

**Sommaire**

**1**

Developmentalism

*R. Loveridge*

**14**

La désagrégation du couple :  
une analyse sociologique de la fin d'une relation

*M. Ayache*

**22**

La terre en-vie ou la Gaia scienza

*A. Jeunemaitre*

**34**

Qu'est-ce qu'un dispositif ?

-Agamben, Foucault et Irénée de Lyon dans leurs rapports avec la gestion-

*H. Dumez*

**39**

La soutenance de thèse ailleurs

*H. Dumez*

**43**

Vient de paraître

**45**

Prochain séminaire AEGIS

Les autres articles de ce numéro & des numéros antérieurs sont téléchargeables à l'adresse :

<http://erg.polytechnique.fr/v2/aegis.html#libellio>

---

## La terre en-vie ou la Gaia scienza

Dans un article de 2008, paru dans *International Biology*, Sir Crispin Tickell<sup>1</sup> un des premiers à avoir publié sur le changement climatique à la fin des années 1970 (Tickell, 1977), passe en revue la théorie de l'évolution (Tickell, 2008). Elle s'est structurée autour de l'important travail de Charles Darwin sur l'origine des espèces publié en 1859. Le titre lui-même *On the Origin of Species by Means of the Natural Selection or The Preservation of Favoured Races in the Struggle for Life* fait référence à l'idée de sélection naturelle, de lutte pour la survie. L'évolution se produit sur une terre qui offre des ressources pour des espèces qui cherchent à s'affirmer.

Comme le souligne Sir Crispin, il aura fallu attendre le milieu du 19<sup>ème</sup> siècle pour qu'une telle représentation émerge, malgré les réflexions scientifiques de Lamarck ou de Cuvier quelques décennies plus tôt, sur l'âge de notre planète. Il y ajoute celles de James Hutton à la fin du 18<sup>ème</sup> siècle qui ne voyait '*no vestige of a beginning*' and '*no prospect of an end*' à propos de notre planète, ou de Thomas Huxley qui expliquait que la complication à s'attaquer à la question de l'évolution venait d'une barrière infranchissable qui se résumait à '*No Thoroughfare. By Order of Moses*' (On ne passe pas. Ordre de Moïse).

Citant les précurseurs qui auront eu tort de se poser des questions ou d'avoir eu raison trop tôt, comme Alfred Wegener qui avait identifié le mouvement des plaques tectoniques au travers de la dérive des continents, mais qui, mort en 1930, n'aura pas vu de son vivant ses idées acceptées, Crispin Tikell en vient à un exemple plus récent, celui de la *Gaia theory*. La théorie, hypothèse et métaphore, considère la terre comme un système auto-régulé poursuivant sa propre survie. La terre aurait pour finalité son maintien en tant que planète assurant la vie, éclairant notre relation avec l'évolution d'un jour nouveau.

La référence faite à Gaia dans l'article de Crispin Tickell ajoute une pièce supplémentaire à la théorie de l'évolution, à la compréhension de notre devenir en tant qu'espèce. Son insistance sur l'hypothèse Gaia ne tient cependant pas du hasard. Il existe une relation forte entre Crispin Tickell et James Lovelock, auteur de la théorie. Il est le préfacier de son livre (Lovelock, 2006). Au travers du renouvellement de la perspective, il s'agit donc de comprendre les origines de la théorie, son contenu, d'en discuter sa pertinence et implications possibles pour la société humaine.

James Lovelock, scientifique qui a publié dans des journaux académiques de bio et géophysique ainsi que de médecine (il a obtenu un diplôme en médecine tropicale à Londres en 1948 avant de rejoindre Harvard) a donné dans *Nature* un récit de l'emprunt au concept de Gaia pour exprimer que la terre que nous habitons serait

dotée de ses propres buts, en particulier celui de maintenir les conditions pour que la vie existe en elle<sup>2</sup> (Lovelock, 2003).

Lovelock considère comme point de départ des chimistes placés dans l'espace qui analyseraient la composition de l'atmosphère terrestre. Leur conclusion serait simple. La terre est la seule planète du système solaire à connaître la présence de carbone, à avoir une civilisation industrielle. Il existe du méthane et de l'oxygène dans la haute atmosphère, continuellement consommés et remplacés, l'inverse d'une chimie qui aurait arrêté son évolution. La planète que nous habitons pourrait être en quelque sorte une entité vivante qui aurait su, malgré l'accroissement de la luminosité du Soleil (30% depuis sa formation), s'adapter pour protéger la vie au travers de millions d'années en maintenant un intervalle de température à peu près constant en moyenne à sa surface de 11 à 16°C. Sur ces bases, l'hypothèse que fit Lovelock fut de dire que les organismes vivants régulaient l'atmosphère dans leur propre intérêt. Le romancier William Golding lui suggéra d'associer à cette hypothèse le nom de Gaia.

Il est à noter que ce questionnement sur la vie et le rapprochement avec le comportement de la terre furent dans un certain sens organisés. Les discussions scientifiques avaient toujours existé autour de ces sujets, mais le déclencheur peut sans doute être situé au milieu des années 1960 lorsqu'un programme d'exploration scientifique est mis sur pied par la NASA, centré sur les conditions d'existence de la vie sur Mars et auquel James Lovelock participa. Parmi les retombées de ce



*Ci-dessus*

*Partie centrale d'une grande mosaïque de sol provenant d'une villa romaine de Sentinum (actuelle Sassoferrato en Ombrie), v. 200 -250 ap. J.-C. Éon (Aïôn), dieu de l'éternité, est représenté dans une orbe céleste constellée des signes zodiacaux, entre un arbre vert et un arbre dégarni (été et hiver). À ses pieds la terre-mère Tellus (Gaia romaine) avec quatre enfants, les quatre saisons personnifiées (?).*

programme, il y eut un article publié en 1974 avec Lynn Margulis sur l'homéostasie (la capacité d'un système à se maintenir à un certain état d'équilibre dans des conditions extérieures qui changent) de l'atmosphère terrestre (Lovelock & Margulis, 1974).

