

INHALTSVERZEICHNIS:

Vorwort (Klaus Mainzer)	9
I. EINFÜHRUNG: ÖKONOMIE UND ÖKOLOGIE UNTER BESONDERER BERÜCKSICHTIGUNG DER ALPENREGION	
Die Alpenregion: Die Überschreitung der ökonomischen Dimension (Beat Bürgenmeier)	19
Die alpine Territorialität oder die Paradoxien des Dialogs Natur - Kultur (Claude Raffestin)	37
Ökologie, Ökonomie, Ethik - Magisches Dreieck oder vernünftige Einheit? (Klaus Mainzer)	51
II. SCHWERPUNKT ÖKONOMIE	
Marktwirtschaft - Feind der Ökologie? (Holger Bonus)	81
Von der sozialen zur "ökologischen Marktwirtschaft" (Reinhard Blum)	105
Betriebswirtschaftlich rationales Management der ökologischen Herausforderung (Stefan Claude Schaltegger/ Andreas Jürg Sturm)	131
Die Alpenregion angesichts der doppelten Herausforderung durch Ökonomie und Ökologie (Gaston Gaudard)	151
III. SCHWERPUNKT ÖKOLOGIE	
Die Biosphäre: Ein holistisches Konzept der globalen Ökologie (Jacques Grinevald)	175
Umwelthygiene: Die Neugestaltung der Ethosphäre (Ulrich Müller-Herold)	195
Traditionelle Gesellschaft, moderne Gesellschaft und Natur (Ruggero Crivelli)	215

(Fortsetzung siehe Umschlagseite 3)

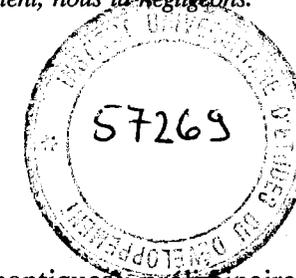
COTE: - 8332
HEIBL 8332
NO : 7204303

LA BIOSPHERE - UN CONCEPT HOLISTIQUE DE L'ÉCOLOGIE GLOBALE

Jacques Grinevald

Au moment même où physiquement nous agissons pour la première fois sur la Terre globale, et qu'elle réagit sans doute sur l'humanité globale, tragiquement, nous la négligeons.

Michel SERRES
Le contrat naturel



1. Remarques préliminaires

Quelques remarques terminologiques et sémantiques préliminaires. Commençons par y reconnaître qu'une fâcheuse confusion entoure le mot et la notion de *Biosphère* (Grinevald, 1987b; Polunin et Grinevald, 1988). Il existe aussi une profusion de termes plus ou moins synonymes pour désigner l'habitabilité du globe terrestre ou la planète vivante, Gaïa étant l'un des nouveaux concepts en vogue qui traduisent cette prise de conscience récente que nous n'habitons pas seulement sur la Terre, mais plus précisément au sein du vaste système écologique qui caractérise l'histoire et la face de la Terre d'une manière unique dans tout le système solaire, et peut-être (nous n'en savons rien!) dans le Cosmos.

Le mot «biosphère», avec ou sans majuscule, est largement utilisé, surtout depuis la conférence de l'Unesco de septembre 1968 (Unesco, 1970), hélas avec des sens très différents, voire contradictoires. Pour la géochimie, par exemple, il s'agit d'un «réservoir». Ainsi on parle de la biosphère marine et de la biosphère terrestre ou continentale. Le programme MAB («L'Homme et la Biosphère») de l'Unesco a créé le concept et la politique des «réserves de la biosphère», comme si on pouvait découper la Biosphère quelques centaines de zones protégées alors que la transformation anthropogénique accélérée de la composition chimique de l'atmosphère continuerait de plus bel!

Illustrant la flagrante ignorance de l'œuvre de Vernadsky, on introduisit en Occident le néologisme d'*écosphère* (Cole, 1958, Gillard, 1969), largement diffusé au début des années 70 (Ehrlich et al., 1971; Commoner, 1972). Revendiquant parfois explicitement l'héritage de Teilhard de Chardin, on utilisa, comme la plupart des géochimistes depuis V.M. Goldschmidt (1888-1947), le mot biosphère dans un sens qui n'a rien d'écologique et qui traduit

chimiques, d'énergie ou de biomasse), à savoir la totalité des organismes vivants (Lieth and Whittaker, eds., 1975), abstraction faite de l'environnement où ils vivent concrètement, et du changement provoqué par le métabolisme global de ce biote dynamique (Vernadsky parlait pour cela de la «matière vivante»). On parle ainsi de nos jours des interactions entre la biosphère et l'atmosphère, comme si l'atmosphère n'était pas une partie vitale (comme le soutient l'hypothèse Gaïa et la tradition vernadskienne) du système biosphérique lui-même! Tout ce flou terminologique et conceptuel traduit en fait une fâcheuse situation épistémologique.

Autre constat. La littérature spécialisée en écologie scientifique globale reste encore largement confidentielle et peu reconnue par les «big sciences» et la philosophie scientifique dominantes. Le grand public et les milieux politiques et économiques l'ignorent totalement. La pensée scientifico-technologique dominante néglige encore aujourd'hui totalement la perspective écologique globale qui intègre l'activité humaine dans le vaste système biogéochimique de la Biosphère. Le problème dépasse la science, il est culturel et politique. Le concept «vernadskien» de la Biosphère, concept fondateur de l'écologie globale (Grinevald, 1987b, 1988, 1990a; Polunin and Grinevald, 1988) est en fait encore largement ignoré.

Rappelons-nous ici que la diffusion socio-culturelle d'une idée ou d'un concept scientifique, à partir d'une source donnée (souvent oubliée ou méconnue), suit des voies qui comportent aussi du «bruit», lequel brouille la transmission, altérant la signification originelle et introduisant de plus en plus de confusion dans le message. Il y a, métaphoriquement parlant, une sorte de loi d'entropie croissante dans ce processus de la diffusion des idées. Curieusement, la diffusion du terme même d'entropie (depuis son introduction par Clausius en 1865, son interprétation statistique à partir de Boltzmann et son équivalence avec l'information depuis Shannon!), est elle-même une illustration exemplaire de cette loi d'entropie de la communication (Grinevald, 1973)! Ma comparaison avec le terme de Biosphère, introduit dans la littérature géologique en 1875 par Suess, n'est pas tout à fait fortuite: la problématique de l'évolution de la Biosphère comporte en effet une dimension thermodynamique essentielle et la question de l'entropie (ou du principe de Carnot) en est un point particulièrement délicat, sur lequel il nous faudra revenir.

