*", Gallimard, 1981

Huisman Denis, "*Dictionnaire des philosophes*", Puf, 1993

Huisman Denis, André Verges, "*Court traité de philosophie*", Nathan, 1969

Issard Arie S., "*La Bible et la science font-elles bon ménage ?*", La Recherche, janvier 1996

Jacob François, "*La logique du vivant*", Gallimard, 1970

Jacquard A., "*Hasard et évolution*", La Recherche, mars 1975

Jammer Max, "*Le paradoxe d'Einstein-Podolski-Rosen*", La Recherche, mai 1980

Jerphagnon Lucien, "*Histoire de la pensée - antiquité et moyen-âge*", Tallandier, 1989

Jerphagnon Lucien, "*Dictionnaire des grandes philosophies*", Privat, 1973

Kahane Jean-Pierre, "*L'analyse de Fourier comme test du sens de l'évolution des mathématiques depuis deux siècles*", non publié, 1998

Kitcher Philip, "*L'origine de la morale*", La Recherche, Mars 1997

Klein Etienne, "*La physique quantique*", Flammarion, 1996

Kline Morris, "*Les fondements des mathématiques*", La Recherche, mars 1975

Koyré Alexandre, "*Etudes d'histoire de la pensée philosophique*", Gallimard, 1971

Koyré Alexandre, "*Etudes d'histoire de la pensée scientifique*", Gallimard, 1973

Kuhn Thomas S, "*The Structure of Scientific Revolutions*", University of Chicago Press, 1962

Lambert Dominique, "*L'incroyable efficacité des mathématiques*", La Recherche, janvier 1999

"*La science du désordre*", La Recherche, mai 1991

Latour Bruno, "*La fin de la science ?*", La Recherche, janvier 1997

Latour Bruno, "*Faut-il avoir peur du réductionnisme ?*", La Recherche, avril 1998

"*La vie: comment est-elle apparue ?*", Watchtower bible and tract society of New-York, 1985

Lecourt Dominique, "*Savants en manque de philosophie*", La Recherche, avril 2000

Lecourt Dominique, "*René Descartes, savant et philosophe*", La Recherche, avril 1996

Lecourt Dominique, "*Dictionnaire d'histoire et de philosophie des sciences*", Puf, 1999

"*Le hasard*", Pour la science, avril 1996

LE MOIGNE Jean-Louis, "*Les épistémologies constructivistes*", Puf, 1999

Lestienne Rémy, Michel Paty, "*Il y a cinquante ans naissait la mécanique quantique*", La Recherche, juillet 1974

Lloyd G. E. R., "*Les débuts de la science en Grèce*", La Recherche, septembre 1981

"*Le temps*", La Recherche, avril 2001

Lwoff André, "*Sur le prétendu principe de falsification de Karl Popper*", La Recherche, mars 1983

MacFarlane Burnet, "*Le programme et l'erreur*", Albin Michel, 1982

Martinoir de Brian L., "*Lévi-Strauss et les mythes*", La Recherche, décembre 1971

Mashaal Maurice, "*Le temps en physique*", La Recherche, décembre 1993

Merleau-Ponty, "*Laplace: un héros de la science ordinaire*", La Recherche, mars 1979

Meuron-Landolt M. de, "*La vie, une nécessité thermodynamique*", La Recherche, juillet 1970

Monod Jacques, "*Le hasard et la nécessité*", Seuil, 1970

Morin Edgar, "*Sur quelques divagations logomachiques d'un prix Nobel*", La Recherche, juin 1983

MORIN Edgar, "*La méthode 1: La Nature de la Nature*", Le Seuil, 1977

MORIN Edgar, "*La méthode 2: La Vie de la Vie*", Le Seuil, 1980

Morin Edgar, "*Pour sortir du vingtième siècle*", Nathan, 1981

Morin Edgar, "*Le paradigme perdu: la nature humaine*", Seuil, 1973

Morin Edgar, "*Le primate et l'homme*", Seuil, 1974

Morgenstern Oskar, "*L'économie est-elle une science exacte ?*", La Recherche, décembre 1971

Panoff Michel, "*La naissance de l'anthropologie économique*", La Recherche, février 1972

Paty Michel, "*D'Alembert: science et philosophie à l'époque des lumières*", La Recherche, février 1984

Pecker Jean-Claude, "*L'astrologie et la science*", La Recherche, janvier 1983

Pestre Dominique, "*Y-a-t-il eu une physique 'à la française' entre les deux guerres ?*", La Recherche, septembre 1985

