



**HAL**  
open science

## Quelle est la nature de la Terre?

Sébastien Dutreuil

► **To cite this version:**

Sébastien Dutreuil. Quelle est la nature de la Terre?. Le cri de Gaïa: penser la Terre avec Bruno Latour, 2021. hal-03437039

**HAL Id: hal-03437039**

**<https://hal.science/hal-03437039>**

Submitted on 30 Nov 2021

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

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

# Quelle est la nature de la Terre?

Sébastien Dutreuil,

In Aït-Touati, F. & Coccia, E, *Le cri de Gaïa*, La découverte : Paris, pp 17-65.

Le chapitre 3 de *Face à Gaïa*, s'ouvrant sur une comparaison du geste de Lovelock avec celui de Galilée, aborde Gaïa comme une philosophie de la nature : les innovations décisives attribuées à Lovelock et Margulis sont des innovations ontologiques qui portent sur la manière dont sont conçus les vivants, la Terre et la nature. À partir d'une analyse historique, je voudrais montrer ici que, contrairement à ce que son nom pourrait indiquer, c'est bien comme philosophie de la nature, et non comme hypothèse, que Gaïa avait été envisagée par Lovelock et Margulis eux-mêmes et qu'elle a eu des effets décisifs sur l'histoire des sciences et la pensée environnementale au sens large. Je reviendrai ensuite sur les déplacements opérés par Gaïa sur nos conceptions de la vie et de la nature, analysés par *Face à Gaïa*.

## 1 Une lecture historique de Gaïa : hypothèse pseudo-scientifique ou philosophie politique de la nature?

### 1.1 Gaïa : l'entité, l'hypothèse et ses critiques

Le titre de l'article considéré comme fondateur publié par Lovelock et Margulis en 1974, met bien en avant l'idée que Gaïa est une *hypothèse* : 'Atmospheric homeostasis by and for the biosphere : the Gaia hypothesis'. Et l'article propose :

« l'hypothèse selon laquelle l'ensemble total des organismes vivants qui constituent la biosphère peut agir comme une seule entité pour réguler la composition chimique, le pH en surface et possiblement le climat. » Lovelock et Margulis 1974, p.3

Pourtant le premier texte publié portant le nom de Gaïa mettait en avant le nom d'une entité :

« La somme totale des espèces est davantage qu'un simple catalogue, 'La Biosphère', et comme d'autres associations en biologie est une entité avec des propriétés qui sont davantage que la simple somme de ses parties. Une créature si grande, même si elle est seulement hypothétique, avec la capacité puissante de réguler de manière homéostatique l'environnement planétaire, a besoin d'un nom ; je dois à M. William Golding la suggestion d'utiliser la personnification grecque de la Terre mère, 'Gaïa'" Lovelock, 1972, p. 579

On connaît, ou on croit connaître la suite, en se fiant au récit standard, élaboré en grande partie par les biologistes de l'évolution. Dawkins (1982) et Doolittle (1981), qui ont lu Gaïa comme la proposition d'une forme d'altruisme et de coopération planétaire, soulignent les incompatibilités théoriques entre cette proposition et la théorie de la sélection naturelle. Kirchner (1989) élabore une analyse popérienne et montre que les différentes formulations de Gaïa sont soit formulées de manière trop vague pour être testables, soit trivialement fausses ou vraies. On retient en général l'idée que Gaïa n'est qu'une métaphore vague comparant la Terre à un organisme, ou un ensemble de "divagations pseudo-scientifiques" et d' "intuitions vaguement spiritualistes" (Latour, 2015, p. 113). De là les réticences auxquelles on se heurte, et auxquelles se heurte Latour, sitôt le nom de Gaïa ou de Lovelock sont mentionnés.

### 1.2 Gaïa : marginale ou centrale? Une cartographie de la controverse

Menant une réflexion philosophique et anthropologique sur la nature, pourquoi *Face à Gaïa* n'a pas choisi un autre attracteur, déjà au centre de l'attention, comme l'anthropocène,

au profit de Gaïa, apparemment si marginale? L'intérêt de Latour pour Gaïa précède l'émergence de l'anthropocène puisqu'il remonte au moins à *Politiques de la nature*, qui interprétait Gaïa comme un parlement des disciplines (p. 342)<sup>1</sup>. Il faut ici revenir sur l'histoire de Gaïa pour comprendre combien elle est en réalité centrale pour qui s'intéresse aux questions environnementales. Contrairement à ce que le récit standard suggère en opposant Lovelock aux néo-darwiniens<sup>2</sup>, il n'y a en fait pas eu de réelle controverse au sein de la biologie de l'évolution. Analyser quantitativement la place qu'occupe la discussion de Gaïa dans les revues et les manuels de la biologie de l'évolution permet de se rendre compte à quel point les biologistes se sont tout simplement désintéressés de la question après les critiques originelles de Dawkins et Doolittle.

On ne comprend le caractère central de Gaïa pour l'histoire des sciences contemporaines que si l'on déplace le projecteur depuis la biologie de l'évolution, au sein de laquelle la réception a effectivement été faible et de courte durée, vers les sciences de l'environnement et de la Terre, où Gaïa a eu une influence profonde et durable<sup>3</sup>.

Suivre le récit standard et considérer Gaïa comme marginale empêche en effet de comprendre l'état contemporain des sciences de l'environnement et de la Terre. Il faut ici se donner quelques exemples marquants pour commencer à en prendre la mesure. Hans-Joachim Schellnhuber, l'un des climatologues contemporains les plus influents – fondateur de l'important Institut de Potsdam, conseiller d'Angela Merkel mais aussi du Vatican sur des questions climatiques –, est à l'origine de la formulation de l'objectif des 2 degrés. Grand admirateur de Lovelock, Schellnhuber peut justifier cet objectif sur la base d'une comparaison de la Terre à un organisme directement empruntée à Gaïa, sans que personne ne s'en émeuve aujourd'hui – il suffit que le terme de "Gaïa" ne soit pas prononcé. En 2009, la *Royal Society* publie un rapport important sur la géoingénierie, considéré, après l'article déclencheur de Paul Crutzen (2006), comme un élément fondateur ayant permis la légitimation des débats scientifiques sur la géoingénierie HamiltonEarthmasters. Ce rapport a pour couverture une sphère de pâquerettes, en référence au modèle Daisyworld, élaboré par Watson et Lovelock (1983) pour fournir une armature théorique à Gaïa et ayant donné lieu à une littérature foisonnante de modélisation<sup>4</sup>. Timothy Lenton, héritier scientifique de Lovelock, scientifique reconnu internationalement, songe à nommer "Institut Lovelock" un nouvel institut phare de l'Université d'Exeter centré sur l'étude des systèmes complexes et les questions environnementales.

Par quelles voies Gaïa a-t-elle circulé au sein des sciences de l'environnement et de la Terre? Depuis les années 1980, un climatologue aussi important que Stephen Schneider a déployé des efforts non pas pour défendre Gaïa, mais pour organiser la tenue de débats scientifiques autour de cette idée, en ménageant des espaces de discussion dans sa revue *Climatic Change* ou en organisant des conférences internationales sous l'égide de l'*American Geophysical Union* en 1988 et en 2000. D'autres éléments de cette nature

---

<sup>1</sup> À juste titre d'ailleurs lorsque l'on observe ce que sont devenus l'IGBP et les sciences du système Terre. Voir également Hache et Latour 2010 pour une analyse plus détaillée et précédant le bouillonnement intellectuel sur l'anthropocène.

<sup>2</sup> Récit que Lovelock a parfois pu alimenter en mettant en scène un grand débat opposant Gaïa et Darwin, ou Gaïa continuant Darwin par d'autres voies.