2. Une révolution scientifique manquée

Historiquement, la naissance du concept révolutionnaire de Biosphère est passée pratiquement inaperçue. Certes, le petit livre de 1875 du géologue autrichien Eduard Suess (1831 - 1914), *Die Entstehung der Alpen*, dans lequel apparaît pour la première fois cette notion d'une «*selbständige Biosphäre*», définie comme l'enveloppe géologique

a été décisif pour la pensée géologique, mais ce qui frappa à l'époque ne fut manifestement pas le néologisme de «Biosphère». Encore aujourd'hui le nom de Suess n'évoque pas immédiatement la notion de Biosphère! Les idées de l'éminent professeur de géologie de l'Université de Vienne, magistralement développées au tournant du siècle dans son œuvre maîtresse intitulée *La Face de la Terre*, qui se terminait aussi sur l'idée de la Biosphère (le chapitre final s'intitule «La Vie»), appartiennent surtout à la préhistoire de la «révolution wegenérienne» et du paradigme mobiliste (Grinevald, 1987a).

On a oublié que Vladimir Vernadsky écrivait, dans sa monographie historique de 1929 (version française du livre de 1926) sur *La Biosphère*:

«L'impotence de la vie dans la structure de l'écorce terrestre ne pénétra que lentement l'esprit des savants et n'est pas encore aujourd'hui appréciée dans toute son étendue. Ce n'est qu'en 1875 que E. Suess, professeur à l'université de Vienne, un des plus éminents géologues du siècle dernier, introduisit dans la science la notion de biosphère comme celle d'une enveloppe particulière de l'écorce terrestre, enveloppe pénétrée de vie.»

D'une manière générale, les historiens de l'écologie, travaillant souvent dans le seul cadre des sciences biologiques, ont jusqu'ici ignoré le concept de Biosphère et sa place dans l'histoire de la pensée scientifique (Grinevald, 1987b, 1988, 1990a). Pour compléter dans un sens écologique et planétologique la «révolution wegenérienne» proposée en 1968 par le géophysicien J. Tuzo Wilson, j'ai proposé (Grinevald, 1987b) le concept de «révolution vernadskienne». Cette idée a été notamment acceptée par le professeur Nicholas Polunin et bien accueillie lors du symposium international, organisé par l'Académie des sciences de l'URSS, en mars 1988, pour célébrer le 125^e anniversaire de la naissance Vernadsky (Polunin and Grinevald, 1988).

Depuis l'époque de Suess, comme le déplorait Vernadsky, la séparation des sciences de la vie et des sciences de la terre est plus que jamais la règle dans l'institution universitaire et le grand partage disciplinaire (et positiviste) de la connaissance scientifique. Ce faisant, un véritable discrédit scientifique est venu recouvrir la grande tradition holistique de l'Histoire Naturelle, poursuivie seulement par ceux qui continuèrent, envers et contre tout, à se considérer avant tout comme des «naturalistes», nous dirions aujourd'hui des «écologistes», dénonçant comme Forel en 1892 (dans la préface de sa monographie limnologique sur *Le Léman*) la tendance vers «la spécialisation à outrance».

Une vaste enquête (transdisciplinaire) m'a convaincu depuis quelques années et de la méconnaissance de l'histoire du concept holistique de la Biosphère et de la gravité du flou sémantique et terminologique qui entoure, et la plupart du temps occulte,

cette grande idée scientifique, et cela d'une manière qui ressemble curieusement à la situation épistémologique et culturelle de cette autre grande idée scientifique qu'est le concept d'entropie, si bien mis en évidence par Georgescu-Roegen (1971) dans *The Entropy Law and the Economic Process*, œuvre révolutionnaire qui fonde actuellement tout un courant de pensée «inter- et transdisciplinaire»: la bioéconomie ou économie écologique (Daly, ed., 1980; Martinez-Alier, 1987; Costanza and Daly, eds., 1987).

La nécessité pour la communauté scientifique d'adopter une définition holistique et sans équivoque de la Biosphère, soulignée par d'éminents écologistes comme G.E. Hutchinson (1970) et Nicholas Polunin (1984) depuis des années, devrait être à l'ordre du jour avec le Programme International Géosphère-Biosphère (IGBP), le fameux «Global Change» lancé officiellement par la 21^e Assemblée générale du Conseil International des Unions Scientifiques (ICSU), à l'Université de Berne en septembre 1986. On constate toutefois que les responsables du «Global Change» se sentent embarrassés devant ce genre de problème conceptuel qui soulève en fait de graves questions épistémologiques. Il n'existe pas de théorie générale de la Biosphère unanimement acceptée, si tant est même qu'elle soit possible (Botkin, 1983). On le voit bien avec la controverse qui accueille l'hypothèse ou la théorie Gaïa, comme l'illustre les mémorables débats de la Conférence Chapman de l'AGU à San Diego, en mars 1988 (cf. Schneider, 1989).

Si on mettait actuellement ce genre de problème épistémologique sur le devant de la scène de la coopération scientifique internationale, on risquerait en effet de toucher la susceptibilité de plusieurs «disciplines» bien établies, sans doute quelques rivalités nationales, et on soulignerait au-delà la bienséance l'extrême difficulté méthodologique et conceptuelle de ce vaste et très ambitieux programme de recherche qui se veut, selon les premiers rapports américains sur le Global Change, «interdisciplinaire et holistique» (NRC, 1983, 1986, 1988; NASA, 1988).

La division «disciplinaire» du savoir scientifique (plus précisément académique) est aujourd'hui si bien institutionnalisée que le dialogue interdisciplinaire ne semble actuellement pas en mesure de surmonter les obstacles qui barrent la route à ce que Jean Piaget nommait la transdisciplinarité.¹

1 Cf. PIAGET, J., L'épistémologie des relations interdisciplinaires, in GRINEVALD,

Dans la classification du savoir scientifique moderne, deux grands barrages doivent être soulignés: d'une part la division entre sciences de la nature et sciences de l'homme, et d'autre part, au sein des sciences de la nature, la division entre sciences de la vie et sciences de la terre. Le concept biogéochimique de Biosphère, auquel Vernadsky (1945a) ajoutait celui de Noosphère (en un sens différent de Teilhard de Chardin et d'Edouard Le Roy) pour souligner les transformations biosphériques d'origine anthropique, récuse cette division des sciences et propose une véritable réconciliation-intégration: dès lors, l'histoire de l'Homme fait partie de l'histoire de la Vie comme l'histoire de la Vie fait partie de l'histoire de la Terre.

L'impact environnemental du développement économique et démographique de l'humanité est, d'une manière si accélérée depuis notre révolution thermo-industrielle occidentale, à l'échelle du globe, de l'habitabilité du globe (cf. «Global Habitability», NASA, 1988), c'est-à-dire la Biosphère et sa coévolution avec la planète Terre (Grinevald, 1989a, 1990b). Cela devrait concerner au premier chef les théoriciens et les stratèges du développement économique!