Pestre Dominique, "*Les savoirs de l'an 2000*", La Recherche, décembre 1999

Poincaré Henri, "*L'invention mathématique*", La Recherche, septembre 2000

Postel-Vinay Olivier, "*Edward O.Wilson: l'enjeu écologique n°1*", La Recherche, juillet 2000

PRIGOGINE Ilya, Isabelle STENGERS, "*La Nouvelle Alliance - Métamorphoses de la science*", Gallimard, 1979

PRIGOGINE Ilya, Isabelle STENGERS, "*Entre le temps et l'éternité*", Fayard, 1988

PRIGOGINE Ilya, "*La fin des certitudes*", Odile Jacob, 1996

Redondi Pietro, "*La révolution française et l'histoire des sciences*", La Recherche, mars 1989

Renaut Alain, "*Histoire de la philosophie politique - La liberté des anciens*", Calmann-Levy, 1999

Renaut Alain, "*Histoire de la philosophie politique - Naissance de la modernité*", Calmann-Levy, 1999

Renaut Alain, "*Histoire de la philosophie politique - Lumière et romantisme*", Calmann-Levy, 1999

Renaut Alain, "*Histoire de la philosophie politique - Les critiques de la modernité politique*", Calmann-Levy, 1999

Renaut Alain, "*Histoire de la philosophie politique - Les philosophies politiques contemporaines*", Calmann-Levy, 1999

ROSNAY de Joël, "*Le macroscopie - Vers une vision globale*", Seuil, 1975

ROSNAY de Joël, "*Les origines de la vie*", Seuil, 1966

ROSTAND Jean, "*Inquiétudes d'un biologiste*", Stock, 1967

Sinaceur Hourya, "*L'infini*", La Recherche, septembre 1994

Sinaceur Hourya, Jean-Pierre Bourguignon, "*David Hilbert et les mathématiques du XX siècle*", La Recherche, septembre 1993

Thuillier Pierre, "*La science est-elle sexiste ?*", La Recherche, février 1982

Thuillier Pierre, "*Les mathématiques: science divine ou science humaine*", La Recherche, janvier 1977

Thuillier Pierre, "*La revanche du dieu chaos*", La Recherche, mai 1991

Thuillier Pierre, "*Les mathématiques mènent-elles à Dieu ?*", La Recherche, janvier 1987

Thuillier Pierre, "*Le petit savant illustré*", Seuil, 1980

Thuillier Pierre, "*Newton, un alchimiste pas comme les autres*", La Recherche, juillet 1989

Thuillier Pierre, "*Un débat fin de siècle: la faillite de la science*", La Recherche, juillet 1991

Thuillier Pierre, "*Sociobiologie de la connaissance: Platon et la géométrie*", La Recherche, mai 1985

Thuillier Pierre, "*La Grande Implosion*", Fayard, 1995

Thuillier Pierre, "*La physique et l'irrationnel*", La Recherche, mai 1980

Thuillier Pierre, "*La science existe-t-elle ?*", La Recherche, avril 1987

Thuillier Pierre, "*L'écologie et la cause des femmes*", La Recherche, janvier 1984

Thuillier Pierre, "*Les savoirs ventriloques*", Seuil, 1983

Thuillier Pierre, "*Les grecs et la science*", La Recherche, février 1980

Thuillier Pierre, "*La mécanique quantique va-t-elle réenchanter le monde ?*", La Recherche, novembre 1989

Thuillier Pierre, "*Les mathématiques: fin en soi ou instrument ?*", La Recherche, septembre 1973

Thuillier Pierre, "*Galilée et l'expérimentation*", La Recherche, avril 1983

Thuillier Pierre, “*Science, religion et politique: la cas Newton*”, La Recherche, novembre 1980

Thuillier Pierre, “*La révolution scientifique du XII siècle*”, La Recherche, septembre 1982

Thuillier Pierre, “*Bible et science*”, La Recherche, juin 1981

Thuillier Pierre, “*Comment se constituent les théories scientifiques*”, La Recherche, juin 1971

Thuillier Pierre, “*Les biologistes vont-ils prendre le pouvoir ?*”, Ed. Complexes, 1981

Toth Imre, “*La révolution non euclidienne*”, La Recherche, février 1977

Roger Jacques, “*Linné et l'ordre dans la nature*”, La Recherche, février 1978

Sachs Mendel, “*Le concept de temps en physique et en cosmologie*”, La Recherche, février 1978