<sup>3</sup> Quoique difficile à retracer, en raison même de la mauvaise presse que le terme "Gaïa" a eu au sein de la littérature scientifique, par-delà les disciplines, et d'un effet de censure y compris de la part des scientifiques favorables à Gaïa. Cet effet de censure a des conséquences fâcheuses pour l'historien et le sociologue des sciences qui voudrait proposer une analyse quantitative de la controverse basée sur des mots clefs, et incite plutôt à suivre patiemment, ligne à ligne, à la main, les réticulations de Gaïa en suivant non pas seulement les mots clefs mais la circulation des acteurs dans différentes institutions et les discussions parfois implicites de Gaïa.

<sup>4</sup> Pour une synthèse sur Daisyworld, voir l'excellent article de Wood et al. 2008. Pour une analyse historique et philosophique de ce modèle, voir Dutreuil 2013, 2014.

permettraient de retracer la réception de Gaïa dans d'autres disciplines comme la géochimie ou l'écologie (on mentionnerait alors l'importance de Robert Garrels et d'Heinrich Holland pour la première, d'Eugene Odum, de Crawford Stanley Holling ou de Robert May pour la seconde). Mais s'il y a un levier institutionnel qui a puissamment contribué à la diffusion sourde et profonde de Gaïa, c'est bien la constitution de l'*International Geosphere-Biosphere Programme* (IGBP). Cette institution, créée à la fin des années 1980, est l'aboutissement d'une effervescence institutionnelle ayant vu des scientifiques appeler à la constitution de nouveaux programmes de recherche pour les sciences de la Terre prenant en compte davantage que la simple physique du climat pour embrasser l'étude des changements globaux chimique et biologique (Dahan, 2010 ; Dahan et Heymann 2019 ; Dutreuil, 2016 ; Kwa 2005a, 2005b, 2006, Kwa et Rector 2010, Lovbrand et al. 2009 ; Uhrqvist 2014). De nombreux scientifiques très proches de Lovelock – comme Peter Liss ou Chris Rapley – ou reprenant les conceptions au centre de Gaïa – comme Schellnhuber – ont occupé des positions décisives au sein de cette institution, aujourd'hui connue pour être celle au sein de laquelle Crutzen a proposé le concept d'anthropocène (Crutzen et Stoermer 2000)<sup>5</sup>. C'est pour avoir contribué à la constitution des "sciences du système Terre" – nom du programme scientifique étendard mis en avant par l'IGBP – que Lovelock a reçu la plus haute distinction de la Société Géologique de Londres en 2006.

Suivre Gaïa au sein des seuls réseaux et institutions scientifiques ne suffit pas à cerner les contours de sa trajectoire historique, car elle a également connu une réception importante au sein du grand public. On fait souvent référence de manière vague aux "mouvements *New Age*" au sein desquels Gaïa aurait suscité un enthousiasme, sans jamais prendre la peine de proposer le début du nom d'un auteur, d'un collectif, d'une institution, ou les bases idéologiques communes de ces "mouvements *New Age*". Laissons de côté le label *New Age* et suivons la réception et le prolongement de l'élaboration de Gaïa : on découvrira alors son importance au sein de la contre-culture environnementale américaine issue du *Whole Earth Catalog* des années 1960<sup>6</sup>, et portée entre autres par Stewart Brand – devenu ami proche de Lovelock – et sa revue *Coevolution Quarterly*. Gaïa a également et surtout connu un large écho au sein des divers courants de l'écologie politique anglaise : les revues *Resurgence* de Satish Kumar et *The Ecologist* d'Edward Goldsmith ont ainsi contribué à diffuser des textes de Lovelock et Margulis. Lovelock a très tôt, dès les années 1970 cherché à nouer ces contacts et les a maintenus dans la durée. Lorsqu'il organise des colloques scientifiques de très grande ampleur à Oxford consacrés à Gaïa, des amis de longue date y sont également conviés, comme le diplomate anglais Crispin Tickell ou comme Jonathon Porritt, ancien coprésident du parti vert au Royaume-Uni et acteur important au sein de nombreuses ONG environnementales (e.g. le WWF, Les Amis de la Terre). L'écho important qu'avait Gaïa dès les années 1980 a d'ailleurs incité des auteurs comme Murray Bookchin à exprimer leurs réserves (Pepper, 1993).

### **1.3 Lovelock, scientifique indépendant (ou entrepreneur?), et Margulis**

S'il est vrai que le récit des biologistes de l'évolution a largement contribué à répandre une vision erronée de la trajectoire historique réelle de Gaïa, il faut dire aussi que le récit de Lovelock lui-même n'a pas vraiment aidé à se faire une idée juste de cette trajectoire. En se présentant constamment comme un scientifique indépendant, élaborant ses idées dans un garage transformé en laboratoire au sein de sa maison retirée dans la campagne du sud-ouest de l'Angleterre, et en présentant Gaïa comme le fruit d'une réflexion spéculative sur la vie, la Terre et la nature (élaborée alors qu'il travaillait comme consultant pour la NASA), Lovelock a singulièrement contribué à brouiller les pistes du réseau scientifique,

---

<sup>5</sup> Sur ce point, voir Hamilton et Grinevald 2015 ; Dutreuil 2018a.

<sup>6</sup> Sur l'histoire du *Whole Earth Catalog* et de la contreculture environnementale voir Bryant, 2006 ; Kirk 2007 ; Turner 2010.

institutionnel et politique dense duquel il est le centre, et à occulter le cœur bouillonnant de réflexions qui ont rendu Gaïa centrale pour les changements globaux.

En effet, si Gaïa a pu devenir un foyer de réflexion important pour les savoirs et pensées de l'environnement et de la Terre, c'est bien parce que Lovelock lui-même était au centre d'un réseau très vaste dans les années 1960 et 1970. Son "isolement" à la campagne ne l'a nullement empêché de travailler comme consultant pour (ou en collaboration étroite avec) les institutions scientifiques des géosciences en Angleterre – le *Meteorological Office*, et, plus tardivement, le *National Environmental Research Council* – mais aussi aux États-Unis – depuis le milieu des années 1960 Lovelock faisait au cours de ses tournées américaines des arrêts fréquents au *National Center for Atmospheric Research*, temple de la climatologie américaine, et compte parmi ses clients des institutions comme la *National Oceanic and Atmospheric Administration* qui structure les recherches sur les océans et le climat aux États-Unis. Dans le même temps, et non sans lien, Lovelock travaille comme consultant pour de très grandes entreprises privées, notamment chimiques et pétrolières, productrices de pesticides, de CFC et d'énergies fossiles, de Shell à *Imperial Chemical Industries*. C'est sa qualité d'ingénieur et de chercheur en chimie qui lui confère son expertise unique et internationalement reconnue, et qui est au centre de ses divers travaux de consultant, jusqu'à ceux pour les services secrets britanniques ou encore pour *Hewlett-Packard*. Plutôt que de suivre Gaïa, comme nous l'avons fait dans la section précédente, il faudrait s'intéresser à une des nombreuses inventions de Lovelock, mais une invention décisive : le détecteur à capture d'électron (ECD). Cet instrument, inventé dans les années 1950, permet des mesures de composés chimiques présents en des quantités auparavant impossibles à mesurer. C'est en suivant cet instrument, et les talents de Lovelock en analyse chimique et en chromatographie, que l'on ouvrirait les portes successives mentionnées (de la NASA aux services secrets en passant par Shell) et la constitution progressive du vaste réseau de consultant qu'il a tissé dans les années 1960 et 1970, réseau qui a présidé à l'élaboration de Gaïa (Dutreuil, 2017 ; Briday et Dutreuil, 2019). Reprendre cette histoire, analyser les activités concrètes de Lovelock dans les années 1960 et 1970, c'est-à-dire lire l'ensemble des articles mais aussi des rapports et de la littérature grise qu'il écrit, rassembler ses nombreux contrats de consultance, consulter ses agendas et sa très riche correspondance pendant cette décennie, puis relire entre les lignes les textes fondateurs de Gaïa permet d'apporter un éclairage nouveau sur l'histoire de son élaboration et de sa réception. Il ne faut pas suivre, ou en tous les cas ne pas suivre seulement, la présentation que Lovelock fait de lui-même, celle d'un scientifique indépendant et retiré du monde, spéculant dans la campagne sur la nature de la vie, mais le voir (aussi) comme un scientifique entrepreneur (un statut qui se généralise à cette époque, cf. Shapin 2008) dont les activités sont éminemment matérielles : de la mise au point de procédés permettant de détecter les fuites d'un pipeline à des mesures de composés chimiques à bord de navires océanographiques traversant l'Atlantique et d'avions évoluant dans la stratosphère, en passant par l'écriture de rapports prospectifs sur le changement climatique pour des entreprises comme Shell, ou le déploiement et le maintien de stations de mesures de propriétés de l'atmosphère. Le cœur des activités concrètes que Lovelock mène au quotidien pourrait tenir en une seule expression : pollution anthropique. Changement climatique, modification de la couche d'ozone, smog urbain, plomb dans l'essence, distribution des pesticides comme le DDT à la surface du globe, pluies acides : pas un seul des sujets décisifs des décennies 1960 et 1970 et classiquement liés à l'émergence d'une conscience de l'environnement global n'échappe à Lovelock, compte tenu de la diversité des travaux qu'il est amené à effectuer et de la diversité des intérêts de ses employeurs et clients. De là le constat suivant lequel Gaïa est contemporaine de l'anthropocène Latour et Lenton 2019. Elle lui est d'ailleurs contemporaine non pas seulement parce que l'élaboration de Gaïa est entièrement immergée dans les problèmes classiques de l'environnement global, mais parce que dans la décennie décisive des années 1970, l'auteur de Gaïa, et l'auteur de ce qui allait être l'anthropocène en 2000, Paul Crutzen, se retrouvent tous deux au centre d'un sujet brûlant : l'effet des CFC sur l'ozone stratosphérique. Lovelock parce qu'il a été le premier à mesurer