3. L'indiscipline de l'approche holistique

Ce que l'activité scientifique contemporaine a manifestement perdu avec l'ère industrielle avec ce qu'on nomme les «technosciences», c'est la tradition «naturaliste» qui observait la Nature pour ainsi dire grandeur nature, qui pensait le «globe terraqué», avec sa flore et sa faune, ses cycles et ses grands équilibres, comme un grand «tout» animé d'un souffle de vie (expression de Goethe citée par A. de Humboldt au début du *Cosmos*), et dont les sociétés humaines font aussi partie sans exception. Cette tradition unitaire, plus proche du romantisme «organiciste» que du classicisme «mécaniste» et «atomiste», peut être illustrée par les noms de Buffon, Hutton, Lamarck, Darwin, Goethe, Humboldt, Dokuchaev, Suess et Vernadsky. Ce sont les fondateurs de notre actuelle vision écologique globale de la vie sur Terre, de la Terre comme «planète vivante».

C'est dans cette grand tradition holistique de la «science humboldtienne» que s'enracinent l'écologie des systèmes (Hutchinson-Lindeman, E. et H. Odum...) et «l'hypothèse Gaïa» formulée dans les années 1970 (en marge de l'exploration de la planète Mars par la NASA) par James Lovelock, Lynn Margulis et d'autres scientifiques qui contribuent de nos jours à l'essor de la planétologie comparée et de

Snyder, 1985; Botkin, ed., 1986; Grinevald, 1987b, 1988, 1990a; Bunyard and Goldsmith, eds., 1988, 1989; Rambler et al., eds., 1989).

La Biosphère est un concept systémique et hiérarchique: elle représente le plus haut niveau d'intégration biologique en même temps que le phénomène géologique le plus caractéristique de la surface de la planète Terre. Penser le concept de Biosphère implique donc bien une approche transdisciplinaire, non seulement bio-géologique, mais encore véritablement planétologique, capable d'intégrer le phénomène anthropo-bio-géo-chimique qui actuellement transforme l'économie de la nature, c'est-à-dire les grands équilibres de l'homéostasie de la Biosphère.

Le terme de Biosphère (comme celui de Gaïa) est d'ailleurs significativement davantage qu'un concept scientifique, c'est aussi un symbole pour la «deep ecology», pour le mouvement de la paix, pour le féminisme, pour la nouvelle définition post-militariste de la sécurité collective (Grinevald, 1987b, 1989b, 1990d). C'est pourquoi, avec Polunin et sa revue internationale *Environmental Conservation*, j'écris le mot Biosphère avec une majuscule. On pourrait d'ailleurs adopter la convention (usage américain courant) d'écrire biosphère avec une minuscule pour désigner le biote. En écrivant avec une majuscule la Biosphère, on souligne sa singularité, sa dignité et son caractère imprévisible (bien souligné dans l'admirable émission de télévision américano-japonaise et le livre «La planète miracle»).

La Biosphère (les chercheurs du «Projet Biosphere II» dans l'Arizona parlent de Biosphere I), c'est la Biosphère de la Terre, notre unique planète, notre Mère-Terre, Gaïa. De nombreux scientifiques rationalistes s'affolent de ce rapprochement entre science et mythe, mais notre «ignorance» de la Biosphère n'est-elle pas au coeur du mythe rationnel de l'Occident (Grinevald, 1990c), de notre mythologie moderne de la croissance économique? La Biosphère, n'est-ce pas aussi le mystère de la Vie à l'échelle du globe?. Son sens ne rejoint-il pas les grandes interrogations sur l'évolution astrophysique, sur la cosmogénèse? Il s'agit bien, je crois, d'un concept clé de la pensée cosmologique contemporaine.

Cela dit, c'est sans doute cette dimension cosmologique du concept de Biosphère qui explique sa négligence dans notre enseignement académique, dont le manque de considérations cosmologiques, et tout particulièrement à cause de notre idéologie de la croissance économique illimitée, est

écologique de cette fin du XXe siècle va de pair avec une révolution cosmologique, elle-même associée à la révolution technologique de l'âge de l'Espace. Le concept de Biosphère est bien holistique, ce n'est pas un concept propre aux sciences biologiques. On peut d'ailleurs contester le classement traditionnel de l'écologie parmi les sciences biologiques. L'écologie appartient tout autant aux sciences géologiques, à la météorologie (le concept de système climatique global est pratiquement synonyme de Biosphère) ou à l'océanographie. Il suffit de penser à la pédologie, science écologique par excellence. L'origine historique de la notion de Biosphère se situe de ce côté, à la fois très terre-à-terre et hautement spéculatif. L'idée de la Biosphère n'est pas née chez les biologistes, mais chez les experts (ou plutôt les philosophes, au vieux sens du terme) de la Théorie de la Terre, au sein donc de la pensée géologique. Hélas, les historiens de la géologie n'en disent rien! Mais il ne s'ensuit pas que le concept de Biosphère soit réductible aux sciences géologiques telles qu'elles sont traditionnellement constituées et généralement enseignées de nos jours.

Suess et Vernadsky parlaient des idées nouvelles introduites par Lamarck et Darwin, le transformisme biologique. Vernadsky, en accord avec l'énergétisme de son temps, insistait sur la thermodynamique. La révolution thermodynamique va en effet de pair avec la théorie de l'évolution, on commence enfin à le comprendre (Georgescu-Roegen, 1971; Grinevald, 1976, 1977, 1980, 1982; Prigogine et Stengers, 1979; Wicken, 1987; Weber et al., 1988). L'énergétique de la Biosphère (système clos ou système ouvert? cela dépend de l'échelle temporelle adoptée par l'observateur...) implique son intégration thermodynamique dans le système solaire, entre la «source chaude» du Soleil et la «source froide» de l'espace interstellaire (Odum, E., 1971; Odum, H., 1971). Comme Teilhard et Vernadsky l'avaient bien compris dès les années 1920, quoique de façon différente, il nous faut connecter la Biologie, la Géologie, l'Astronomie et l'Anthropologie pour élaborer une «science de la Biosphère».

Dans la pensée de Suess et plus encore dans celle de Vernadsky, il est clair que l'expression Biosphère relie étroitement le biote aux autres sphères terrestres, les géosphères (néologisme introduit en 1910 par John Murray). La notion de Biosphère s'inscrit dans un paradigme que l'on peut nommer, avec Preston Cloud, biogéologique (cf. Schopf, ed., 1983). Les racines historiques de ce paradigme biogéologique sont assez anciennes et son

naturalistes du siècle dernier tombés dans les oubliettes de l'histoire des sciences. Vernadsky, incompris en son temps, et qu'on redécouvre seulement de nos jours, lui donne une signification beaucoup plus vaste, non seulement biogéologique, mais encore biogéochimique, énergétique, écologique et proprement cosmologique. L'œuvre scientifique novatrice de Vernadsky s'accompagna d'ailleurs de recherches historiographiques et d'une réflexion philosophique dont on n'a pas encore vu toute la grandeur. Ce qui caractérise la pensée scientifique et philosophique du grand savant russe Vladimir Vernadsky (1863-1945), le père de la biogéochimie et du concept écologique global de la Biosphère, c'est une approche intégrée des sciences du vivant et des sciences de la terre, approche qui devait beaucoup à la tradition germanique (et romantique) de la «science humboldtienne» poursuivie par son maître Dokuchaev (le père de la pédologie) à Saint-Petersbourg. Cette approche holistique, qui privilégie le «tout» sur les parties, permit à Vernadsky d'anticiper aussi, parallèlement à Lotka aux Etats-Unis, le problème «bioéconomique» définie plus tard par le mathématicien, économiste et épistémologue Nicholas Georgescu-Roegen (Grinevald, 1977, 1980, 1987c).