L'article prend comme point de départ l'hypothèse d'une terre planète morte. Que se passerait-il sans la vie sur terre ? Lovelock observe que les réponses du système océan / atmosphère à de petits changements, tel que la luminosité solaire ne sont pas linéaires. En l'absence de toute forme de vie, une petite modification conduisant à un abaissement de la température aurait pour effet d'entraînement un refroidissement accéléré, une glaciation allant en augmentant, une planète glacière morte en quelque sorte. Ou

encore, en supposant que la terre fut formée à une orbite légèrement plus proche du soleil, à composition atmosphérique telle que nous la connaissons, la température serait allée en s'accroissant. Sans vie, l'oxygène et l'azote auraient produit des quantités d'acide nitrique absorbées par les océans sous forme de nitrate ionisé, laissant penser à un état végétatif possible entre Mars et Vénus. La terre en tant que système ne serait donc pas une planète morte mais en raison de l'existence même de la vie, une planète vivante. Le résumé de l'article donne une idée de la direction de pensée :

*“The atmosphere of the earth differs greatly from that of the other terrestrial planets with respect to composition, acidity, redox potential and temperature history predicted from solar luminosity. From the fossil record it can be deduced that stable optimal conditions*

*for the biosphere have prevailed for thousands of millions of years. We believe that these properties of the terrestrial atmosphere are best interpreted as evidence of homeostasis on a planetary scale maintained by life on the surface. Some possible mechanisms of this biological homeostasis have been noted and the implications of this concept for experimental studies pointed out."*

Ainsi, la terre conserverait à sa surface des conditions toujours favorables à la vie quelle que soit la composition de la vie, son 'biota' (la collection des organismes qui compose cette vie même, des micro-organismes aux espèces comme l'homme). La planète elle-même chercherait à maintenir des conditions propices pour que la vie puisse se maintenir. Une telle hypothèse offre une nouvelle vue sur la théorie de l'évolution. En particulier, le processus de sélection naturelle ne serait pas seulement basé sur la capacité des meilleurs à survivre dans un environnement donné mais serait lié à une interdépendance entre les organismes vivants et les conditions climatiques. A l'extrême, le processus de sélection naturelle ne serait pas forcément une condition nécessaire pour que la planète se régule et maintienne les conditions de la vie. Pour comprendre l'importance de la perspective, James Lovelock prend l'exemple des rejets de tout organisme –dont la planète garde les traces (ce qui ne se trouve pas sur Mars même à l'état fossile) et que la planète recycle. Les mammifères rejettent de l'azote dans leur urine sous forme d'un composant qui se disperse dans la terre, qui devient un ferment pour d'autres organismes et les plantes. Une façon plus commode de sélection naturelle basée sur la recherche de son propre intérêt – hypothétiquement, si l'on exclut toutes les difficultés– aurait pu être de rejeter l'azote directement dans l'atmosphère sous forme de gaz, évitant bon nombre de complications. Mais dans ce cas, les espèces n'auraient pas bénéficié de l'abondance des plantes en tant que nourriture.

Dès lors, s'il est juste de dire que les espèces se font concurrence pour leur survie dans un environnement donné, même évolutif, il est trompeur de réduire le processus à un mécanisme simple de sélection où le plus performant survit, notamment en raison des interdépendances qui relient tous les organismes vivants, et ceux-ci au climat.

Au cours des années 1980s, des recherches se sont poursuivies pour essayer de comprendre les mécanismes de contrôle sous-jacents à notre planète en tant que système stable. En 1981, en particulier, James Lovelock développa un modèle *Daisyworld* cherchant à conjuguer l'idée d'évolution, de sélection naturelle, avec celle de la planète se régulant pour rester hospitalière.

*Daisyworld* est un monde imaginaire, une planète qui tourne autour d'une étoile, son soleil. La vie –'le biota'– se réduit à deux plantes, noires et blanches qui diffèrent seulement dans leur capacité à réfléchir les radiations solaires. De ce fait, la température locale change là où elles se trouvent. La planète elle-même a une surface qui a un certain degré d'absorption et de réflexion de la lumière, la chaleur à sa surface se distribuant entre les marguerites noires et blanches, les premières étant toujours plus chaudes que leur environnement, les secondes toujours plus froides. La planète a un niveau d'effet de serre négligeable, de telle sorte que sa température à la surface est pratiquement déterminée par son niveau de réfléchissement aux radiations solaires, et donc par son degré d'absorption du rayonnement lumineux. Il existe pour les deux plantes une température identique optimale pour leur croissance. Passé un seuil, elles ne se développent plus. En dynamique, les marguerites noires,

sous des conditions initiales de faible rayonnement, sont plus chaudes et accroissent la température localement. Elles commencent par dominer et croissent plus vite (fonction de la température), réchauffant la planète. Au fur et à mesure que la luminosité du soleil s'accroît, leur croissance ralentit en raison du réchauffement local, les marguerites blanches prennent alors petit à petit l'ascendant en refroidissant la planète puisqu'elles émettent moins de chaleur tout en réfléchissant plus de lumière. Quand seules les blanches restent, la planète se réchauffe. Le modèle simplifié montre ainsi des boucles de rétroaction positive et négative qui régulent la température de la planète<sup>3</sup> (Lenton & Lovelock, 2000).