Smith, Valadier, Shatzman, “*Mythe et science*”, La Recherche, mai 1982

Valadier Paul, “*Le catholicisme et la science*”, La Recherche, septembre 1985

Vivien F.D., “*Sadi Carnot économiste, enquête sur un paradigme perdu*”, Thèse, Université Paris I, 1991

WAGENSBERG Jorge, “*L'âme de la méduse - Idées sur la complexité du monde*”, Seuil, 1997

Weinberg Steven, “*Une vision corrosive du progrès scientifique*”, La Recherche, mars 1999

Witkowski Nicolas, “*Bernard d'Espagant, le physicien du réel voilé*”, La Recherche, mai 1997

Zaslavski Denis, “*Wittgenstein entre la science et la philosophie*”, La Recherche, septembre 1971

Zavodsky Marek, “*Comment user des mathématiques modernes ?*”, La Recherche, mai 1971



## Bibliographie Exclusion

- André Christine, R. Delorme, J.L. Penot, "*Protection sociale: financement, équité et équilibre à long terme*", Les cahiers de la Fen, 1985 (JV)
- "*Apprendre à tout âge*", OCDE, 1996 (coll. privée J. Vigneron)
- ARTUS Patrick, MUET Pierre-Alain, *Théories du chômage*, Economica, 1995
- Aznar Guy, "*Répertoire 1994 des innovations temps de travail*", Catral, 1995
- Aznar Guy, "*Tous à mi-temps*", Seuil, 1981 (coll. privée J. Vigneron)
- Aznar Guy, "*Le travail, c'est fini et c'est une bonne nouvelle*", Belfond, 1990 (coll. privée J. Vigneron)
- BLAUG M., *La pensée économique*, Economica, 1996.
- Boisnard Patrick, "*Les 35 heures et l'emploi*", La Recherche, décembre 1981
- BOUSSEMART J.M., VON COESTER S., TAUBERT P., *Les performances comparées de l'Europe et des Etats-Unis*, Rexecode, n°58, janvier 1998.
- BRESSON Y., *Le partage du temps et des revenus*, Economica, 1994.
- CAHUC P., GRANIER P., *La réduction du temps de travail - Une solution pour l'emploi ?*, Economica, 1997.
- Calan de Pierre, "*Inacceptable chômage*", Dunod, 1985
- CETTE Gilbert, TADDEI Dominique, "*Réduire le temps de travail. Les 35 heures*", Le Livre de Poche, 1998
- Cette Gilbert, "*Emploi: du bon usage de la réduction du temps de travail*", La Recherche, septembre 1994
- Chalmin Philippe, "*Présidentielles 95; enjeux économiques et sociaux*", Economica, 1995
- CLERC Denis, "*Que faire pour l'emploi ?*", Alternatives économiques, juin 1993
- Compétitivité-prix et coûts salariaux*, Rexecode n°60, septembre 1998
- 1945-1975: les trente glorieuses*, L'Histoire, n° 192, octobre 1995.
- DIDIER M., *Des concepts pour un bon diagnostic économique - Profitabilité et surplus de productivité*, Rexecode, octobre 1997.
- DIDIER M., *Les 35 heures entre "utopies" et réalité*, Rexecode, n°58, janvier 1998.
- Didier Michel, "*Scénarios pour l'emploi*", Economica, 1995 (JV)
- "*Dix heures par jour...*", Autrement n°34, 1981
- Données et explications*, L'étude de l'OCDE sur l'emploi, OCDE, 1994
- Du bon usage des comparaisons internationales en matière de coût salarial et d'emplois*, Travail, formation emploi, n° 2579, 26 août 1996.
- DUVANT M., *Comptabilité générale*, CNED, 1991.
- Encyclopædia Universalis, 1995: mots-clé: chômage, exclusion
- Environnement fiscal et compétitivité*, Rexecode, n°60, septembre 1998.
- Evolution de la productivité à moyen terme dans les pays de l'OCDE: déterminants en contribution des différents secteurs*, OCDE, 1998.
- Evolutions des marchés du travail et facteurs de changement*, L'étude de l'OCDE sur l'emploi, OCDE, 1994.

*Explications de texte n°8*, note de l'UIMM, avril 1998.

*Faits, analyse, stratégies*, L'étude de l'OCDE sur l'emploi, OCDE, 1994.

FERREOL G., DEUBEL Ph., *Economie du travail*, Armand Colin, 1990.

Fournier Ariane, "*Pratique du mécénat humanitaire et social*", Eyrolles, 1993

FRANCE *Comptes nationaux*, Rexecode, juillet 1998.