Significativement, le petit livre de Vernadsky intitulé *Biosfera* (écrit à Paris en russe) fut publié à Leningrad en 1926, la même année que *Holism and Evolution* (développement d'un premier manuscrit inédit intitulé *Idea of the Whole*) de Jan Christiaan Smuts (1870-1950). Le holisme était en effet dans «l'air du temps» dans la pensée occidentale des années 1920, c'est-à-dire juste après la Grande Guerre, la première «guerre mondiale». C'est à cette époque que se situe l'âge d'or de l'écologie théorique, comme l'illustre notamment la publication, en 1925, du livre d'Alfred Lotka (1880-1949), *Elements of Physical Biology*, considéré lors de sa republication, en 1956, comme un classique de l'écologie. Emergeait alors, marginalement, mais au cœur même de la pensée scientifique la plus rigoureuse, une vision globale du «système Terre» (NASA, 1988) considéré comme le système écologique global, intégrant fonctionnellement tous les organismes vivants et le support géochimique et géo-physique du globe: concept «gaïen» (au sens de Lovelock) qui avait trouvé sa première expression scientifique notoire dans le *System of the Earth* du génial penseur écossais James Hutton (1726-1797), docteur en médecine, chimiste, fermier et agronome, avant de devenir le «natural philosopher» et le célèbre géologue que l'on sait.

System of the Earth est le texte (peu connu) d'une communication à la

James Hutton intitulé *Theory of the Earth*, dans lequel on trouve une remarquable anticipation du concept vernadskien des grands cycles naturels de la Biosphère. Hutton avait esquissé sa pensée «géophysique» dans sa thèse de médecine intitulée *Dissertation Physico-medico inauguralis de sanguine et circulatione microcosmi*, soutenue à l'Université de Leyde en 1749. Il n'était alors pas seul à spéculer sur l'analogie entre la circulation du sang dans le microcosme et le cycle de l'eau dans le macrocosme! Aujourd'hui, non sans un certain clin d'oeil provocateur, Lynn Margulis et James Lovelock aiment rappeler ces précédents historiques (retrouvés surtout dans la littérature sur l'histoire de la médecine!) restés longtemps sans avenir dans l'histoire des sciences (Grinevald, 1990b).

Confrontés aux problèmes des interactions complexes qui définissent la Nature, cette Biosphère (les deux termes sont pratiquement synonymes pour Vernadsky) dont nous faisons partie non seulement en tant qu'êtres vivants mais encore en tant qu'observateurs et êtres pensants (*Homo sapiens sapiens*), nous nous sentons aujourd'hui désemparés face à la crise écologique qui s'annonce (Grinevald, 1984b, 1985). Comme l'a bien souligné Jérôme Ravetz (in Clarke and Munn, eds., *Sustainable Development of the Biosphere*, IASA, 1986, p.421), c'est l'ignorance qui domine pour l'instant notre science de la Biosphère. D'où les multiples incertitudes du débat scientifique sur le changement climatique (IPCC, 1990). Nos outils d'analyse habituels sont manifestement inadéquats, notre vision trop étroite, notre mode de penser occidental usuel trop réductionniste et trop peu dialectique et synthétique. Ce qui nous fait cruellement défaut pour penser notre rapport à la nature, à l'échelle du globe qui est celle de la Biosphère, c'est une véritable épistémologie de la complexité, une approche non seulement inter-disciplinaire mais encore et surtout transdisciplinaire, capable d'introduire dans notre pensée la vision holistique (du grec *holos*, la totalité) de la Terre, cette ancienne conception organique de la Terre que notre modernité industrielle a perdue, que notre savoir moderne a systématiquement réduite en miettes. Plusieurs auteurs appellent désormais «écologie», ou mieux «écologie globale», cette nouvelle science systémique de la Biosphère dont le «macro-scope» (Odum, H., 1971) symbolise l'instrument d'observation privilégié.

4. Biosphère et développement économique de l'humanité

On parle de nos jours de «l'environnement global», sans bien se rendre compte que cette expression appartient encore au vieux paradigme mécaniste de la science occidentale, marquée par l'anthropocentrisme judéo-chrétien. Le terme d'environnement global ne traduit nullement le concept bien plus complexe de

nullement la Biosphère, qui n'a pas besoin de nous pour fonctionner! Bien au contraire, notre activité économique en perturbe les grands cycles biogéochimiques. Entre l'espèce humaine et la Terre, il y a une asymétrie fondamentale: c'est l'humanité qui appartient à la Terre, et non le contraire.

Dans *Le Contrat naturel*, Michel Serres (1990:60) écrit très justement:
«Oubliez donc le mot environnement, usité en ces matières. Il suppose que nous autres hommes siégeons au centre d'un système de choses qui gravitent autour de nous, nombrils de l'univers, maîtres et possesseurs de la nature.»

Dans son fameux discours de 1854, le chef indien Seattle déclarait:
«Nous savons au moins ceci: la terre n'appartient pas à l'homme; l'homme appartient à la terre. Cela, nous le savons. Toutes choses se tiennent comme le sang qui unit une même famille. Toutes choses se tiennent. Tout ce qui arrive à la terre, arrive aux fils de la terre. Ce n'est pas l'homme qui a tissé la trame de la vie: il en est seulement un fil. Tout ce qu'il fait à la trame, il le fait à lui-même.»

Cette sagesse peut se retrouver aussi bien chez Lucrèce que chez Saint François d'Assise (White, 1967). L'idéologie industrielle de la société contemporaine a refoulé cette sagesse traditionnelle des gens de la terre, des gens de la mer. Elle est désormais socialement indésirable. Nos écoles, nos églises, nos armées, nos partis, nos médias ne l'enseignent pas...

La révolution scientifique et philosophique de l'écologie globale, symbolisée par le concept de La Biosphère (sous-entendu de la planète Terre), implique l'abandon de notre vision anthropocentrique du monde (White, 1967) au profit du concept holistique de cette Biosphère qui est au coeur du message des grands naturalistes comme Vernadsky et G.E. Hutchinson (1948). Hélas, pour l'idéologie du progrès technique et du développement industriel, l'environnement n'est nullement perçu comme une «Biosphère» dont nous ne formons qu'une partie transitoire et totalement dépendante du «tout». Notre santé, c'est aussi la «santé», et donc l'homéostasie, du grand organisme de la Biosphère.