*“The Daisyworld model demonstrates that self-regulation of the global environment can emerge from competition amongst types of life altering their local environment in different ways. Robertson & Robinson (1998. J. theor. Biol. 195, 129-134) presented what they describe as a Darwinian Daisyworld in which the ability of organisms to adapt their internal physiology in response to environmental change undermines their ability to regulate their environment. They assume that there are no bounds on the environmental conditions that organisms can adapt to and that equal growth rates can potentially be achieved under any conditions. If adaptation could respond sufficiently rapidly to changes in the environment, this would eliminate any need for the environment to be regulated in the first place, because all possible states of the environment would be equally tolerable to life. However, the thermodynamics, chemistry and structure of living organisms set bounds on the range of environmental conditions that can be adapted to. As these bounds are approached, environmental conditions limit growth rate, and adaptations necessary for survival can also cost energy. Here we take account of such constraints and that environmental regulation is recovered in the Daisyworld model. Hence, we suggest that constraints are an important part of a self-regulating planetary system.”*

Dépassant le caractère réductionniste du modèle de base, des travaux ont cherché à comprendre l'évolution des cycles chimiques entre l'atmosphère, le vivant, l'écorce terrestre (rôle des algues, de la dissolution des substances chimiques par la pluie sur les roches, etc.), la réflexion à la lumière. A la fin des années 1980, comme le résume James Lovelock dans *Nature* :

*“there was sufficient evidence, models and mechanisms, to justify a provisional Gaia theory. Briefly, it states that organisms and their material environment evolve as a single coupled system, from which emerges the sustained self-regulation of climate and chemistry at a habitable state for whatever is the current biota.”*

Pour autant, la perspective fut –et reste en partie– loin de faire l'unanimité parmi les scientifiques, même si les positions de la communauté ont évolué en même temps que la théorie s'affinait et que certaines prédictions se réalisaient (notamment la fonte des glaces aux pôles). La difficulté de la théorie tient à la métaphore d'une terre vivante ayant ses propres fins (téléologie) indépendamment du renouvellement de ses habitants. Elle tient aussi à sa puissance qui peut prêter lieu à toute récupération d'ordre politique et religieux, enfin, sur le plan scientifique, à la difficulté ou non à falsifier l'hypothèse de départ tellement sont nombreux les paramètres et variables mis en jeu. La définition que donne James Lovelock à propos de la théorie Gaia :

*“A view of the Earth that sees it as a self-regulating system made up from the totality of organisms, the surface rocks, the ocean and the atmosphere tightly coupled as an evolving system. The theory sees this system as having a goal –the regulation of surface conditions so as always to be as favourable as possible for contemporary life. It is based on observations and theoretical models, it is fruitful and has made ten successful predictions”. (p.208)*

Les prédictions ont été résumées par Lovelock dans le journal *Nature*

Table 1 Some predictions from Gaia

Prediction (year)	Test and result
Mars Lifeless from atmospheric evidence (1968).	Viking Mission (1977). Strong confirmation.
That elements are transferred from the ocean to the land by biogenic gases (1971).	Dimethyl sulphide, dimethyl selenide and methyl iodide found (1973, 2000).
Climate regulation through biologically enhanced rock weathering (1981).	Microorganisms found greatly to increase the rate of rock weathering.
That Gaia is aged (1982).	Generally accepted.
Climate regulation through cloud albedo control linked to algal gas emissions (1987).	Still under test.
Archaean atmospheric chemistry dominated by methane (1988).	Still under test but tending to be accepted.
Oxygen has not varied from $21 \pm 5\%$ for the past 200 million years (1989).	Still under test.
Boreal forests regulate their regional climate in a Daisyworld manner (1988).	Now part of global climate modeling.
Biodiversity is a necessary part of planetary self-regulation (1992).	Tested by models, but not yet in the field.
That the current interglacial is an example of system failure in a physiological sense (1996).	Still controversial.

Malgré une perspective basée sur des prémisses scientifiques ainsi que la formulation de prédictions à partir de l'hypothèse générale, la théorie a souffert dès son origine du caractère imagé qu'entraînait son utilisation ainsi que de son –inévitabile– rapport aux croyances.

Le point de vue pourrait se résumer ainsi. Les religions, les théories sur l'évolution sont dangereuses dans la

mesure où elles nous empêchent de considérer la planète, notre planète comme un tout, et en particulier les liens qui unifient le système vivant (des micro-organismes aux espèces développées) et leur habitat, ces liens étant de nature symbiotique et s'inscrivant dans une dynamique d'évolution avec un méta-organisme, la planète elle-même. Il ne faudrait donc pas tant s'attarder sur la collection des différentes parties que sur la connaissance du fonctionnement du tout, toute chose déjà connue en cybernétique et dans l'analyse des systèmes, mais approche reprise ici pour le compte de la planète terre. Ce qui donne, lorsque la métaphore est poussée dans son sens religieux, dans *The Ages of Gaia* de James Lovelock.