FREMAUX Philippe, "*Plein emploi ou pleine activité ?*", Alternatives économiques, février 1995

GAUTIER J., *Coût du travail et emploi*, La Découverte, 1998.

GAZIER B., *Economie du travail et de l'emploi*, Daloz, 1992.

GREFFE X., MAIRESSE J., REIFFERS J.L., *Encyclopédie économique*, Economica, 1990.

GAUTIER-SAUVAGNAC D., *Le temps de travail, l'entreprise et l'emploi*, CNPF, septembre 1997

HÆGELAND Torbjorn and KLETTE Tor Jacob, *Do Higher Wages Reflect Higher Productivity ?*, Statistics Norway Research Department, December 1997

HARRIBEY J.M., *Le développement soutenable*, Economica, 1998.

*Histoire des pensées économiques*, Sirey, 1988

HUGONNIER B., *Le plein emploi retrouvé*, Economica, 1996.

Iribane d' Philippe, "*La gestion des entreprises: le poids des traditions nationales*", La Recherche, mars 1991

*Le travail du temps sur le temps de travail*, SAN de Cergy-Pontoise magazine n°12.

"*La croissance au Sénégal, un pari perdu*", OCDE, 1996

LARROUTUROU P., *Du temps pour vivre*, Flammarion, 1994.

*La compétitivité industrielle*, OCDE, 1997 (coll. privée J. Vigneron)

*La mondialisation de l'industrie*, OCDE, 1996 (coll. privée J. Vigneron)

*La mise en œuvre de la stratégie de l'OCDE pour l'emploi*, OCDE, 1997.

"*La mondialisation de l'industrie*", OCDE, 1996

*La réduction du temps de travail*, Futuribles, n° 237, décembre 1998.

"*La réforme des systèmes de santé*", OCDE, 1996 (coll. privée J. Vigneron)

*Leçons à tirer de l'expérience des pays membres*, OCDE, 1997

"*Les dépenses en recherche et développement dans l'industrie*", OCDE, 1996 (coll. privée J. Vigneron)

LESOURNE J., *Le modèle français*, Editions Odile Jacob, mai 1998.

"*Les performances économiques de la Chine dans le contexte international*", OCDE, 1997

LORENZI J.H., BOURLES J., *Le choc du progrès technique*, Economica, 1995.

MAJNONI D'INIGNANO B., *L'usine à chômeurs*, Plon, 1998.

Mankiw N. Gregory, "*Principes de l'économie*", Economica, 1998

MALINVAUD Ed., *Les cotisations sociales à la charge des employeurs*, rapport 1998.

MEADE J.E., *Retour au plein emploi*, Economica, 1995.

“*Mesurer le capital humain*”, OCDE, 1996 (coll. privée J. Vigneron)

Muret J.P., C. Neuschawander, H. Sibille, “*L'économie et les emplois*”, Syros, 1983 (JV)

*Nouvelles priorités de la politique sociale en vue d'un monde solidaire*, OCDE, 1998.

OLIVENNES Denis, *La préférence française pour le chômage*, Notes de la Fondation Saint Simon, 1994

PARIENTY A., COMBEMALE P., *Technologie et chômage, un couple historique*, La Recherche n° 301, septembre 1997.

“*Pauvreté et exclusion*” La Documentation française, 1998

*Politiques en faveur des bas salaires et des demandeurs d'emplois non qualifiés*, OCDE, 1997.

“*Politiques de l'environnement & emploi*”, OCDE, 1997

*Possibilités d'adaptation des marchés du travail*, L'étude de l'OCDE sur l'emploi, OCDE, 1994.

*Retrouver le chemin du travail*, La revue des entreprises, n°600, avril 1998.

Rousselet Jean, “*L'allergie au travail*”, Seuil, 1974 (JV)

Sauvy Alfred, “*L'économie du diable: chômage et inflation*”, Calmann-Levy, 1976 (coll. privée J. Vigneron)

“*Seminar Social and Environment Interface*”, OCDE, 2000

*Services-mesure de la valeur-ajoutée réelle annuelle*, OCDE, 1996 (coll. privée J. Vigneron)

“*Services: statistiques sur les échanges internationaux*”, OCDE, 1996 (coll. privée J. Vigneron)

“*Services: statistiques sur la valeur-ajoutée et l'emploi*”, OCDE, 1996 (coll. privée J. Vigneron)

*Science, technologie et industrie*, OCDE, 1997.