La science moderne n'est pas seule en cause. Notre perception et notre connaissance de la nature sont fondées, en Occident, sur une métaphysique de la séparation: l'Homme n'est pas le monde, parce que l'Homme, dans la tradition biblique, possède une parcelle de l'essence divine, alors que la Terre, simple support physique sans âme, a été créée pour être dominée, gérée comme on dit aujourd'hui, par l'Homme. La métaphore du «vaisseau spatial Terre» traduit bien l'idéologie occidentale de la

d'un vaisseau spatial! Mais, en effet, loin d'être associée à un organisme vivant plus important que nous, la Terre est considérée depuis l'aube de la pensée moderne de l'Occident comme une «machine». Et de nos jours, on pense que c'est à l'Homme de piloter cet engin planète-Terre: quel manque d'humilité! Désenchantée par la révolution mécaniste, la Terre n'a d'autre signification, pour notre culture occidentale moderne, militariste et urbano-industrielle, que d'être le théâtre de l'histoire humaine. Avec la révolution industrielle, la Terre est devenue un immense réservoir de ressources naturelles, dont l'exploitation est source de puissance militaire et de croissance économique.

L'idée de Biosphère, depuis Suess et Vernadsky, nous rappelle que non seulement tous les êtres vivants possèdent un *métabolisme*, c'est-à-dire un système physiologique d'échanges énergétiques et chimiques avec l'environnement, le «milieu cosmique» comme disait Claude Bernard, mais encore que la totalité organique de l'ensemble des êtres vivants forme un métabolisme global qui transforme la face de la Terre et au sens propre du terme en définit le visage dans le Cosmos. Du point de vue écologique, les êtres vivants se divisent, comme on sait, en deux groupes distincts: les autotrophes et les hétérotrophes. L'humanité, en tant qu'espèce zoologique, appartient à la catégorie des hétérotrophes (Vernadsky, 1925). Elle dépend ainsi pour sa nourriture de la production primaire des écosystèmes constituée par les plantes vertes (les vrais producteurs dans la Biosphère), lesquelles utilisent directement, grâce à la photosynthèse, l'énergie libre du rayonnement solaire. Ce sont les plantes vertes, comme on sait, qui assurent l'alimentation énergétique du biote dans la Biosphère. C'est ce que le botaniste russe Kliment A. Timiryazev (1843-1920) a appelé «la fonction cosmique des plantes». Comme les autres espèces animales, hétérotrophes, nous ne sommes que des consommateurs! Avec les bactéries, les plantes vertes forment l'essentiel de la biomasse dans la Biosphère. Sans son développement technologique et son expansion démographique (Meyer, 1974), l'espèce humaine ne pèserait pas lourd dans la Biosphère!

Globalement, l'ensemble du biote (dont les microorganismes forment une masse plus imposante encore que les végétaux!) ne représente qu'une très faible partie de la Biosphère, qui comprend aussi toute l'hydrosphère, la surface de la lithosphère (la pédosphère) et la partie la plus dense de l'atmosphère (peut-être, selon Vernadsky, jusqu'à la couche d'ozone de la stratosphère). C'est cet apparent paradoxe qui dérouta notre mode de pensée scientifique «arithmomorphe» comme dit Georgescu-Roegen, hérité de la révolution galiléenne. La science de la Biosphère ne peut se réduire à la science quantitative. La concentration du CO₂ dans l'atmosphère, de l'ordre actuellement de 0,03, nous semble bien faible en comparaison des 21% de

Il y a une *qualité* dans l'ordre biologique et biosphérique que la tradition galiléenne de notre pensée scientifique occidentale n'a pas encore pris l'habitude de considérer à sa juste valeur. Dans la mesure où elle doit intégrer les processus biologiques avec les processus géologiques, géophysiques et géochimiques, la nouvelle science de la Biosphère doit prendre en compte des aspects qualitatifs qui étaient jusqu'ici négligés par la tradition scientifique dominante. Les aspects quantitatifs n'en sont pas moins remarquables. Entre les organismes vivants et le milieu terrestre, l'interaction est proprement gigantesque. De plus, elle est non seulement réciproque mais encore cyclique, avec des échelles spatio-temporelles très diverses. Enzo Tiezzi (1984) a parfaitement raison d'insister sur ce décalage entre les «temps historiques» de la société et les «temps biologiques» de la nature. Cet ensemble biogéologique, à l'échelle du globe, est d'une complexité qui défie l'entendement humain. Cependant, depuis les années 1920, l'esprit scientifique imagine des modèles de ce vaste «système» que Vernadsky, Lotka et les écologistes les plus scientifiques nomment la Biosphère. L'écologie n'étudie pas l'interaction entre un organisme et son milieu, mais entre des communautés d'êtres vivants et un biotope, c'est-à-dire une portion particulière de la biogéographie mondiale. L'écologie globale étudie l'ensemble du vivant dans ses rapports avec la face de la Terre et les grands équilibres planétaires. Le système climatique global en est une partie essentielle. La météorologie et la climatologie sont désormais inséparables des autres sciences de la Terre et de la Vie. Il y a coévolution entre la vie et le climat, comme entre le vivant (le biote) et toutes les parties de la surface du globe terraqué. C'est cette interdépendance et cette unité de tous les phénomènes physiques, chimiques et biologiques de la surface de la Terre que souligne la notion de Biosphère telle que Vernadsky l'a définie dans les années 1920 et mieux encore dans son dernier livre posthume sur la Biosphère publié seulement à Moscou en 1965.

On se trompe en croyant que le concept d'écosystème précède celui de Biosphère. On parle de nos jours de l'écosystème ou encore de l'écosphère en lieu et place de la Biosphère. Cette confusion n'est pas seulement terminologique, elle illustre notre ignorance de l'histoire même du concept de Biosphère et tout particulièrement de l'immense œuvre de Vernadsky. Or, historiquement, le concept de Biosphère précède le concept d'écosystème. La tradition russe qui parle plutôt de biogéocénose dérive directement de Vernadsky. La filiation entre Vernadsky et l'écologie américaine des écosystèmes, comme je l'ai montré ailleurs (Grinevald, 1987, 1988, 1990a), est tout aussi évidente, quoique presque totalement oubliée de nos jours. Ecosystème est encore un concept réductionniste, un découpage analytique de la nature, de la Biosphère, parce que c'est à l'échelle planétaire de la Biosphère que se manifeste, par définition, la Vie terrestre.

Le physicien genevois Charles-Eugène Guye aimait dire: «c'est l'échelle d'observation qui crée le phénomène».

Lamarck, en 1802, dans son *Hydrogéologie*, avait déjà clairement défini la Biologie dans le cadre des «grands phénomènes» de la Théorie de la Terre:

«Ainsi toutes ces considérations partagent naturellement la physique terrestre en trois parties essentielles, dont la première doit comprendre la théorie de l'atmosphère, la Météorologie; la seconde, celle de la croûte externe du globe, l'Hydrogéologie, et la troisième enfin, celle des corps vivants, la Biologie.»