*“What if [Mother] Mary is another name of Gaia ? Then her capacity for virgin birth is no miracle or parthenogenetic aberration; it is the role of Gaia since life began. Immortals do not need to reproduce an image of themselves; it is enough to renew continuously the life that constitutes them. Any living organism a quarter as old as the Universe itself and full of vigor is a near immortal as we ever need to know. She is of this Universe and, conceivably, a part of God. On Earth she is the source of life everlasting and is alive now; she gave birth to humankind and we are part of her” (Lovelock, 1988).*

Mais il s'agit également, et plus profondément du scientifique comme spectateur engagé pour reprendre le titre du livre de Raymond Aron (Aron, 1981). Un de ces scientifiques engagés fut Stephen Schneider, organisateur de la première conférence Chapman qui se déroula en mars 1988 à San Diego avec pour thème une discussion sur l'hypothèse Gaia. Lorsqu'elle eut lieu, de nouvelles connaissances étaient venues nourrir la théorie comme le lien entre les algues, leur développement, leurs émissions gazeuses, et le climat.

La conférence reçut l'hypothèse Gaia avec scepticisme. Le modèle *Daisyworld* était rudimentaire, l'hypothèse reprenait également le résultat de travaux connus ou de points de vue existants, mais sous une trame évolutionniste dont beaucoup pensaient qu'ils ne pouvaient relever que de la spéculation intellectuelle. James Lovelock lui-même dut reconnaître qu'il s'agissait de distinguer ce qui relevait de la métaphore de l'étude scientifique d'un système en évolution. Les deux conférences suivantes furent organisées en 2000 et 2006 soulignant l'importance de l'approche dans les problèmes environnementaux.

Sans doute James Kirchner a-t-il le mieux distingué les différents contenus que l'on pouvait prêter à l'approche. Il le fit dans un article de 1989 puis un de 1990 discutant la possibilité de tester et falsifier la théorie, puis en 2002 dans un numéro spécial de *Climatic Change* consacré à l'hypothèse Gaia. Son article « The Gaia hypothesis : fact, theory, and wishful thinking » (Kirchner, 2002) invite à dépasser l'opposition

stérile entre les tenants de la découverte révolutionnaire, et ceux qui ne voient là qu'une belle histoire, plus amusante qu'informatrice, sans qu'il y eut jamais vraiment de dialogue entre les deux camps. Les tenants se sont évertués à multiplier les publications pour convaincre alors que les détracteurs les prenaient de haut, répondant sans vraiment les considérer sérieusement.

Kirchner considère que la Gaia Theory véhicule à la fois des idées que les scientifiques les plus en pointe peuvent considérer comme allant de soi, à des notions que la majorité d'entre eux pourraient pour le moins penser excentriques. Il distingue les différentes formes que prend l'hypothèse comme suit :

*“The weak forms of the Gaia hypothesis hold that life collectively has a significant effect on Earth’s environment (‘Influential Gaia’), and that therefore the evolution of life and the evolution of its environment are intertwined, with each affecting the other (‘Co-evolutionary Gaia’). I argued that abundant evidence supports these weak forms of Gaia, and that they are part of a venerable intellectual tradition (Spencer, 1844; Huxley, 1877; Hutchinson, 1954; Harvey, 1957; Holland, 1964; Sillen, 1966; Schneider & Londer, 1984).*

*By contrast, the strongest forms of Gaia depart from this tradition, claiming that the biosphere can be modelled as a single giant organism (‘Geophysiological Gaia’) or that life optimizes the physical and chemical environment to best meet the biosphere’s needs (‘Optimizing Gaia’). I argued that the strong forms of Gaia may be useful as metaphors but are un-falsifiable, and therefore misleading, as hypotheses (Kirchner, 1989).*

*Somewhere between the strongest and the weakest forms of Gaia is ‘Homeostatic Gaia’, which holds that atmosphere-biosphere interactions are dominated by negative feedback, and that this feedback helps to stabilize the global environment. I argued that if one defines it carefully enough, Homeostatic.*

*Gaia may be testable, but I also pointed out that there was abundant evidence that the biota can also profoundly destabilize the environment.”*

Ce point de vue, déjà exprimé en 1989, Kirchner se propose de le reprendre par rapport aux derniers développements scientifiques. En effet comme il le rappelle, les partisans de la forme extrême qui impute une finalité, un sens à la biosphère se sont réorientés vers l'étude de la régulation de la planète et son rapport aux mécanismes de sélection naturelle, abandonnant quelque peu la représentation de départ.

Pour reprendre l'expression de Stephen Schneider (2002), l'hypothèse Gaia peut se résumer à une controverse sur le degré auquel la vie contrôle l'environnement de la terre, avec cette difficulté inhérente des termes. Que doit on comprendre dans 'la vie' (Capra, 2007), 'le contrôle de l'environnement', 'un système auto-régulé', et 'le bénéfique pour la vie' ?

Dans cette controverse, Kirchner expose la difficulté à tester la validité de l'hypothèse de départ, c'est-à-dire d'une terre qui chercherait et parviendrait à se maintenir en équilibre pour assurer des conditions bénéfiques pour la vie. Dans la perspective d'un système planétaire, le système terre-vie, l'interaction avec la biosphère et le climat sont déterminants. Il existe des boucles d'action et de rétroaction qui peuvent être positives (accroissement des effets *-positive feedbacks*) ou négatives (action contraire *-negative feedbacks*). Les analyses sont fondées sur la connaissance des réponses biologiques à des changements environnementaux appuyés par des simulations sur ordinateur. Il est ainsi possible de se faire une idée des mécanismes conduisant au rejet plus ou moins important de carbone dans l'atmosphère qui aboutit à l'effet de serre.

L'idée de boucle de rétroaction peut être donnée par un exemple. Imaginons une température qui s'accroît sur terre. Elle conduirait à un plus grand nombre de feux de forêts, au remplacement des arbres anciens par de plus jeunes plus petits avec un accroissement de carbone dans l'atmosphère, en raison d'une moindre capacité d'absorption (*positive feedback*). En même temps, un réchauffement peut conduire à la sécheresse, la désertification, accroître le capacité de réfléchissement de la planète et la concentration de poussière dans l'atmosphère, d'où une protection de la chaleur solaire (*negative feedback*).