*Spécial 35 heures*, Actualité n°167, Union des Industries Métallurgiques et Minières, janvier 1998

*Statistiques sur la valeur-ajoutée et l'emploi*, OCDE, 1996.

“*Statistiques des structures industrielles*”, OCDE, 1996 (coll. privée J. Vigneron)

Strahm R., “*Pourquoi sont-ils si pauvres ?*” La Bacunière, 1986

*Technologie, productivité et créations d'emplois - rapport analytique*, OCDE, 1996.

*Technologie, productivité et créations d'emplois - politiques exemplaires*, OCDE, 1998.

TEULON Frédéric, “*Le partage du travail est-il une solution contre le chômage ?*”, Sciences humaines n°33, novembre 1993

*35 heures: l'analyse d'une erreur*, La revue des entreprises, n° 598, février 1998.

*Vers une politique sociale axée sur l'emploi*, L'observateur de l'OCDE, n° 213, août-septembre 1998.

*Vers une nouvelle ère mondiale*, OCDE, 1997 (coll. privée J. Vigneron)

## Bibliographie Economie et environnement

- Albertini J.M., A. Silem, “*Comprendre les théories économiques*”, Seuil, 1983
- Anderson Kym, R. Blackhurst, “*Commerce mondial et environnement*”, *Economica*, 1992 (JV)
- Armsworth Paul, J. Roughgarden, “*An invitation to ecological economics*”, *Ecology & Evolution*, May 2001
- AYRES Robert U., “*The Kuznets curve and the life cycle analogy*”, *Structural change and economic dynamics* 8, 1997
- AYRES Robert U., “*Eco-thermodynamics: economics and the second law*”, *Ecological Economics* 26, 1998
- Backer de Paul, “*Le management vert*”, Dunod, 1998
- BARBIER Rémi, Philippe LAREDO, “*L’internalisation des déchets*”, *Economica*, 1997
- BARBIER Rémi, Philippe LAREDO, “*Le processus d’internalisation des déchets à la Communauté Urbaine de Lille*”, Centre de sociologie de l’innovation, Ecole des Mines de Paris, Mars 1997
- BARDE Jean-Philippe, “*Economie et politique de l’environnement*”, Puf, 1992
- Berthélemy Jean-Claude, A. Seck, A. Vourc’h, “*La croissance au Sénégal - Un pari perdu ?*”, OCDE, 1996 (coll. privée J. Vigneron)
- “*Bilans énergétiques des pays de l’OCDE*”, OCDE, 1996 (coll. privée J. Vigneron)
- “*Bilans énergétiques des pays de l’OCDE*”, OCDE, 1997 (coll. privée J. Vigneron)
- BLAUG Mark, “*La pensée économique*”, *Economica*, 1996
- BRUYN de S.M., J.B. OPSCHOOR, “*Developments in the throughput - income relationship: theoretical and empirical observations*”, *Ecological Economics* 20, 1997
- BUENSTORF Guido, “*Self-organization and sustainability: energetics of evolution and implications for ecological economics*”, *Ecological Economics*, April 2000
- Bürgenmeier Beat, “*Principes écologiques et sociaux du marché*”, *Economica*, 2000
- BURLEY Peter, John FOSTER, “*Economics and thermodynamics: New Perspectives on Economic Analysis*”, Kluwer Academic Publishers, 1994.
- Clerc Denis, “*Déchiffrer l’économie*”, Syros, 1982 (coll. privée J. Vigneron)
- Craig Paul P., “*Energy limits on recycling*”, *Ecological economics* 36, 2001
- David Jacques-Henri, Philippe Jaffré, “*La monnaie et la politique monétaire*”, *Economica*, 1990 (coll. privée J. Vigneron)
- Delaunay J., “*Halte à la croissance*”, Fayard, 1972
- DERAIME S., “*Economie et environnement*”, Le Monde/ Marabout, 1993
- Dorfman Robert et Nancy, “*Economie de l’environnement*”, Calmann-Levy, 1975 (JV)
- Diaz J.I., J.L. Lions, “*Environnement, economics and their mathematical models*”, Masson, 1994
- “*Economie et environnement*”, *Futuribles* n°44, 1981 (JV)
- EHRlich Paul R and all., “*Knowledge and the environment*”, *Ecological Economics* 30, 1999
- EIDE Erling, Roger van den BERGH, “*Law and Economics of the Environment*”, Juridisk Forlag, 1996
- England Richard W., “*Natural capital and the theory of economic growth*” *Ecological economics* 34, 2000