les CFC grâce à son ECD ; Crutzen parce qu'il a réalisé des travaux pionniers portant sur les effets des oxydes d'azote sur l'ozone (Briday 2014). Suivant la perspective proposée dans ce paragraphe, j'invite le lecteur à relire le premier livre de Lovelock<sup>79</sup> en non pas seulement comme une réflexion spéculative mais aussi et peut-être surtout comme une réflexion anthropologique sur le concept de pollution.

Je me suis concentré sur Lovelock, or Gaïa semble avoir été élaborée par Lovelock et Margulis. Latour lui-même corrige le tir, en comparant désormais non plus Lovelock seul à Galilée, comme dans *Face à Gaïa*, mais le couple Lovelock & Margulis. Il est vrai que Margulis a apporté des contributions décisives à l'histoire de Gaïa, même si Lovelock et Margulis se rencontrent à la fin des années 1960, c'est-à-dire après que Lovelock ait élaboré les premières formulations de ce qui allait s'appeler l'hypothèse Gaïa, et même si Margulis n'a jamais cessé d'attribuer la paternité de Gaïa à Lovelock. Ils ont activement collaboré dans les années 1970 et co-écrit une série d'articles considérés comme fondateurs. Ainsi que le dit Lovelock, Margulis a apporté la chair sur ce qui n'était alors qu'un maigre squelette. On sait que l'importance du rôle attribué aux micro-organismes vient entièrement de Margulis. Lorsque Margulis et Hinkle déplorent que "Pendant trop longtemps, nous avons des chimistes de l'atmosphère se demandant 'D'où vient tout ce méthane?', et des biologistes ignorant 'où tout ce méthane va'" (1991, p. 12), c'est toute la complémentarité des rôles de Lovelock et de Margulis dans les années 1970 qui est implicitement révélée : on retrouve dans leur correspondance des questions que Lovelock pose à Margulis pour savoir si elle connaît des micro-organismes capables de produire tels et tels éléments chimiques ; réciproquement, Margulis demande des éclairages à Lovelock sur des notions de chimie. On sait moins que Margulis a également eu un rôle décisif pour apporter à Gaïa une réflexion sur la longue histoire de la Terre, étudiée par la géochimie de Holland et la paléontologie de Bill Schopf, que Lovelock ignorait. Il faudrait également souligner la complémentarité géographique importante de Lovelock et Margulis : lui a ancré Gaïa au Royaume-Uni, elle aux États-Unis. Ils ont cessé de publier ensemble après les années 1980 et ont chacun suivi leur route, Lovelock avec Gaïa et Margulis avec sa conception symbiotique de la vie. Il revient à Latour d'avoir proposé une interprétation originale et stimulante de leur collaboration : c'est la notion clef d'individu qui les lie. Ensemble, ils ont dissous l'individu depuis ses extrémités : Margulis depuis le bas et l'intérieur, en brouillant les frontières cellulaires entre individus ; Lovelock depuis le haut et l'extérieur, en brouillant les frontières entre les vivants et l'environnement global.

## 1.4 Gaïa : une philosophie de la nature et non une hypothèse

Sous quelles modalités Gaïa est-elle devenue centrale pour les sciences de la Terre? Quel est donc cet ovni scientifique si difficile à manipuler? Je voudrais montrer ici que c'est bien comme philosophie de la nature que Gaïa a été envisagée, et non comme "hypothèse" scientifique, aussi bien par Lovelock et Margulis que par la plus grande partie de ses lecteurs, scientifiques comme penseurs de l'environnement.

Les scientifiques qui ont lu Gaïa comme une *hypothèse* qu'il s'agirait de tester pour savoir si elle est vraie ou fausse, confirmée ou infirmée, sont au fond très peu nombreux. Tyrrell (2013) a récemment repris l'analyse popérienne de Kirchner dans un livre entièrement consacré à Gaïa : après quelques distinctions liminaires reprenant les différentes propositions susceptibles d'être nommées "hypothèse Gaïa" (e.g. "les vivants ont stabilisé/régulé l'environnement"), Tyrrell falsifie tête baissée. Mais relire l'ensemble des textes de Lovelock et Margulis des années 1970 permet de bien voir que l'ensemble des "faits" mis en avant par Tyrrell comme des résultats scientifiques récents et importants remettant en question la validité de Gaïa comme hypothèse, étaient en réalité connus pour certains, supposés pour d'autres, par Lovelock et Margulis, et déjà discutés dans leurs textes : qu'il s'agisse de la crise biologique majeure engendrée par l'oxygénation de l'atmosphère il y a 2 milliards d'années ou encore des oscillations climatiques du

Quaternaire et de ses corrélations avec de possibles crises biologiques (Margulis et Lovelock, 1974, p. 484 et 487). La considération des *mêmes faits* invitait Lovelock et Margulis à poursuivre l'ouverture de nouvelles questions et de nouvelles perspectives de recherches quand elle incite Tyrrell à rejeter Gaïa. Ainsi, Lovelock et Margulis, contrairement à ce qu'ils disent lorsqu'ils parlent de l'"hypothèse Gaïa", n'abordaient en réalité pas Gaïa comme une hypothèse.