Il est ainsi possible de jouer avec un grand nombre de boucles d'action et de rétroaction qui vont dans un sens positif ou négatif. Ces boucles elles-mêmes ne sont pas connues de façon exhaustive. Dès lors, pour Kirchner, d'une part, l'idée de finalité d'un système qui tendrait à se maintenir à l'équilibre est impossible à tester scientifiquement, d'autre part, rien ne dit que les *negative feedbacks* soient nécessaires ou même spécifiques à la stabilisation.

Dans ce jeu de la stabilisation, la perspective qu'introduit l'hypothèse Gaia consiste à dire que le système terre s'autorégule pour favoriser la vie au travers de boucles de rétroaction qui jouent en tant que résultat d'un processus de sélection naturelle. La perspective opposée consiste à affirmer que la sélection naturelle n'a pas de but en soi, qu'il n'existe pas de direction à l'évolution excepté un mécanisme de reproduction qui passe ses propriétés de génération en génération et qui peut améliorer ou détruire l'environnement pour autant qu'il existe pour les espèces vivantes un avantage à cette même reproduction.

La controverse s'est enrichie d'une réponse argumentée dans le même journal *Climate Change* de deux scientifiques, Timothy Lenton et David Wilkinson (2003). Les auteurs insistent sur trois représentations possibles du lien système terre-vie :

1. c'est un pur hasard, si la vie a survécu sur Terre ; il n'existe pas de mécanismes de rétroactions ; terre-vie ; le couple a joué brillamment au casino de la fortune, la terre n'est pas un système autorégulé ;
2. la terre a été chanceuse, la présence de la vie est due à des mécanismes de rétroaction qui ont conduit à leur persistance et à un système qui s'est révélé régulé ;
3. il existe sur cette planète une vie abondante sur longue période, avec des boucles de rétroaction, ce qui laisse à penser à un système de régulation dans la relation terre-vie-environnement tel que lorsqu'il entre dans une phase de transition, le système cherche à retourner à un état d'équilibre *-i.e.* en particulier, le maintien d'une température moyenne stable permettant la vie.

La réponse à Kirchner sur l'état d'équilibre de la planète, que l'on introduise le hasard, la chance ou la probabilité d'un système de régulation, renvoie à l'idée de transition et de retour à un état d'équilibre. La transition peut en effet se comprendre comme un état entre deux équilibres ou comme un état de retour à un certain type d'équilibre. Les phases de transition elles-mêmes sont délicates à interpréter. En particulier, elles s'inscrivent dans des horizons temporels. L'échelle de temps dont il est question dans la théorie se situe sur trois milliards et demi d'années. La falsification de la théorie sur des périodes courtes, un nombre de siècles ne signifie pas la falsification sur le plus long terme, certaines boucles de rétroaction ayant de cycles de l'ordre du million d'années. Ainsi les phases de transition ne permettent pas d'infirmier l'hypothèse générale qui soutient que la vie accroît la résistance de la terre

et que les effets rétroactifs qui ont maintenu la terre dans un certain état d'équilibre se sont trouvés renforcés du fait même de l'existence de la vie. Cette hypothèse introduit une question supplémentaire qui est celle du lien entre l'adaptation et l'environnement.

*“Adaptation of the organism to suit the environment and alteration of the environment to suit the organism both result in a good match between organisms and their environments. Thus it is not obvious whether organisms are flourishing primarily because of their impact on the environment or primarily because they have adapted to the environmental conditions that they have partly created”.* (p. 8)

En ces termes on ne peut étudier le processus que lorsque le système est perturbé ou s'éloigne de l'état d'équilibre. Dans cette perspective :

*“A system with strong environmental feedback will be prone to rapid transitions between states, whereas one where adaptation dominates will change more gradually.”*

Par exemple,

*“The rainforest (which Kleidon and Kirchner discuss) may be a good real world test case. If alteration of the environment and the resulting feedback dominates over adaptation we would expect the rainforest-climate system to be prone to rapid transitions when sufficiently perturbed, e.g., a switch to an arid pasture/desert state. If adaptation has been the main shaping factor, we expect no such collapse. Some models have predicted catastrophic collapse, either due to deforestation or climate drying (Cox & al., 2000) passing a critical threshold. We wait pessimistically to see how the real system behaves.”*

Même si certains critiques de la théorie ont souligné que la vie pourrait s'adapter à n'importe quel environnement, ceci ne peut se penser qu'en tenant compte de trois contraintes majeures pour qu'un tel scénario puisse se produire :

1. il existe des limites environnementales pour qu'une vie basée sur le carbone puisse se maintenir, notamment l'existence de l'eau et une température habitable ;
2. il faut que soient maintenus des échanges équilibrés entre les différents types d'organismes vivants –micro-organismes, espèces, plantes– sinon cela supposerait que chacun pris individuellement pourrait s'adapter quelle que soit l'abondance des ressources nutritionnelles, fortes ou faibles, ce qui est peu probable ;
3. les formes de vie reposent sur des contingences historiques telles que chaque organisme a sa propre biochimie, avec une difficulté à franchir des barrières pour l'adaptation, la disparition étant la plus probable.