“*Environnement et économie*”, OCDE, 1984

“*Environment and economics*”, OCDE, 1992

ESQUISSAUD Philippe, VIGNERON Jacques, “*Écologie industrielle*”, Hermann, 1990

“*Expanding the Measure of Wealth - Indicators of Environmentally Sustainable Development*”, The World Bank, 1997

Faucheux Sylvie, Franck-Dominique Vivien, “*Plaidoyer pour une écoénergétique*”, La Recherche, mai 1992

Faucheux Sylvie, “*Économie des ressources naturelles et de l’environnement*”, A. Colin, 1995

Faucheux Sylvie, “*Les menaces globales sur l’environnement*”, La Découverte, 1990

FAUCHEUX Sylvie, Martin O’CONNOR, “*Valuation for Sustainable Development - method and policy indicators*”, Edward Elgar Publishing, 1998

FAUCHEUX Sylvie, Martin O’CONNOR, “*Le capital naturel et la modélisation économique du développement durable: un terrain controversé*”, C3ED, Université de Versailles, 1999

Faucheux Sylvie, “*L’articulation des évaluations monétaires et énergétiques en économie*”, Thèse, Université Paris I, 1990

Grefe Xavier, “*Principes de politique économique*”, Economica, 1989 (coll. privée J. Vigneron)

Grosclaude Pascal, “*Comptabilité nationale et environnement*”, Thèse, Université de Neufchatel, 1995

Hawken Paul, “*L’écologie de marché*”, Le souffle d’or, 1995 (JV)

“*Instruments économiques pour la protection de l’environnement*”, OCDE, 1989

JENKINS T. N. “*Economics and the environment: a case of ethical neglect*”, Ecological Economics, August 1998

Julia M., “*Les marchés de l’environnement*”, Direction générales des stratégies industrielles, 1994

Käberger Tomas, Bengt Månsson, “*Entropy and economic processes - physics perspectives*”, Ecological Economics 36, 2001

Kaïl Michel, Jacques Lambert, E. Quinet, “*Évaluer les effets des transports sur l’environnement*”, Tech. & Doc., 1999

Kaisergruber Danielle, José Landrieu, “*Tout n’est pas économique: des entreprises qui construisent leurs performances par rapport à l’environnement*”, Ed. de l’Aube, 2000

Kempf H., “*L’économie à l’épreuve de l’écologie*”, Hatier, 1994

Klauer Bernd, “*Ecosystem prices: activity analysis applied to ecosystems*”, Ecological Economics 33, 2000

Krishnan R., N. Goodwine, J. Harris, “*Survey of ecological economics*”, Island Press, 1995

Krutilla John V., A. C. Fischer, “*The economics of natural environments*”, The John Hopkins University Press, 1978 (JV)

LAGARDE-DUPRAZ Sandrine, “*Contribution à l’élaboration d’une méthodologie de construction d’indicateurs du développement durable à usage des industries*”, Thèse de doctorat, 98 ISAL 00 98, 1998

“*La lutte contre les marées noires - Aspects économiques*”, OCDE, 1982

LASTESTEIJN van Henk C., “*A Risk Approach by State on the subject of Sustainability*”, The Geneva Papers on Risk and Insurance n°85, octobre 1997

“*Le changement climatique - évaluation des retombées socio-économiques*”, OCDE, 1993