Si bien que Latour (2016), dans un texte consacré à une discussion du livre de Tyrrell, vise juste en déplaçant entièrement le terrain de la discussion pour montrer que Tyrrell, parce qu'il ne prête pas suffisamment attention au rôle des métaphores en science et aux questions ontologiques, passe à côté de l'essentiel. Ouvrez la porte d'un laboratoire de sciences de l'atmosphère ou encore de biogéochimie marine, et initiez une discussion sur Gaïa : bien sûr vous courrez le risque d'un haussement d'épaule convenu, mais vous avez également toutes les chances que ces scientifiques aient lus les livres de Lovelock, souvent pendant leur formation, et soulignent leur importance pour avoir ouvert de nouvelles questions et transformé leur conception de la Terre. La contribution décisive de Gaïa est bien, comme celle de Pasteur, d'avoir permis une "révision de la liste des objets qui peuplent le monde, ce qui est normalement appelé par les philosophes avec raison, une métaphysique, et, par les anthropologues, une cosmologie" (Latour, 2015, p. 122). Lovelock lui-même disait qu'il serait "fier si un jour Gaïa était décrite comme Popper a décrit la théorie de l'évolution : simplement un programme de recherche en métaphysique" (Lovelock, 2000, p. 258). Pour Margulis, c'est plus évident encore : formée très tôt en philosophie, ses écrits sont traversés de revendications philosophiques sur notre manière de voir la nature et les vivants. On n'a pas suffisamment remarqué également que la tâche et l'ambition structurante de l'IGBP, l'institution rassemblant les travaux de milliers de scientifiques de la Terre et de l'environnement, était bien une telle tâche philosophique. Au moment de la préparation des grandes synthèses qui ont marqué l'histoire de l'institution, voici ce qu'écrivait son nouveau directeur : "Quelle est la nature de la Terre ? Le défi de l'IGBP au cours des trois années à venir est de faire des contributions significatives dirigées vers une réponse à cette question." (Steffen, 1998, p.7).

## **2 Les vivants font leur environnement : une intuition métaphysique à propos de la prodigalité de la vie**

Les vivants font leur environnement et, ce faisant, animent toute la surface de la Terre, comme avec une baguette magique de Disney, pour reprendre l'image évocatrice de *Face à Gaïa*. La reconnaissance de l'extraordinaire influence des vivants sur leur environnement constitue le point de départ de Gaïa. On a souvent évoqué l'absence d'originalité historique de l'argument suivant lequel les vivants influencent leur environnement : les vers de terre de Darwin, les réflexions du XIX<sup>e</sup> siècle sur l'effet qu'ont les vivants, humains compris, sur la concentration en oxygène et en dioxyde de carbone de l'atmosphère (réflexions se prolongeant dans la géochimie du début du XX<sup>e</sup> siècle), ne constituent-ils pas autant d'exemples invitant à s'interroger sur la réelle nouveauté introduite par Gaïa?

Ce serait premièrement manquer de nuance historiographique à propos du contexte dans lequel Gaïa est proposée. S'il est vrai par exemple que, dès le XIX<sup>e</sup> siècle, on attribue la présence d'oxygène dans l'atmosphère à l'effet des vivants, il reste qu'au milieu des années 1960, l'idée que l'oxygène serait d'origine entièrement biologique est loin de faire l'unanimité (e.g. Van Valen 1971). En outre, l'histoire de la vie et l'histoire de la Terre sont pour l'essentiel des histoires écrites de manière séparées : la paléobiologie (celle de Gould, Raup, Sepkoski, etc.<sup>7</sup>) étudie l'histoire de l'évolution morphologique des êtres vivants, une histoire au sein de laquelle l'environnement n'intervient que comme cause extérieure pouvant de temps à autre déclencher des crises ; la géochimie, de son côté (celle de Garrels,

---

<sup>7</sup> Pour une histoire de la paléobiologie, voir Sepkoski 2012.

Holland et du groupe des géocycleurs américains) étudie l'histoire de l'évolution chimique de la Terre et de sa surface, sans prendre en compte les vivants comme ont pu le faire les partisans de Gaïa et leurs successeurs.

Ce serait deuxièmement et surtout passer à côté de deux originalités importantes de Gaïa qui tient à l'obstination de ses auteurs. Premièrement ils ont cherché à recenser de manière *systématique* l'effet que les vivants pouvaient avoir sur l'environnement global (atmosphère, océans, roches, etc.), parce qu'ils partagent une intuition métaphysique fondamentale. Deuxièmement, et c'est là sans doute l'originalité la plus importante, Gaïa a apporté un nouvel objet d'investigation empirique, en utilisant implicitement le terme "vie" pour désigner une autre entité que ceux que nous appelons communément les vivants. Cette section et la suivante sont écrites en suivant l'idée d'une opposition entre la manière dont la vie est conçue en biologie (de l'évolution) et dans Gaïa ; mais les éclairages progressifs nous permettront *in fine* de nuancer l'idée d'une opposition et de lire Gaïa comme apportant une perspective différente *sur un autre objet*.

L'intuition métaphysique fondamentale que nous mentionnions a traversé toute la littérature sur Gaïa : il ne s'agit pas simplement d'observer que la vie influence son environnement, mais de partir du principe qu'elle le fait à un degré inouï. Si cette intuition n'est jamais explicitement formulée comme telle, on peut néanmoins la déceler à partir d'une analyse des directions d'investigations empiriques déployées par les partisans de Gaïa, et à partir d'une analyse des hypothèses théoriques implicitement faites dans les modèles. Tout se passe comme si les travaux scientifiques sur Gaïa avaient été menés sur la base d'une conviction jamais interrogée : les forces biotiques et vitales exercées sur l'environnement ou le milieu ne connaissent pas de limites et excèdent toujours les forces physiques, chimiques et géologiques. Si une variable environnementale affecte les conditions d'existence de la vie, alors, nécessairement, la vie agira sur cette variable, la modifiera, l'influencera et sera ainsi à même de contrer des évolutions adverses de cette variable sous l'effet des seules forces physico-chimiques.

Cette idée avait accompagné la reconnaissance célèbre de l'écart qui sépare les concentrations de l'atmosphère terrestre prédites par l'équilibre thermodynamique et celles que l'on observe dans l'atmosphère actuelle influencée par la vie (**Erreur ! Source du renvoi introuvable.**<sup>93</sup>) : c'est le caractère quantitativement massif de l'écart qui le rend qualitativement singulier. D'autres passages témoignent également de cette intuition métaphysique sur le caractère expansif de la vie :

La vie tend à croître jusqu'à ce que les ressources en énergie ou en matériaux fixent une limite. Il est probable qu'une planète soit ou bien dénuée de vie, ou bien pullule de vie [it teems with life]. Nous suspectons qu'à une échelle planétaire, une vie éparsée est un état instable impliquant une naissance récente ou une mort imminente. Margulis et Lovelock, 1974, p. 486

Bien sûr, la vie finit toujours par rencontrer une limite – par exemple, dans Daisyworld c'est la surface totale de la planète qui matérialise cette limite. Mais une étude de l'attitude épistémique des partisans de Gaïa – les directions de recherches envisagées, les objets sur lesquels se fixent les regards, les questions posées – révèle que la conviction de départ qui sous-tend cette attitude est qu'en première analyse, les vivants s'affranchiront des limites immédiatement imposées par le milieu, en modifiant ce dernier, *plutôt qu'en s'y adaptant*.

Cette intuition sous-tend ensuite la formulation de nouvelles propositions considérées comme des variantes de l'hypothèse Gaïa, par Volk (1998) qui considère la vie comme une sorte de grand catalyseur planétaire, accélérant les cycles biogéochimiques<sup>8</sup>. Cette intuition se retrouve enfin intacte dans les modèles et les propositions théoriques de Gaïa. Une hypothèse fondamentale traverse toutes les variantes de Daisyworld sans jamais être remise en question ou discutée empiriquement (et il est intéressant de relever *a posteriori* que cette hypothèse est une condition nécessaire pour qu'une régulation de l'environnement émerge dans le modèle) : la dynamique adaptative des traits de préférence environnementale doit être contrainte relativement à celle des traits d'influence sur l'environnement (Dutreuil,

---

<sup>8</sup> Voir Kleidon et al. 2010 pour un autre exemple.