Adaptation, lien à l'environnement, maintien de la vie, boucles de rétroaction, il était naturel que les modélisations cherchent à tirer parti d'une approche relevant de l'analyse des systèmes complexes, notamment des '*Complex adaptive systems*' (Lenton & Van Oijen, 2002). Celle-ci permet en effet de dépasser une approche purement systémique (la référence à la cybernétique a déjà été mentionnée) où le monde naturel est fait de stocks de matière et de flux régulés par des boucles de rétroaction, qui permettent d'appréhender le comportement d'un système. Elle incorpore l'idée d'adaptation qui gouverne la dynamique du système en incluant au niveau des individus ou des agents la possibilité de leur choix, de leur réaction pour se maintenir et se développer. La perspective débouche ainsi sur le concept d'écosystèmes et celui de leur régulation qui incorpore la sélection à partir de comportements individualistes mais aussi de coopération ou de complémentarité. La modélisation ne prédit pas pour autant le retour à ou le maintien d'un équilibre stable. Les propriétés sous-jacentes à la modélisation sous la forme de systèmes complexes adaptatifs peuvent se résumer aux points suivants : '*dispersed interaction, the absence of a global*

*controller, cross-cutting hierarchical organization, continual adaptation, perpetual novelty, and far-from-equilibrium dynamics.*' (Levin, 1998 ; Hartvigsen, Kinzig & Peterson, 1998) (p. 432). Les comportements de sélection, d'adaptation peuvent faire intervenir, la coopération, la compétition entre espèces. Les modélisations bénéficient également de travaux sur les cycles de l'azote et du gaz carbonique dans l'atmosphère, ceux à même de piéger la réflexion de la lumière et donc la chaleur à l'intérieur de l'atmosphère, poursuivant l'étude de la réponse des écosystèmes à l'effet de serre (Cresser & alii ; Beier & alii, 2008).

Dès lors, à partir de ce qui précède, l'hypothèse Gaia, formulée très tôt, aura par les débats scientifiques, les intuitions qu'elle aura suscitées, par ses prédictions, encouragé des recherches sur le réchauffement climatique, et ce indépendamment des discussions autour de sa portée philosophique. Ces études ont cependant des conséquences très pratiques si elles se vérifient.

En particulier, l'hypothèse soulève la question de la façon dont le problème est perçu. Sommes-nous à un tournant ? Est-ce l'existence d'un changement mais dans la continuation de développements passés ? Est-ce la formation d'une représentation collective nouvelle en rupture avec les habitudes passées ? (Dumez & Jeunemaitre, 2006)

Kirchner, dans son article critique de la théorie, donne en deux figures une vue concise du problème.

L'état actuel de la biosphère va se réchauffant dans des proportions qui situent la planète hors limite par rapport à son passé. Bon nombre d'arguments peuvent y être opposés, entre autres : beaucoup de scientifiques pensent que le changement climatique n'est pas un problème ; il y a peu de preuves qu'un réchauffement climatique est en train de se produire, ou s'il se produit, il est de faible ampleur ; si la terre se réchauffe, ce n'est pas à cause de l'effet de serre et du dioxyde de carbone qui ne représente qu'une petite fraction de l'atmosphère ; il n'est pas possible d'avoir des prévisions sur la façon dont les températures vont évoluer dans le futur ; les tenants du changement climatique exagèrent en mettant en exergue des faits locaux (inondations, etc.) qui ont toujours existé dans le passé mais qui sont aujourd'hui plus importants et visibles du fait d'un meilleur suivi et d'une densité de population plus grande ; il existe une fonte des glaces aux pôles mais les glaces sont plus présentes en Antarctique ; il n'existe pas de corrélation avérée entre le niveau des mers et l'augmentation des températures ; même si le changement climatique se produit, il n'existe pas une connaissance sûre du niveau de dioxyde de carbone qui pourrait être dangereux dans l'atmosphère pour créer un effet de serre ; il n'existe pas de preuves qu'un réchauffement climatique pourrait être dangereux pour l'humanité ; un accroissement de la teneur en dioxyde de carbone pourrait produire un accroissement des rendements agricoles ; il existe trop de variables et d'incertitudes sur le fonctionnement de la biosphère pour que des mesures soient nécessaires ; les accords qui sont passés sont une perte de temps et d'ailleurs les États-Unis n'y participent pas.

Ces points de vue ont reçu leur réponse –une réfutation individuelle à chaque argument- dans un rapport de la Royal Society de 2005 qui rendait compte des conclusions des groupes de travail de l'IPCC (*Intergovernmental Panel on Climate*

*Change*) associant la communauté scientifique dans l'étude du changement climatique (The Royal Society, 2005).

Il n'est pas du ressort de l'article de trancher sur ces questions -qui le pourrait ?- plutôt de contraster des points de vue, ce que l'on pourrait appeler le Gaia pessimisme avec des formes adoucies de prise de conscience.

Le livre de Lovelock est en tout point passionnant dans ce qu'il nous apprend du système terre-vie avec des chapitres particulièrement pénétrants tant au plan de la connaissance des mécanismes qui lient le climat et la vie sur terre qu'au niveau des remises en question de nos modes de fonctionnement sociétaux. Il est basé sur des faits incontournables qu'aucun scientifique n'oserait de nos jours discuter. Pour certains, comme Sir Crispin Tickell, le tort d'avoir eu raison trop tôt, pour d'autres le tort d'avoir associé à son hypothèse de départ la métaphore d'une terre organisme vivant.

Pour comprendre la portée de l'hypothèse, il convient de distinguer entre prévision et prédiction.