Vernadsky salua Lamarck comme un précurseur de ses idées biogéochimiques sur la Biosphère. Hélas, on déforma son propos et on attribua l'origine de la notion de Biosphère à Lamarck, ce qui est un anachronisme désastreux!

A l'échelle de la Biosphère, la Vie est un phénomène planétaire, qui possède une signification cosmologique. La Vie et la Terre sont deux phénomènes de même grandeur: l'histoire de la Vie est inséparable de l'histoire de la Terre en tant que planète du système solaire.

Dans la perspective bioéconomique fondée par Georgescu-Roegen, et anticipée par Vernadsky et Lotka (Grinevald, 1987c), l'activité économique de l'humanité, inséparable de son évolution technique «exosomatique», forme un véritable «métabolisme industriel» au sein des cycles biogéochimiques de la Biosphère. On commence tout juste à en prendre conscience. C'est cette perspective qui peut fonder la nécessaire réconciliation entre économie et écologie. En amont et en aval du processus économique de la société humaine, ce qu'on nomme l'environnement est un système clos dans lequel l'entropie croissante du second principe de la thermodynamique domine l'évolution globale qui inclut ce processus partiel qu'est l'activité économique de l'humanité. Ce faisant, il y a une dissymétrie fondamentale entre l'Homme et la Terre. En paraphrasant une conclusion de Claude LéviStrauss, on peut dire que la Biosphère a commencé sans l'homme et qu'elle s'achèvera sans lui. Oublier cette vérité première, comme le fait le mythe de la croissance économique illimitée, c'est croire au mouvement perpétuel (Georgescu-Roegen, 1976, 1979).

En d'autres termes, la Biosphère, ou Gaïa, ne compte nullement sur le génie occidental (cette technoscience dont nous sommes si fiers) pour survivre, comme par le passé, et c'est malgré d'incroyables catastrophes écologiques, à la surface de la planète Terre! Les implications de cette perspective «gaienne», ou biosphérique,

sur Terre, sont prodigieuses. Elles nous concernent tous, et plus particulièrement les ingénieurs, les entrepreneurs, les responsables politiques et les stratèges du développement économique!

Parmi les sciences humaines, la science économique (Georgescu-Roegen, 1970), de plus en plus abstraite et mathématique, héritière du mécanisme de l'école néo-classique et du modèle de l'équilibre général de Walras et Pareto (la fameuse «école de Lausanne»), forme un savoir (une théorie) dramatiquement séparé de l'environnement, c'est-à-dire des réalités *naturelles* de la Biosphère, dont dépend pourtant l'existence même du processus bio-économique de toute société humaine. L'Économique (comme on dit depuis que *l'économie politique* se veut la science de l'analyse économique, une économie analytique), est bien une culture, une vision du monde. Il s'agit d'une catégorie du savoir occidental moderne profondément enracinée dans l'épistémologie mécaniste de cette science classique de l'Europe pré-industrielle, et pré-carnotienne, qui ignore la théorie de la chaleur, la vie, l'irréversibilité du temps et l'entropie.

Malgré de nombreux raffinements récents, et de nombreuses querelles d'écoles, «l'économie d'intention scientifique», comme disait François Perroux, n'a pas connu d'autre révolution scientifique que celle de la «synthèse newtonienne», du paradigme mécaniste. Les théoriciens de la science économique prirent l'épistémologie mécaniste dominante du XIX^e siècle pour la rationalité scientifique par excellence, comme si la révolution thermodynamique, symbolisée par le nom de Sadi Carnot, et la révolution évolutionniste et écologique symbolisée par le nom de Darwin, n'avaient pas radicalement transformé la science occidentale.

Les considérations thermodynamiques et écologiques ne sont pas par hasard absentes de la conception «scientifique» (à vrai dire scientifiquement anachronique!) des théories modernes de la croissance économique. La pensée économique moderne, tout autant d'ailleurs que la pensée politique moderne, ignore la révolution carnotienne (la thermodynamique et sa loi de l'entropie). Elle en ignore les immenses implications cosmologiques, géophysiques, géochimiques, biosphériques et biologiques (Taton, ed., 1976; Melet, ed., 1982; Gool et Bruggink, eds., 1985; Wicken, 1987; Weber et al., eds., 1988). Et comme celui d'entropie, le concept de Biosphère est étranger à l'épistémologie mécaniste et atomiste de la science officiellement dominante. La pensée économique n'est donc pas seule en cause!

Dans la mesure où la problématique de la Biosphère s'intéresse, et doit s'intéresser, à la dimension économique, au «métabolisme industriel» de l'humanité, une réflexion critique sur la théorie du processus économique s'impose. Il faut réconcilier développement économique et Biosphère: on commence enfin à le dire (Clark and Munn, eds., 1986; Clark, 1988, 1989; Glassby, 1988; Ayres, 1989). Depuis une vingtaine d'années, l'immense travail épistémologique de l'hérétique Nicholas Georgescu-Roegen révolutionne notre manière de penser le développement technologique et économique. Malheureusement, les structures institutionnelles et idéologiques de l'establishment scientifique et universitaire sont encore tout aussi fermées à la révolution scientifique de la bioéconomie de Georgescu-Roegen qu'à celle de Vernadsky et de l'hypothèse Gaïa de Lovelock et Margulis.

La résistance de l'establishment académique aux thèses de Georgescu-Roegen ne ressemble-t-elle pas étrangement à l'accueil, en son temps, du génial mémoire (1924) de Sadi Carnot, considéré aujourd'hui comme l'acte de naissance de la thermodynamique, ou, un siècle plus tard, de la théorie «mobiliste» d'Alfred Wegener? Ne faut-il pas, aujourd'hui, se demander si la controverse qui accueille, après quinze ans d'indifférence «l'hypothèse Gaïa» (fantastique «retombée» intellectuelle de l'exploration de l'espace) ne relève pas de la même difficulté de la société occidentale moderne à accepter les découvertes scientifiques surprenantes qui bouleversent sa classique vision mécaniste du monde?

La convergence des travaux de Georgescu-Roegen avec ceux qui développent l'approche biogéochimique, énergétique et écologique globale fondée par Vernadsky et l'école de G.E. Hutchinson à Yale, est à mon sens tout à fait frappante, notamment si l'on prend au sérieux la perspective de «l'hypothèse Gaïa» soutenue depuis une vingtaine d'années par James Lovelock (avec des considérations thermodynamiques proches de celles de Georgescu-Roegen!).

Avec la perspective écologique globale, le développement économique est enfin perçu dans ses rapports avec le système climatique, la biogéographie et les cycles biogéochimiques de la Biosphère. Mais cette perspective holistique centrée sur le concept de la Biosphère implique une réforme profonde de nos institutions de recherche et d'enseignement, une réforme sans doute aussi fondamentale que celle qui donna naissance, dans l'Europe du début des «temps modernes», à cette activité sociale qu'on nomme la science moderne.