2016, McDonaldGibson et al. 2008). Autrement dit, dans Gaïa les vivants sont contraints dans leurs évolutions internes permettant de s'adapter à de nouveaux milieux (en tolérant par exemple des salinités ou des températures plus élevées) ; mais leur capacité à affecter l'environnement global dans toutes les directions possibles pour contrer les perturbations, et leur capacité à évoluer de nouvelles aptitudes pour modifier cet environnement, sont, elles, considérées comme étant sans limite.

Cette conception d'une vie, et donc d'une nature prodigue et toujours en excès sur le monde abiotique ou sur son milieu, inverse totalement la philosophie de la vie de Lamarck pour qui le rapport primordial était également un rapport de vivant au milieu physico-chimique mais pour qui "la situation du vivant dans le milieu est [...] désolante et désolée", une situation au sein de laquelle "la vie résiste uniquement en se déformant pour survivre" dans un milieu indifférent (Canguilhem, 1965, p. 174). Dans Gaïa, c'est le milieu qui se déforme sous l'action des vivants, et qui se déforme tellement qu'il finit par être une extension de ces derniers. Darwin n'accordait-il pas une prodigalité extrême aux vivants, dans leur capacité à se reproduire et à proposer de nouvelles mutations devant être triées par la sélection? Et n'avait-il pas vu que les vivants modifiaient leur milieu biologique et physico-chimique? Si l'intuition de Gaïa a une originalité c'est que la prodigalité des vivants est logée non pas dans leur capacité de reproduction (qu'ils se reproduisent ou simplement croissent ne fait pas de différence), mais dans leur capacité à excéder le milieu physico-chimique<sup>9</sup>.

### 3 Vivre dans Gaïa

On hésite toujours sur la question de savoir si Gaïa est une philosophie de la Terre ou si elle est une philosophie de la vie. C'est qu'elle est les deux à la fois, ainsi que le résume magnifiquement le titre originel et en anglais du premier livre consacré à Gaïa : "A new look at life on Earth" – malencontreusement traduit en français par "La terre est un être vivant". Essayons, en suivant Latour, Margulis et Lovelock, de dégager certaines caractéristiques de la philosophie de la vie qui sous-tend Gaïa.

#### 3.1 Extraire une définition de la vie d'une analyse du modèle Daisyworld

On aura beaucoup de peine à trouver dans la littérature sur Gaïa une définition explicite de la vie, sous la forme d'une liste de propriétés. On peut en revanche extraire une telle définition en analysant les hypothèses, parfois implicites, qui sont faites par les scientifiques lorsqu'ils élaborent des modèles et lorsqu'ils s'intéressent à des cas empiriques. Il faut ici prendre la peine de redécrire brièvement le modèle qui a été utilisé comme terrain de jeu pour élaborer les réflexions théoriques sur Gaïa au cours des dernières décennies : Daisyworld.

Le modèle originel considère ce que ses auteurs décrivent comme une planète dont l'évolution de la température ne dépend que de deux paramètres : l'albédo de la planète (A) et un forçage externe, la luminosité solaire (L) (Watson et Lovelock, 1983). Cette planète est peuplée de deux espèces de pâquerettes (*daisies*) dont la croissance est affectée par la température (suivant la courbe de croissance de la figure 1). La première espèce est blanche, la seconde est noire. Chacune influence l'albédo de la planète et *in fine* la température de la Terre : plus il y a de pâquerettes noires, plus la température augmente ; et inversement pour les blanches. Dans le modèle originel, on augmente de manière continue la luminosité solaire. En l'absence de pâquerettes, la température de la planète suit ce forçage. Mais lorsque les pâquerettes sont autorisées à peupler la planète, la température est régulée autour de ce que les modélisateurs considèrent comme l'optimum biologique : la variation des proportions de pâquerettes blanches et noires permet cette régulation.

---

<sup>9</sup> Nous devons l'explicitation de ce point à Baptiste Morizot.

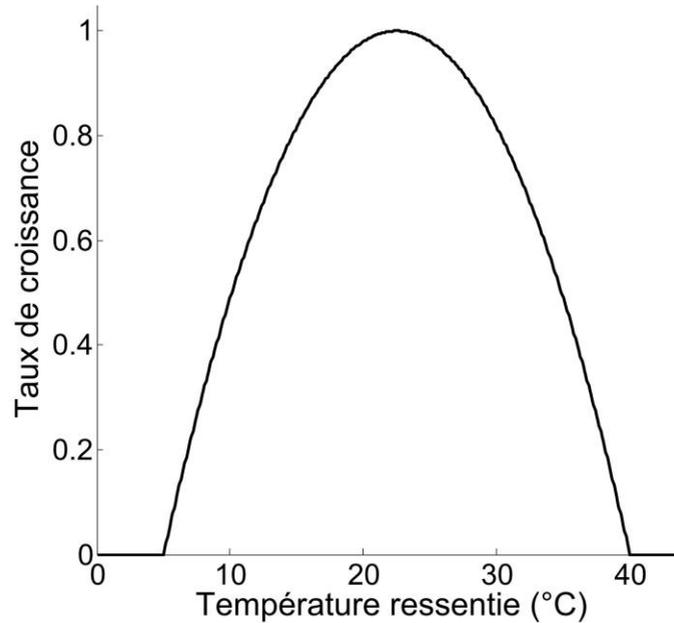


FIG. 1: Courbe de croissance des pâquerettes dans Daisyworld. La courbe est la même pour les deux espèces (blanche et noire) mais la température ressentie par ces deux espèces diffère.

Dans ce modèle, les vivants entrent donc en scène avec deux traits fondamentaux. (H1) Ils ont un effet sur leur environnement, via leur albédo (c'est le trait "d'influence environnementale"). La documentation empirique qui sous-tend ce constat massif traverse toute la littérature sur Gaïa. (H2) Ils sont affectés par leur environnement et ne peuvent survivre que dans certains environnements (c'est le trait de "préférence environnementale" défini par la courbe de croissance, figure 1). Si les conditions d'existence varient d'un vivant à l'autre, si elles sont particulièrement étendues pour les organismes extrémophiles tolérant des salinités, des températures et des pH extrêmement élevés (ou bas), il reste que tous les vivants connaissent des limites hautes et basses de leurs conditions d'existence au-delà desquelles ils dépérissent, et un optimum de croissance compris au sein de ces limites. C'est un fait bien connu et documenté de l'histoire naturelle et de la physiologie. Ce qu'il faut souligner ici est que cette propriété importante – la capacité de croître, et, surtout, de dépérir en-deçà et au-delà de certaines valeurs – résumée par la courbe en cloche, semble bien spécifique aux vivants. Les phénomènes abiotiques se comportent en effet de manière différente : croissance exponentielle, plateau de saturation, croissance ou décroissance linéaire. Or cette propriété est essentielle dans le modèle pour obtenir une régulation. Dans le premier modèle, celui de Watson et Lovelock, les deux traits (H1 et H2, d'influence et de préférence environnementale) étaient fixes et définis par les modélisateurs : les pâquerettes noires réchauffaient la planète et préféraient les températures froides ; les blanches inversement. D'autres versions ont inversé les relations entre H1 et H2 (des pâquerettes blanches préférant le froid) ce qui a ruiné la régulation du modèle. Des versions ultérieures enfin ont autorisé les traits H1 et H2 à muter et à évoluer indépendamment. La régulation n'est obtenue qu'à une condition importante : (H3) il y a des contraintes ou des limites sur l'adaptation. C'est-à-dire que le trait de préférence environnementale (ou d'adaptation) doit muter moins vite (être contraint) relativement à celui d'influence sur l'environnement.