*“Future climates are much more predictable than is future weather. We know that there is no way to predict if it will, or will not rain on 2 November 2010 in Berlin. But we can with near certainty say it will be colder in January in that city than it was in the previous July. Climate change is amenable to prediction this is why so many scientists are tolerably sure that a rise in carbon dioxide to 500 ppm, which is almost now inevitable, will be accompanied by profound climate change. Their confidence comes from the knowledge of the past history of the many glacial and interglacial events of the past two million years. The record drawn from the analysis of Antarctic ice cores clearly shows a strong correlation between global temperature, carbon dioxide and methane abundance. At our present rates of growth we will reach 500 ppm in about forty years. The monitoring now in progress of these crucial parts of the Earth system –Greenland, Antarctica, the Amazon forests and the Atlantic and Pacific oceans- shows a trend towards what on our timescale could be irreversible and deadly change”* (pp. 61-65).

L'augmentation de la teneur en CO<sub>2</sub>, comptabilisée à partir des combustibles fossiles brûlés (transport, énergie, etc.), est due en grande partie aux activités humaines. Comme le montre Lovelock, l'agriculture industrielle –disparition des espèces et donc d'interdépendances dans le vivant- et la déforestation ont eu pour impact un réchauffement de la planète avec une boucle de rétro-action positive qui va en s'accéléralant : la fonte des glaces aux pôles entraîne une réduction du réfléchissement solaire dans l'atmosphère donc un réchauffement ; le réchauffement entraîne la libération du méthane pris dans les glaces ; la déforestation réduit l'absorption de dioxyde de carbone concourant à un effet de serre empêchant le rayonnement de sortir de la haute atmosphère, etc. Cette boucle de rétroaction positive qui va en s'accéléralant offre une prédiction climatique assez certaine pour dire qu'à la fin du siècle, en continuant sur la lancée existante avec une augmentation moyenne de la température terrestre de l'ordre de 5 à 8 degrés, le niveau des eaux augmenterait en moyenne de 1,20 mètre avec des bouleversements climatiques majeurs dont une constante : désertification au centre, perte de la diversité des espèces, migration des populations vers les pôles. Bien évidemment un tel scénario ne pourrait s'accompagner que de conflits humains. Le système de régulation pousserait ainsi la planète vers un état hors de son équilibre naturel, auquel il reviendrait mais à quel prix pour l'humanité.

Pour permettre au système de revenir à l'état d'équilibre deux conceptions s'opposent quant aux remèdes et à l'état du système.

La thèse de Lovelock est que nous avons déjà dépassé un point d'inflexion, même s'il en existe plusieurs à venir.

*"When we pass a threshold of climate change there may be nothing perceptible to mark this crucial step, nothing to warn that there is no returning"* (p. 66).

L'espoir de Lovelock est que les sceptiques aient raison. Mais si la possibilité du contraire est prise au sérieux alors il convient de changer les comportements et de mettre sur pied une planification pour faire face à l'évènement : d'une part favoriser toutes les attitudes entraînant des boucles de rétroaction négative, d'autre part ne plus penser en termes développement durable, mais de retraite soutenable.

*"It is much too late for sustainable development, what we need is sustainable retreat"* (p. 8).

La retraite organisée inclut le pari sur le tout nucléaire pour produire de l'électricité – les écologistes seraient des combattants d'arrière garde –, la construction de positions défensives pour l'évacuation des populations de villes, la relocalisation de l'agriculture, le lancement à grande échelle de la production de nourriture reconstituée à partir de procédés chimiques et biochimiques, etc. La retraite organisée a fait des émules sur la possibilité de repenser l'économie dans son rapport à l'accumulation et l'utilisation des ressources (Foster, 2007).

La position inverse consiste à dire qu'il est trop tôt pour se prononcer mais qu'il s'agit d'enclencher une sorte de principe de précaution. Les comportements peuvent être orientés, l'économie peut utiliser des accords internationaux, il existe des techniques de marché qui peuvent faire entrer la problématique du changement climatique dans le développement en particulier les droits à polluer.

En outre, il s'agit d'étudier toute technologie qui pourrait contrebalancer la boucle de rétroaction positive, la géoingénierie. Sur cette question un tout récent rapport de la Royal Society a émis ses conclusions (2009). Les techniques possibles sont divisées en deux catégories :

*"1) Carbon dioxide removal (CDR) techniques which remove CO2 from the atmosphere*

- *Land use management to protect or enhance land carbon sinks;*
- *The use of biomass for carbon sequestration as well as a carbon neutral energy source;*
- *Enhancement of natural weathering processes to remove CO2 from the atmosphere;*
- *Direct engineered capture of CO2 from ambient air;*
- *The enhancement of oceanic uptake of CO2, for example by fertilisation of the oceans with naturally scarce nutrients, or by increasing upwelling processes.*

*2) Solar Radiation Management (SRM) techniques that reflect a small percentage of the sun's light and heat back into space.*

- *Increasing the surface refl ectivity of the planet, by brightening human structures (eg by painting them white), planting of crops with a high refl ectivity, or covering deserts with refl ective material;*
- *Enhancement of marine cloud refl ectivity;*
- *Mimicking the effects of volcanic eruptions by injecting sulphate aerosols into the lower stratosphere;*

- *Placing shields or deflectors in space to reduce the amount of solar energy reaching the Earth*"

L'évaluation indique que les différentes méthodes seraient plus ou moins efficaces à court terme. La méthode la plus prometteuse serait celle des aérosols –produisant le même effet qu'envoyer de la poussière en haute atmosphère, à la manière des éruptions volcaniques et avec des effets homogènes sur la planète. L'efficacité serait rapide (un à deux ans). Par contre, ce ne pourrait être qu'une mesure temporaire qui ne réduirait pas le problème de long terme, notamment celui de l'acidification des océans. Les panneaux solaires satellitaires seraient quant à eux longs et coûteux à déployer et protégeraient seulement certaines parties de la planète.