“*Les dépenses en recherche et développement dans l’industrie*”, OCDE, 1997

- “L'évaluation monétaire des avantages des politiques de l'environnement”, OCDE, 1989
- MANKIW N. Gregory, “Principes de l'économie”, Economica, 1998
- Mossé Eliane, “Comprendre la politique économique - L'ère des certitudes”, Seuil, 1980
- Mossé Eliane, “Comprendre la politique économique - D'une crise pétrolière à l'autre”, Seuil, 1980
- Nelson Anitra, “The poverty of money: Marxian insights for ecological economists”, Ecological Economics 36, 2001
- O'CONNOR Martin, “Theory of Value for Open Systems Reproduction: The role of Energy-Based Numéraires in Analyses for Sustainability” dans Advances in energy studies, Muisis, 1998
- O'CONNOR Martin, “The thermodynamic heuristic” dans Entropy, Environment and Resources: An Essay in Physico-Economics, 1988
- “Parer au changement climatique - quelques problèmes économiques”, OCDE, 1991
- Pelletier Jon D., “Are large complex ecosystems more unstable ? A theoretical reassessment with predator switching”, Mathematical biosciences 163, 2000
- “Performances environnementales dans les pays de l'OCDE”, OCDE, 1996
- PERKINS Stephen and all, “Transport, economic development and social welfare”, .....
- “Perspectives de la science, de la technologie et de l'industrie”, OCDE, 1996 (coll. privée J. Vigneron)
- Pillet Gonzague, “Economie écologique”, Georg Ed., 1993 (JV)
- PLATER Sigmunt J.B., “The Three Economies”, Ecology Law Quarterly n°3, 1998
- “Politiques de l'environnement - Comment appliquer les instruments économiques”, OCDE, 1991
- PRATO Tony, “Multiple attribute decision analysis for ecosystem management”, Ecological Economics 30, 1999
- “Prévention et contrôle de la pollution - Critères environnementaux pour des transports durables”, OCDE, 1996
- “Réduire les subventions pour améliorer l'environnement”, OCDE, 1998
- RENNING Klaus, “Redefining innovation, eco-innovation research and the contribution from ecological economics”, Ecological Economics, February 2000
- REYNOLDS Douglas B., “Entropy and diminishing elasticity of substitution”, Resources Policy, March 1999
- RUTH Matthias, “Informations, order, and knowledge in economic and ecological systems: implications for material and energy use”, Ecological Economics 13, 1995
- “Science, technologie et industrie”, OCDE, 1997 (coll. privée J. Vigneron)
- Sibieude C. T., “Les rouages économiques de l'écologie”, Ed. de l'atelier, 1993
- SMETS Henri, “Le principe utilisateur-payeur pour la gestion durable des ressources naturelles”, non publié, octobre 1998
- SOLLNER Fritz, “A reexamination of the role of thermodynamics for environmental economics”, Ecological Economics 22, 1997
- “Statistiques de l'énergie des pays de l'OCDE”, OCDE, 1997 (coll. privée J. Vigneron)
- “Statistiques de l'énergie des pays de l'OCDE”, OCDE, 1996 (coll. privée J. Vigneron)
- STYMNE Susanna, Tim JACKSON, “Intra-generational equity and sustainable welfare: a time series analysis for the UK and Sweden”, Ecological Economics, May 2000

TEMPLET Paul H., “*Energy, diversity and development in economic systems; an empirical analysis*”, Ecological Economics 30, 1999

“*The macro-economic impact of environmental expenditure*”, OCDE, 1985

Toquenaga Yukihido, “*Historicity of a Simple Competition Model*”, J. theor. Biol. 1997

Tschirhart John, “*General Equilibrium of an Ecosystem*”, J. theor. Biol. 203, 2000

TRZYNA Thaddeus, “*A Sustainable World - Defining and measuring sustainable development*”, International Center for the Environment and public Policy, 1995

“*Vers un développement durable - Indicateurs d’environnement*”, OCDE, 1998

Viau A., J.-M. Albertini, “*L’inflation*”, Seuil, 1975 (coll. privée J. Vigneron)

“*Vers une économie écologique*”, Science et technologie, juin 1989

VIGNERON Jacques, Claude BURSTEIN, “*Ecoproduit - Concepts et méthodologies*”, Economica, 1993

Vivien Franck-Dominique, “*Quel prix accorder à la biodiversité ?*”, La Recherche, juillet 2000

Vivien F.D., “*Economie et écologie*”, La Découverte, 1994

Wauty E., P. Duchesne, “*Principes d’économie politique*”, La Procure, 1972

WITT Ulrich, “*Self organization and economics - what is new ?*”, Structural change and economic dynamics 8, 1997

#### Compléments bibliographiques

Lamy Michel, “*La biosphère, la biodiversité et l’homme*”, Ed. Ellipse Marketing

Lacoste, Salomon, “*Eléments de biogéographie et d’écologie*”, Nathan,

Faurie Claude, “*Écologie: approche scientifique et pratique*”, Ed. technique et documentation, Lavoisier

Pelt Jean-Marie, “*Le tour du monde d’un écologiste*”, Fayard,

Aguesse Pierre, “*Clef pour l’écologie*”, Seguers,

Goguel Jean, “*Géologie de l’environnement*”, Masson

Godard Olivier, “*Le principe de précaution dans la conduite des affaires humaines*”, Ed. de la maison des sciences de l’homme

Droin Jean-Marc, “*L’écologie et son histoire: réinventer la nature*”, Flammarion,