On peut donc rétrospectivement extraire une liste des propriétés définissant la vie dans Gaïa, à partir d'une analyse des travaux de modélisation des dernières décennies. Cette liste comprend les deux traits fondamentaux des vivants initialement introduits (H1 et H2), auxquels on ajoute une propriété importante, identifiée ultérieurement, sans laquelle il n'y

aurait pas de régulation (H3). Il faut ici remarquer que H3 est une hypothèse qui a toujours été implicitement faite par les partisans de Gaïa. H3 n'est en effet jamais qu'une reformulation de l'intuition métaphysique que nous identifions dans la section précédente : les vivants, excédant leur milieu abiotique, modifieront leur milieu plutôt qu'ils ne s'y adapteront.

Si l'on s'efforce ici d'explicitier ce qui serait *spécifique* aux vivants dans Gaïa, c'est pour une raison double : d'une part la littérature sur Gaïa a accordé une attention très particulière aux vivants (c'est d'ailleurs ce qui distinguerait les gaïens de leurs successeurs du système Terre : ces derniers s'intéressent et prêtent attention indifféremment aux vivants et aux forces physico-chimiques) sans pourtant jamais localiser de manière explicite ce qui rend les vivants si singuliers ; c'est deuxièmement parce que Latour lui-même semble avoir en partie fait l'impasse sur cette spécificité, ainsi que Morizot (ce volume) le montre bien.

En biologie, les efforts classiques de définitions de la vie se séparent entre deux pôles, l'un métabolique et physiologique, centré sur des individus (le plus souvent des cellules), mettant en avant les propriétés métaboliques des vivants ; l'autre évolutif centré sur des populations et sur la dimension historique des vivants, mettant en avant leurs propriétés de reproduction<sup>10</sup>. Gaïa coupe au travers des deux pôles définitionnels de la vie en biologie, puisqu'elle lie des questions métaboliques (de croissance et d'échange avec le milieu) à une dimension collective (ce qui compte, c'est l'effet cumulé des vivants sur leur environnement global) et reprend la dimension historique de la vie tout en rendant secondaire la question de la reproduction<sup>11</sup>.

## 3.2 Quiproquo sur l'altruisme et l'harmonie dans Gaïa

La vieille question de la théologie naturelle, celle du *design* apparent dans la nature, et la question importante de l'altruisme en biologie hantent Gaïa, au moins depuis les critiques de Dawkins et Doolittle. La question du *design* est redoublée dans le contexte d'énonciation des conférences de *Face à Gaïa*.

Dans la conception darwinienne contemporaine, l'intégration fonctionnelle d'un individu biologique (on disait autrefois le *design* ou l'harmonie), la gestion des conflits entre les parties de cet individu, tout comme l'existence de phénomènes d'entraide au sein d'un groupe d'individus biologiques, sont accommodés par un alignement des préférences des entités (les parties de l'individu, les individus du groupe) qui ont un programme génétique suffisamment proche<sup>12</sup> – ou, à défaut, par des mécanismes de contrôle réprimant l'évolution de tricheurs dans le groupe<sup>13</sup>.

Comment rendre compte de l'intégration fonctionnelle et de la régulation de la planète, ou de l'existence d'un altruisme planétaire, si les ressorts explicatifs de la théorie de la sélection naturelle ne peuvent s'appliquer à Gaïa? Telle est la controverse théorique initiée par les biologistes. Là où l'exégèse a vu une controverse théorique, circonscrite à l'intérieur d'un cadre, il fallait plutôt voir à quel point les cadres théoriques étaient hétérogènes. C'est ce que j'ai montré en détail à propos de l'altruisme (Dutreuil, 2016). Jusqu'à récemment, l'attitude principale des scientifiques qui ont travaillé sur Gaïa (de Watson et Lovelock à Lenton) a été soit de laisser la question de côté, soit d'essayer de rentrer dans la controverse en bricolant ici et là des articulations théoriques montrant qu'un tel altruisme était en fait

---

<sup>10</sup> Sur cette question et pour une discussion plus nuancée, voir les beaux textes de Jean Gayon (2010, 2011).

<sup>11</sup> Sur ce point crucial, il faut observer que si les auteurs de *Daisyworld parlent* de reproduction dans leurs textes, l'analyse des équations du modèle ne permet pas de faire de différence entre la croissance d'une pâquerette géante et la reproduction de pâquerettes (Dutreuil, 2016, chapitre 7).

<sup>12</sup> Parce que les parties résultent de la division d'une unique cellule œuf, ou parce que les individus s'entraident sont suffisamment apparentés.

<sup>13</sup> Sur ces points, voir la thèse de Johannes Martens (2012, p. 563 sq.).

possible. On prend la mesure du quiproquo théorique lorsqu'on réalise que si le vocabulaire est calqué sur celui des biologistes (il faut bien rentrer dans le jeu : altruisme, tricheurs, groupe, calcul des intérêts), la définition précise des entités dans les modèles a pour conséquence que ce n'est jamais le problème classique des biologistes de l'évolution qui est en réalité traité par les modèles<sup>14</sup>. L'idée qu'il y aurait hétérogénéité des cadres théoriques, à propos cette fois-ci de la question du design, est soutenue dans *Face à Gaïa* : pour Latour, il n'y a pas de totalité harmonieuse et déjà constituée dont il faudrait expliquer le fonctionnement ou l'origine mais un bouillonnement, un fouillis, du bruit, de l'histoire, tous produits par l'activité des vivants.

Ce quiproquo avec la biologie de l'évolution sur ce qu'il conviendrait d'expliquer (ni l'altruisme, ni le *design*) est redoublé par un décalage important sur les conceptions de la vie qui sont en jeu. À une rationalité économique au sein de laquelle les coûts et bénéfices en fitness d'individus dans un environnement donné sont calculés pour déterminer l'évolution des populations biologiques, succède une rationalité toute autre, visant plus simplement à décrire les liens et les connexions tissés par les vivants dans Gaïa. Pour Latour c'est l'intensité de ces liens et interconnexions qui a fait volé en éclat les catégories mêmes d'individu et d'environnement, rendant de fait le calcul impossible. Si on suit les écrits de Margulis, c'est absolument évident : son refus absolu des modèles mathématiques, du calcul, et d'une rationalité économique pour rendre compte du comportement des vivants – y compris et surtout lorsqu'il s'agit de rendre compte de phénomènes de coopération et d'associations biologiques – traverse son œuvre et sa carrière toute entière. C'est ce refus même des arguments mathématiques qui a d'ailleurs été à l'origine d'une séparation des chemins pris par Margulis et Lovelock au moment où ce dernier a commencé à développer Daisyworld avec leur ancien doctorant, Andy Watson. Mais pour Lovelock, et pour Daisyworld, n'y a-t-il pas calcul des intérêts? Il m'a fallu analyser patiemment la centaine d'articles publiés sur le modèle Daisyworld, reprendre les formules mathématiques définissant chacune des variables du modèle, ré-écrire les programmes informatiques pour à peine commencer à saisir ce que Latour est venu interpréter : dans Daisyworld on ne calcule pas directement la fitness des individus, au sens où l'on n'a pas de solution analytique permettant d'exprimer de manière simple la fitness d'une pâquerette en fonction de l'état de l'environnement. Cela vient du fait que la variable environnementale du modèle (la température ressentie) dépend à chaque instant des proportions des types de pâquerettes (car celles-ci influencent l'environnement (H1)), et cette proportion dépend en retour de l'état de l'environnement (car les pâquerettes y sont sensibles (H2)). On peut bien sûr simuler la dynamique des pâquerettes et de la température en calculant l'évolution pas à pas, mais on ne peut pas donner une solution analytique permettant de s'affranchir de la simulation.