Références bibliographiques

- AYRES, R. U. (1989), «Le métabolisme industriel et les changements de l'environnement planétaire», *Revue internationale des sciences sociales*, 121, pp.401-412.
- BOTKIN, D. (1983), «Can there be a theory of global ecology», *Journal of Theoretical Biology*, 96, pp.95-98.
- (1985), «The need for a science of the Biosphere», *Interdisciplinary Science Reviews*, 10(3), pp.267-178.
- BOTKIN, D., ed. (1986b), *Remote Sensing of the Biosphere*, National Research Council, Washington, D.C., National Academy Press, 135p.
- BOUDYKO, M. (1980), *Ecologie globale*, trad. du russe, Moscou, Mir, 336p.
- BUNYARD, P. et E. GOLDSMITH, eds. (1988), *GAIA, The Thesis, the Mechanisms and the Implications*, Proceedings of the First Annual Camelford Conference on the Implications of the Gaia Hypothesis, Camelford, Cornwall, U.K., Worthyvale Manor, Wadebridge Ecological Centre, 251p.
- BUNYARD, P./E. GOLDSMITH, eds. (1989), *Gaia and Evolution*, Proceedings of the Second Annual Camelford Conference on the Implications of the Gaia Thesis, Camelford, Cornwall, U.K., Worthyvale Manor, Wadebridge Ecological Centre, 154p.
- CLARK, W. (1988), «The Human Dimensions of Global Environmental Change», in National Research Council, *Toward an Understanding of Global Change*, Washington, D.C., National Academy Press, pp.134-200.
- (1989), «L'écologie humaine et les changements de l'environnement planétaire», *Revue internationale des sciences sociales*, no 121 [«Réconcilier la sociosphère et la biosphère»], pp.349-382.
- CLARK, W./R. E. MUNN, eds. (1986), *Sustainable Development of the Biosphere*, Laxenburg, Austria, IIASA, Cambridge, Cambridge University Press, 491p.
- COLE, LaMont C. (1958), «The ecosphere», *Scientific American*, 198(4), pp.83-96.
- COMMONER, B. (1972), *L'encerclement: problèmes de survie en milieu terrestre*, trad. de l'américain (1971), Paris, Seuil, 300p.
- COSTANZA R./H. DALY, eds. (1987), «Ecological Economics», *Ecological Modelling*, 38, pp.1-190.
- DALY, H., ed. (1980), *Economics, Ecology, Ethics*, San Francisco, Freeman, 372p.
- EHRlich, P. R./J. P. HOLDREN/R. W. HOLM, eds. (1971), *Man and the Ecosphere*. Readings from Scientific American, San Francisco, Freeman, 307p.
- GEORGESCU-ROEGEN, N. (1970), *La Science économique: ses problèmes et ses difficultés*, trad. de l'anglais (1966), Paris, Dunod, 300p.

- (1976), *Energy and Economic Myths*, New York, Pergamon Press, 380p.
- (1978), «De la science économique à la bioéconomie», *Revue d'économie politique*, 88(3), pp.337-382.
- (1979), *Demain la décroissance: entropie, écologie*, préface de traduction d'Ivo Rens et Jacques Grinevald, Lausanne, Pierre-Marcel Favre, 154p.
- (1982), «La dégradation entropique et la destinée prométhéenne de la technologie humaine», *Entropie*, no hors série «Thermodynamique et sciences de l'homme», pp.76-86. [et in *Economie appliquée*, 1982, 35, pp.1-26.]
- (1986), «Man and production», in Mauro Baranzini et Roberto Scazzieri, eds., *Foundations of Economics*, Oxford, Basil Blackwell, pp.247-280.
- GILLARD, A. (1969), «On terminology of biosphere and ecosphere», *Nature*, 223, pp.500-501.
- GLASBY, G. (1988), «Entropy, pollution and environmental degradation», *Ambio*, 17(5), pp.330-335.
- GOOL, W. van/J. J. C. BRUGGINK, eds. (1985), *Energy and Time in the Economic and Physical Sciences*, Amsterdam, North-Holland, 389p.
- GRINEVALD, J. (1973), «Réflexions sur l'entropie», *Réseaux*, 20-21, pp.71-82.
- (1975), «Science et développement: esquisse d'une approche socio-épistémologique», *La pluralité des mondes*, Cahiers de l'I.E.D., 1, Genève, Paris, Presses universitaires de France, pp.
- (1976), «La révolution carnotienne: thermodynamique, économie et idéologie», *Revue européenne des sciences sociales et Cahiers Vilfredo Pareto*, 36, pp.39-79.
- (1977), «Révolution industrielle, technologie de la puissance et révolutions scientifiques», *La fin des outils*, Cahiers de l'I.U.E.D., 5, Genève, Paris, Presses universitaires de France, pp.147-202.
- (1980), «Le sens bioéconomique du développement humain: l'affaire Nicholas Georgescu-Roegen», *Revue européenne des sciences sociales et Cahiers Vilfredo Pareto*, 51, pp.59-75.
- (1982), «Le thermodynamique, la révolution industrielle et la révolution carnotienne», *Entropie*, no hors série «Thermodynamique et sciences de l'homme», pp.21-32.
- (1984b), «Entropologie: le catastrophisme en perspective», *Crise et chuchotements*, Cahiers de l'I.U.E.D., 15, Genève, Paris, Presses universitaires de France, pp.165-195.
- (1985), *Développement de la crise planétaire et catastrophisme de l'âge nucléaire: repérages bibliographiques, 1945-1984*, Genève, Institut universitaire d'études du développement, 205p.
- (1986), «The Biosphere, by V. Vernadsky», *Environmental Conservation*, 13(3), pp.285-286.
- (1987a), «Le développement de/dans la biosphère», *L'homme inachevé*, Cahiers de l'I.U.E.D., Genève, Paris, Presses universitaires de France, pp.2944.
- (1987b), «On a holistic concept for deep and global ecology: The Biosphere», *Fundamenta Scientiae*, 8(2),