Ramade François, “*Le grand massacre*”, Hachette,

Guille-Escuret, “*Les sociétés et leur nature*”, A. Colin,

Brunet Roger, “*Le territoire dans les turbulences*”, GIP Reclus,

Pelt Jean-Marie, “*L’Homme renaturé*”, Seuil,

Combes Cl., Ch. Guitton, “*L’homme et l’animal*”,

Barbault Robert, “*Biodiversité*”,

Kempf Hervé, “*La révolution biolithique*”

Pelt Jean-Marie, "Les langages secrets de la nature",  
Mermet Laurent, "Stratégies pour l'environnement",  
Les outils pour l'environnement", FRAPNA,  
Desbrosses Philippe, "*La terre malade des hommes*",  
Lavoux Thierry, "*L'environnement en France*",  
Déoux Pierre et Suzanne, "*L'écologie c'est la santé*",  
"Surveillance de l'environnement", Club Crin environnement  
Jégouzou Yves, Christophe Sanson, "Le guide de l'environnement"  
Arquès Philippe, "La pollution de l'air: causes, conséquences et solutions",  
Monjean Sandrine, "Les nations-unies et la protection de l'environnement"  
Labeyrie Jacques, "Le climat,  
Dagonet François, "Des détritiques, des déchets, de l'abject: une philosophie écologique",  
Bougherra Larbi M. "La pollution invisible", Puf,  
BONNEFOUS Edouard, "*Réconcilier l'homme ou la nature*", Puf  
Nègre Robert, "*L'alimentation, risque majeur, écologie systémique*", Marketing,  
Belbéoch Bella, "*Tchernobyl, une catastrophe, quelques éléments pour un bilan*", Allia,  
"Notre planète, notre santé", OMS,  
Romi Raphaël, "Droit et administration de l'environnement", Editeur scientifique  
"*La santé empoisonnée*",  
Serres Michel, "Le contrat naturel"  
Mathieu Jean)Luc, "La défense de l'environnement en France", PUF,  
Pitte Jean-Robert, "*Histoire du paysage français*", 2001  
Mouvier  
Angel Martin, "*La nature a-t-elle un prix ?*",  
Terrasson François, "La civilisation anti-nature", Editions du Rocher  
Charpentier B., "La mer malade de la terre", Edition Glénat  
Villeveille A., "Les risques naturels en Méditerranée", Economica  
Becquet P. / T.Laurenceau, "Pétroliers de la honte", Edition N°1  
Peguy C.P., "Jeux et enjeux du climat", Masson  
La santé empoisonnée, Frison-Roche  
Lapoux, "Sauver la ville: écologie du milieu urbain", Sang de la Terre  
"Contamination des sols par les éléments en trace", Lavoisier  
Farinelli B., "Pour la campagne", Sang de la terre et Bornemann,



THIEFFRY Patrick, *“Droit européen de l’environnement”*, 1998

Déoux Suzanne et Pierre, *“L’écologie, c’est la santé”*,

Mayr Ernst, *“Darwin et la pensée moderne de l’évolution”*

Poujade, *“Le ministère de l’impossible”*

Maes Michel, *“Le prix du déchet”*, Ed. Johannet

Ciattoni Jean-Pascal, *“Le bruit”*,

Farrachi Armand, *“Les poules préfèrent les cages - Quand la science et l’industrie nous font croire n’importe quoi”*,  
Ed. Sciences Frontières

Kandel Robert, *“L’incertitude des climats”*, Hachette,

Binz P. FH Cornhaire, Ph Defeyt, *“La santé empoisonnée - Faits et arguments en faveur d’une médecine de l’environnement”*, Frison-Roche,

Navarro R., *“Allergie et environnement”*,

Angel, *“La nature a-t-elle un prix ? Critique de l’évaluation monétaire des biens environnementaux”*,

Maréchal, *“Le rationnel et le raisonnable”*

Bosquet *“Écologie et liberté”*,

Passet, *“L’économie et le vivant”*,

Barrère, *“Terre, patrimoine commun: la science au service de l’environnement et du développement”*

Duclos, *“Nature et démocratie”*,

Bailly Antoine, *“Risques naturels, risques de société”*, Economica,

Au 13 décembre 2001

Rossi Georges, *“L’ingérence écologique - environnement et développement du Nord au Sud”*, CNRS Editions, 2000

Burgat Florence, *“Les animaux ont-ils droit au bien-être”* INRA Editions, 2001

Huglo Christian, Jean de Malefosse, *“Code de l’environnement”*, Ed. Litec, 2001

*“La sensibilité écologique des Français”*, IFEN, 2000

Levêque Christian, *“Écologie, de l’écosystème à la biosphère”*, Ed. Dunod, 2001