L'impossibilité de calculer, analytiquement du moins, s'accompagne d'une différence quant aux mécanismes censés rendre compte des phénomènes de régulation. Dans le cas de Gaïa, il n'y a pas de mécanisme de contrôle, pas de programme génétique commun assurant le fonctionnement harmonieux de la totalité. Dans les modèles et propositions théoriques de Gaïa, les conflits potentiels sont gérés par une forme de prodigalité plutôt que par des contrôles réglés (sélection de parentèle, *bottleneck*, etc.). Les vivants du système apparaissent et disparaissent au gré de l'évolution de l'environnement global qu'ils contribuent à déterminer : tandis que l'existence de crises biologiques dans l'histoire évolutive de la vie est prise comme le symptôme d'un désajustement entre les vivants et leurs milieux, pour Lovelock, ces épisodes de variation importante de la diversité biologique seront vus au contraire comme les mécanismes mêmes assurant la régulation des variables environnementales Lovelock<sup>92</sup>. Cette régulation est le phénomène central à

---

<sup>14</sup> Je renvoie à Dutreuil (2016) pour le détail des arguments. Dans les modèles d'Gaïa, les entités qui sont appelés altruistes ne participent pas à une augmentation de la fitness des autres individus à leurs dépens (le problème des biologistes), mais à une amélioration de la régulation de l'environnement (le problème de Gaïa).

expliquer dans Gaïa tandis que les variations de la biodiversité, crises biologiques comprises, ne sont qu'un des mécanismes permettant d'expliquer la régulation :

Maddock (1991) observed that when the system was allowed to approach equilibrium at constant solar input, the number of types of daisy slowly declined until there were, at any time, never more than two present. I had failed to notice this in my earlier experiments with Daisyworld, because my interest was in climate régulation, not biodiversity. (Lovelock, 1992, p. 387)

Biodiversity is least when either the system is so stressed as to be near failure, or when it is healthy, but there has been a prolonged period of steady state. [...] We usually regard the great diversity of organisms, especially in equatorial regions, as a steady natural state. I wonder if instead we should regard this great diversity as an indication that the ecosystem or the Earth itself although healthy is continuously perturbed. [...] If this view is right then biodiversity is a symptom of change during a state of health. What seems important for sustenance is not so much biodiversity as such, but potential diversity, the capacity of a healthy system to respond through diversification, when the need arises. (Lovelock, 1992, p. 390)

Que les pâquerettes croissent ou dépérissent, apparaissent ou s'éteignent : elles sont *in fine* des variables d'ajustement permettant de maintenir stable l'environnement physico-chimique. La possibilité pour Gaïa de toujours redémarrer, de stabiliser les variables autour d'une nouvelle valeur après une crise (Betts et Lenton 2008 ; McDonaldGibson et al. 2008 ; Williams et Lenton 2010) – c'est l'absence de cause finale et le bruit de Latour, ou l'homéorrhésie de Margulis –, cette possibilité donc, découle directement de l'intuition métaphysique sur le caractère prodigue de la vie : la vie ou Gaïa redémarreront toujours, retisseront des connexions nouvelles, reprendront leur expansion et leur emprise sur la surface de la Terre même après avoir été fortement atteintes et diminuées.

C'est donc une erreur importante d'interprétation que d'insérer Gaïa premièrement dans une longue tradition mettant en avant l'altruisme et l'entraide devant la compétition et l'égoïsme, tradition qui irait de Kropotkine aux théories contemporaines sur la sélection de groupe en biologie évolutive, et dont l'histoire est faite d'échanges de métaphores, d'analogies et de concepts avec l'économie et les sciences sociales, ainsi que nous l'avons montré : les préoccupations de Gaïa sont orthogonales à ce clivage interne à la biologie de l'évolution. De même que c'est une erreur d'interprétation que de considérer que Gaïa a cherche à expliquer le même phénomène que la la biologie évolutive, à savoir l'adaptation des organismes, au double sens du mot adaptation : c'est-à-dire l'ajustement entre les organismes et leur milieu d'une part, et le *design* des organismes, d'autres part, ainsi que l'a vu Latour. Nous n'avons pas affaire à deux cadres théoriques en compétition pour expliquer les mêmes faits, mais à deux cadres en présence dirigeant leur attention et leurs ressources épistémiques vers des objets différents. Il faut désormais poursuivre l'enquête sur les écarts que Gaïa introduit sur les termes de "vie" et d'"environnement".

### **3.3 Le passage du biotique à l'abiotique, des ressources à une variable systémique, du local au global, du relationnel au substantif : quelle ontologie biologique pour ce nouvel environnement?**

La considération d'interactions entre les vivants et leur environnement *abiotique* et *global* a opéré des déplacements importants à propos des concepts de milieu et d'environnement, tels que ces concepts ont été introduits entre la fin du XVIII<sup>e</sup> siècle et le cœur du XIX<sup>e</sup> siècle, et tel qu'ils ont été mobilisés depuis par les sciences écologiques et évolutives. L'environnement au sein de la biologie darwinienne est d'abord fait d'autres vivants, avant d'être un environnement physico-chimique ainsi que CanguilhemMilieu l'a souligné. Et ce jugement vaudrait encore aujourd'hui, y compris pour qualifier les mouvements théoriques au sein de la biologie évolutive qui ont bien mis en avance l'importance des modifications locales de l'environnement abiotique par les vivants, comme la construction de niche, prenant en compte les constructions de barrages, de

terriers, de nids, etc. (Lewontin, 1983)<sup>15</sup>. Mais *in fine*, ce qui prime en biologie évolutive, c'est bien la manière dont cette influence sur le milieu physico-chimique se traduit en différence de fitness *entre les organismes d'une population*<sup>16</sup>. Au sein de Gaïa, l'environnement est un environnement purement abiotique, fait de luminosité solaire, de roche, de chimie de l'atmosphère et des océans. Ce qui prime, puisque le phénomène que l'on cherche à expliquer est différent, ce n'est plus un rapport de vivants à vivants. Vivre au sein de Gaïa ce n'est pas, comme c'est le cas pour la biologie évolutive "soumettre au jugement de l'ensemble *des vivants* une différence individuelle" [176]CanguilhemMilieu, (fût-elle une différence concernant un trait impliqué dans une modification de l'environnement abiotique) ; vivre, au sein de Gaïa, c'est prendre sa part individuelle à la modification et l'infléchissement des forces physico-chimiques du milieu, qui ne peuvent résulter que de l'action collective de l'ensemble des vivants, et qui doivent se traduire par un maintien de conditions permettant aux vivants, dans leur ensemble, de se maintenir dans ce milieu.

Gaïa a également opéré un déplacement important par rapport à la conception de l'environnement comme ressource, héritée de Malthus. Schématiquement, une partie de l'écologie et de la biologie évolutive hérite du paradigme malthusien une conception du milieu comme un ensemble de *ressources* : ressources qui permettent à un organisme de croître ou de se maintenir en vie lorsqu'il les consomme, ressources qui s'épuisent à mesure qu'elles sont consommées par les organismes croissant exponentiellement, et ressources pour lesquelles les organismes sont en compétition. Ces ressources sont des nutriments lorsqu'on s'intéresse à l'éco-physiologie des producteurs primaires, ou bien ce sont d'autres espèces biologiques, comme des plantes ou des proies, lorsque l'on s'intéresse aux herbivores et aux prédateurs. Dans la conception proposée par Gaïa, l'environnement typique n'est pas un ensemble de ressources, mais une variable systémique qui détermine la croissance des organismes, comme la température ou le pH. L'évolution de la croissance des organismes en fonction de cette variable n'est plus exponentielle comme dans le cas des ressources conçues comme un stock, c'est cette parabole centrée sur une valeur optimale (figure 1). Cette définition de l'environnement donne à voir un rapport très différent entre les vivants et le milieu : les vivants ne consomment pas une ressource qui diminue à mesure qu'elle est consommée ; ils font diminuer, *ou augmenter* cette variable environnementale selon leur type d'influence sur le milieu. Les vivants sont donc conçus comme un ensemble de forces, les uns tirant, les autres poussant telle ou telle variable environnementale. Les vivants ne sont pas en compétition pour cette variable environnementale : parce qu'elle est considérée comme globale et homogène, tous les vivants bénéficient (ou pâtissent selon leurs préférences) du même niveau de la variable. L'horizon inquiétant n'est pas celui d'un épuisement des ressources à mesure que les vivants croissent, c'est celui d'un déséquilibre des forces en présence ou d'une perturbation externe trop brutale qui affecterait la variable<sup>17</sup>

---

<sup>15</sup> Sur la construction de niche, voir Pocheville 2010 ; sur ses liens avec Gaïa et ce qui les sépare, voir Dutreuil et Pocheville 2015.