Les autres méthodes plus traditionnelles limitant la concentration de CO2 par stockage ou cherchant une boucle de rétroaction négative, par exemple par la reforestation, demanderaient un temps long pour faire effet.

Rendu à ce stade, le lecteur retiendra son souffle. Il aura noté que le problème se posait avec une certaine acuité pour voir considérer autant de dispositifs. James Lovelock fut en son temps sans doute un avant-gardiste qui aura su susciter la controverse et participer à une prise de conscience générale. L'ironie du sort veut que les attaques qu'il a subies portaient pour nombre d'entre elles sur le fait qu'il introduisait une perspective religieuse avec la métaphore d'une terre vivante, alors même qu'il reprochait lui-même aux religions de ne pas l'inclure :

*"Our religions have not given us the rules and guidance for our relationship with Gaia. The humanist concept of sustainable development and the Christian concept of stewardship are flawed by unconscious hubris. We have neither the knowledge nor the capacity to achieve them. We are no more qualified to be stewards or developers of the Earth than are goats to be gardeners"* (p.176)

Cela étant, les amoureux déambulent sur les quais de la Seine comme ils l'ont toujours fait, avec l'espoir de construire. Ils le feront par la reproduction, notion centrale qui manque à Gaia pour la qualifier de système vivant, à moins d'admettre que celle-ci n'est pas une condition nécessaire.

## Références

- Aron Raymond (1981). *Le spectateur engagé. Entretiens avec J.L. Missika et D. Wolton*. Paris, Julliard.
- Beier C. and alli (2008) "Carbon and nitrogen cycles in European ecosystems respond differently to global warming", *Science of the total environment*, n°407, pp. 692-697.
- Capra Fritjof (2007) "Complexity and life" *Systems Research and Behavioral Science*, n° 24, pp. 475-479.
- Cresser Malcom S. & alli (2008) "A reappraisal of terrestrial nitrogen cycle: what can we learn by extracting concepts from Gaia theory?", *Science of the total environment*, n°400, pp. 344-355.
- Dumez Hervé & Jeunemaître Alain (2006) "Reviving narratives in economics and management: towards an integrated perspective of modelling, statistical inference and narratives." *European Management Review*, Vol. 3, issue 1, pp. 32-43.
- Foster John Bellamy (2007) "The Ecology of destruction", *Monthly Review*, Vol. 8, n°8, February.
- Hartvigsen Greeg, Kinzig Ann & Peterson Garry (1998) "Use and analysis of complex

- adaptive systems in ecosystem science: overview of special selection”, *Ecosystems*, n°1, pp. 427-430.
- Kirchner James W. (1989) “The Gaia Hypothesis : Can it be Tested?”, *Reviews of Geophysics*, n°27, pp. 223-235.
- Kirchner James W. (1990) “Gaia Metaphor Unfalsifiable”, *Nature*, n° 345, p. 470.
- Kirchner James W. (2002) “The Gaia Hypothesis: Fact, Theory, and Wishful Thinking”, *Climate Change*, n°52, pp. 391-408.
- Lenton Timothy M. & Lovelock James E. (2000) “Daisyworld is Darwinian: Constraints on Adaptation are Important for Planetary Self-regulation”, *Journal of Theoretical Biology*, issue 206, pp. 109-114.
- Lenton Timothy M. & Oijen (Van) Marcel (2002) “Gaia as a complex adaptive system”, *The Royal Society* (1st May) pp. 683-695.
- Lenton Timothy M. & Wilkinson David M. (2003) “Developing the gaia theory: a response to the criticisms of Kirchner and Volk”, *Climate Change*, n°58, pp. 1-12
- Levin Simon A. (1998) “Ecosystems and the biosphere as complex adaptive systems”, *Ecosystems*, n°1, pp. 431-436.
- Lovelock James (1988) *The ages of Gaia: a biography of our living earth*, W.W. Norton, London.
- Lovelock James (2003), “Gaia: the living earth”, *Nature*, n°426, December, pp. 769-770.
- Lovelock James (2006), *The revenge of Gaia*, Allen Lane, Penguin Books, London.
- Lovelock James & Margulis Lynn (1974) “Homeostatic tendency of the Earth Atmosphere” *Origins of life and the evolution of biosphere*, issue 5, pp. 93-103.
- Schneider Stephen H. (2002) “The gaia Hypothesis”, Editor’s note, *Climate Change* n°52.
- The Royal Society (2005) “*A guide to facts and fictions about climate change*”, March.
- The Royal Society (2009) “*Geoengineering the climate change : science, governance and uncertainty*”, September.
- Tickell Crispin (1977), *Climatic Change and World Affairs*, Harvard University. Revised edition Harvard University & University Press of America 1986.
- Tickell Crispin (2008), “The theory of evolution: 150 years afterwards” *International Microbiology*, 11, pp. 283-288 ■

**Alain Jeunemaître**  
PREG — CNRS / École Polytechnique

1. Participe au Policy Foresight Programme, James Martin Institute for Science and Civilization Institute for Science Innovation and Society à la Saïd Business School de l'Université d'Oxford. Auteur d'un livre sur le changement climatique à la fin des années 1970.
2. La référence à la terre mère est continue dans la mythologie grecque comme dans les livres de Science Fiction d'Isaac Asimov.
3. Daisyworld est contenu dans la librairie des modèles Netlogo, programme en accès sur internet, qui traite des systèmes adaptatifs complexes.

Secrétariat de rédaction et mise en forme : Michèle Breton