- (1987c), *Vernadsky and Lotka as Source for Georgescu-Roegen's Bioeconomics*, paper presented at the 2nd Vienna Centre Conference on Economics and Ecology, Barcelona, Espagne, 26-29 septembre 1987, inédit
- (1988), «Sketch for a history of the idea of the Biosphere», in P. Bunyard et E. Goldsmith, eds., *GAIA, the Thesis, the Mechanisms and the Implications*, Camelford, Cornwall, U.K., Wadebridge Ecological Centre, pp.1-32.
- (1989a), *The Industrial Revolution and the Earth's Biosphere: A Scientific Awareness in Historical Perspective. Selected bibliographical notes*. Paper delivered at ProClim Workshop 4, Berne, Swiss Academy of Sciences, Genève, IUED, 86p.
- (1989b), «Safeguarding the Biosphere», *Peace Review*, 1(2), pp.27-32.
- (1990a), «A propos de la naissance de l'écologie», *Bibliothèque naturaliste*, Centre de documentation écophilosophique, Sigoyer, F-04200 Sisteron, 10, pp.5-12.
- (1990b), «L'effet de serre de la Biosphère: de la révolution thermo-industrielle à l'écologie globale», *Stratégies énergétiques, Biosphère et Société*, 1, pp.9-34.
- (1990c), «L'écologie contre le mythe rationnel de l'Occident: de la diversité dans la nature à la diversité des cultures», in *Le pensée métisse*, Cahiers de l'I.U.E.D., Genève, Paris, Presses universitaires de France, pp.195-212.
- (1990d), «The Greening of Europe», *Bulletin of Peace Proposals*, 21(4), pp.413-419.
- HUTCHINSON, G. E. (1948), «On living in the Biosphere», *Scientific Monthly*, 67, pp.393-398.
- (1965), «The Biosphere or volume in which organisms actually live», in *The Ecological Theater and the Evolutionary Play*, New Haven, Yale University Press, chap.1, pp.1-26.
- HUTCHINSON, G. E., ed. (1970), *The Biosphere*, A Scientific American Book, San Francisco, Freeman, 134p.
- IPCC (1990), *Climate Change: The IPCC Scientific Assessment*, WMO UNEP, Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge, Cambridge University Press, 364p.
- LAPO, A. (1987), *Traces of Bygone Biospheres*, (trad. du russe) Moscou, Mir, 2e éd., 352p.
- LIETH, H./R. H. WHITTAKER, eds. (1975), *Primary Productivity of the Biosphere*, Berlin, New York, Springer-Verlag, 345p.
- LOVELOCK, J. (1986), *La Terre est un être vivant*, trad. de l'anglais (1979), Monaco, Le Rocher, 184p.
- (1990), *Les Ages de Gaïa*, trad. de l'anglais (1988), Paris Robert Laffont, 292p.
- MALONE T./J. ROEDERER, eds. (1985), *Global Change*. Proceedings of a Symposium sponsored by the ICSU during its 20th General Assembly Ottawa, Canada, on September 25, 1984, Paris, ICSU Press, Cambridge University Press, 512p.
- MARTINEZ-ALIER, J. (1987), *Ecological Economics*, Oxford, Blackwell, 286p.

- MELET, R., ed. (1982), «Thermodynamique et sciences de l'homme», colloque international tenu à Créteil et à Paris, 22-23 juin 1981, *Entropie*, numéro hors série, 103p.
- MEYER, F. (1974), *La surchauffe de la croissance. Essai sur la dynamique de l'évolution*, Paris, Fayard, «Ecologie», 140p.
- NASA (1988), *Earth System Science: Closer View*, Washington, D.C., NASA, 208p.
- NICHOLSON, M. (1973), *La révolution de l'environnement*, trad. de l'anglais (1970), Paris, Gallimard, 464p.
- NRC (NATIONAL RESEARCH COUNCIL) (1983), *Toward an International Geosphere-Biosphere Program: A Study of Global Change*, Washington, D.C., National Academy Press, 81p.
- NRC (1986a), *Global Change in the Geosphere-Biosphere*, Washington, D.C., National Academy Press, 91p.
- NRC (1988), *Toward an Understanding of Global Change*, Washington, D.C., National Academy Press, 213p.
- OCDE (1976), *Science, Technologie et Maîtrise des Problèmes Complexes*, Paris, OCDE, 145p.
- ODUM, E. (1971), *Fundamentals of Ecology*, Philadelphia, W.B. Saunders, (1953)3e éd., 574p.
- ODUM, H. (1971), *Environment, Power and Society*, New York Wiley-Interscience, 331p.
- POLUNIN, N. (1984), «Genesis and Progress of the World Campaign and Council For The Biosphere», *Environmental Conservation*, 11(4), pp.293-298.
- POLUNIN, N./J. GRINEVALD (1988), «Vernadsky and Biospherical Ecology», *Environmental Conservation*, 15(2), pp.117-122.
- PRIGOGINE, I./I. STENGERS (1979), *La Nouvelle Alliance: métamorphose de la science*, Paris, Gallimard, 305p.
- RAMBLER, M. B./L. MARGULIS/R. FESTER, eds. (1989), *Global Ecology: Towards a Science of the Biosphere*, San Diego, Academic Press, 204p.
- SERRES, M. (1990), *La contrat naturel*, Paris, François Bourin, 191p.
- SCHNEIDER, S. (1989), *Global Warming: Are We Entering the Greenhouse Century?*, San Francisco, Sierra Club Books, 317p.
- SCHOPF, J. W., ed. (1983), *Earth's Biosphere: Its Origin and Evolution*, Princeton, Princeton University Press, 543p.
- SNYDER, T. P., ed. (1985), *The Biosphere Catalogue*, The Institute of Ecotechnics, London, Synergetic Press, 240p.
- SOUTHWICK, Ch. H., ed. (1985), *Global Ecology*, Sunderland, Mass., Sinauer, 323p.
- TIEZZI, E. (1984), *Tempi storici, tempi biologici*, Milano, Garzanti, 224n.

- VERNADSKY, V. (1924), *La Géochimie*, Paris, Félix Alcan, 404p.
- (1925), «L'autotrophie de l'humanité», *Revue générale des sciences*, 36, pp.495-502.
- (1929), *La Biosphère*, Paris, Félix Alcan, 232p.
- (1945a), «The Biosphere and the Noosphere», *American Scientist*, 33(1), pp.1-12.
- (1945b), «La biogéochimie», *Scientia*, 77-78, pp.77-84.
- WEBER, B. H./D. J. DEPEW/J. D. SMITH, eds. (1988), *Entropy, Information, and Evolution. New Perspectives on Physical and Biological Evolution*, Cambridge, Mass., London, MIT Press, 376p.
- WHITE, L. (1967), «The Historical Roots of Our Ecologic Crisis», *Science*, 155, pp.1203-1207 (trad. française: *Les racines historiques de notre crise écologique*, traduction et dossier établis par J. Grinevald, à paraître).
- WICKEN, J.S. (1987), *Evolution, Thermodynamics, and Information: Extending the Darwinian Program*, New York, Oxford, Oxford University Press, 243p.

- Externe Effekte im Umweltbereich: Ansatzpunkt für eine "internalisierungsorientierte Regionalpolitik" zugunsten von Berg- und Randregionen (*Daniel Wachter*) 229

IV. SCHWERPUNKT STAAT, RECHT UND GESELLSCHAFT

- Umweltschutz als Verfassungsgebot (*Reiner Schmidt*) 241
- Das ökologische System im gesamtgesellschaftlichen Prozeß (*Manfred Timmermann*) 255

AUTORENHINWEISE 279

HINWEISE ZUM 'ZENTRUM FÜR INTER- UND TRANSDISZIPLINÄRE LEHRE'(ZITAL) UND 'KURT-BÖSCH-INSTITUT' (IKB) 287

PERSONENREGISTER 291

* französisch