<sup>16</sup> Sur l'insuffisance de la théorie de la construction de niche pour rendre compte des déplacements conceptuels opérés par une attention à l'effet des vivants (et des plantes en particulier) sur un milieu ambiant incluant l'ensemble des vivants, voir les pages lumineuses qu'Emanuele Coccia (2016, p. 59sq.) consacre à cette question.

<sup>17</sup> Ce décalage par rapport à la conception malthusienne des ressources doit être distingué d'une autre conception s'écartant elle aussi du paradigme malthusien et qui a en partie nourri Gaïa : celle des cycles chimiques de la matière et du recyclage, établie dès le XIX<sup>e</sup> siècle et à l'œuvre dans les études des cycles biogéochimiques contemporains (sur l'histoire des conceptions des cycles de l'eau et de éléments chimiques, voir les travaux en cours de Jean-Baptiste Fressoz, Galvez et Gaillardet, 2012 ; Hamlin, 1985, 1986 ; Marald 2002), ainsi que les travaux de Jacques Grinevald 1987, 1990, 1998). Ici, l'environnement reste une ressource, mais cette ressource peut croître au même rythme qu'une population donnée, si des boucles de

Avec Gaïa, on passe également d'une conception dans laquelle il existe *des* environnements (ou des niches) ou des *milieux* environnant différents types de vivants à une conception dans laquelle il n'existe qu'un environnement unique. Dans les travaux des médecins hygiénistes, des anthropologues, des biologistes du XVIII<sup>e</sup> et du XIX<sup>e</sup> siècle la *pluralité* (allant de pair avec le caractère *local*) des conditions d'existence ou des milieux avait un rôle explicatif central : de la pluralité des milieux découlait la diversité des caractéristiques des vivants qui les habitaient. De même, dans de nombreuses théories écologiques du XX<sup>e</sup> siècle centrées sur le concept de niche, la pluralité des niches écologiques joue un rôle explicatif important pour rendre compte de la diversité biologique (Griesemer 1992, Pocheville, 2010). Mais l'environnement global de Gaïa est un environnement unique, uniforme et homogène<sup>18</sup>. Si Gaïa perd la pluralité des milieux, notons qu'il n'est pas question, dans ce cadre, d'*expliquer* la diversité biologique. Au contraire, les variations de la biodiversité sont vues comme un mécanisme rendant compte du phénomène à expliquer : la régulation de l'environnement global (Lovelock, 1992). Le partage du même milieu par les vivants et les échanges incessants entre les vivants et leur milieu vient interrompre les causes finales des organismes en brouillant les frontières de leurs intentions et intérêts (*Face à Gaïa*, p. 133).

Le déplacement depuis *des* environnements *locaux* à un environnement *global* s'est accompagné d'une perte du caractère relationnel du concept d'environnement. L'environnement ou le milieu a toujours été l'environnement ou le milieu d'un vivant<sup>19</sup>. Les philosophes et historiens des concepts de milieu et d'environnement ont bien montré que ces termes avaient été formés pour penser les relations qu'un *organisme* ou qu'une *population d'organismes* entretient avec ce qui lui est extérieur<sup>20</sup>. Le déplacement depuis

---

recyclage efficaces se mettent en place : l'environnement n'est pas maintenu par des *forces* agissant en des directions contraires (comme dans Gaïa) mais par des *cycles*. Dans le cas des cycles, les relations entre les vivants et leur milieu ne sont pas non plus conçues sur le mode de la compétition et de l'exclusion compétitive, mais sur celui de la complémentarité.

<sup>18</sup> Il est d'ailleurs significatif de constater que les exemples empiriques d'Gaïa sont plus volontiers pris dans les sciences de l'océan et de l'atmosphère qu'en écologie terrestre : tandis que les organismes peuvent avoir un effet sur leur environnement local sur terre, et créer leur propre milieu – en construisant une termitière, modifiant localement la composition d'un sol, etc. – ils ne peuvent créer des environnements "locaux" de la même manière dans l'océan ou l'atmosphère.

<sup>19</sup> Je dois le repérage de ce dernier déplacement à Philippe Huneman.

<sup>20</sup> Huenman (2008) a ainsi montré que c'est originellement la constitution du concept d'organisme à la fin du XVIII<sup>e</sup> siècle qui a corrélativement permis l'instauration d'une réflexion sur ce qui est extérieur à l'organisme : son milieu ou ses conditions d'existence. L'ouverture de l'organisme vers ce qui lui est extérieur s'est d'abord faite au sein de l'économie animale (p. 76) puis a été poursuivie à la fin du XVIII<sup>e</sup> siècle par les réflexions de Buffon sur le concept d'espèce dans les *Epoques de la nature* et celles de Kant sur l'organisme (*Ibid.* p. 198-199) et par la formulation du principe des conditions d'existence par Cuvier (*Ibid.* 341-355). Trevor Pearce (2010) a montré que l'introduction du terme d' "environnement" par Spencer a contribué, au sein de la biologie et de l'anthropologie anglo-saxonne, à l'instauration de deux termes – l'organisme et son environnement – autorisant dès lors une réflexion sur les interactions existant entre ces deux termes. En outre, au moment même où se dessinent en Angleterre les contours de la biologie contemporaine de l'évolution et de l'écologie, un autre courant entreprend une réflexion générale sur la notion de milieu, ainsi que la thèse remarquable de Ferhat Taylan (2014) l'a récemment démontré. Ce courant prend ses racines dans les développements importants que Comte a fait du concept de milieu, s'inspirant de Cuvier et surtout de Lamarck, et se prolonge dans la mésologie (ou science du milieu) de Bertillon TaylanThese.

des environnements locaux vers un environnement global semble ainsi en partie vider de sa substance le concept de milieu ou d'environnement, en lui faisant perdre son caractère relationnel : on ne sait plus *de quels vivants* l'environnement global est l'environnement. D'ailleurs la littérature sur Gaïa fait une impasse importante sur le statut des individus biologiques qui habitent Gaïa. Les auteurs parlent d'"organismes" dans leurs textes et leurs modèles, mais compte tenu des échelles de temps et d'espace qui intéressent Gaïa, les entités biologiques pertinentes à prendre en compte ne peuvent être des organismes individuels. Il est d'ailleurs symptomatique que le modèle central de Gaïa fasse référence à des pâquerettes géantes fictives : l'imaginaire, les exemples et les catégories biologiques classiques font défaut pour penser les vivants habitant Gaïa. C'est ce que Latour a bien souligné en prenant en compte à la fois les apports de Margulis, montrant l'entrelacement des individus à l'échelle des cellules et faisant voler en éclat la catégorie d'individu au profit de réseaux d'interactions ; et celui de Lovelock se passant du concept d'environnement et de totalité.

J'ai proposé ailleurs une interprétation sémantique de l'usage qui est fait du terme "vie" dans la littérature sur Gaïa, qui me semble utile pour comprendre l'ensemble de ces déplacements Dutreuil (2018b, 2016). En biologie on utilise "vie" comme un terme général, comme un universel, comme un terme d'espèce naturelle, ou un terme de classe dont les organismes (telle paramécie, tel gnou) sont les instances. C'est l'usage qui est fait par les scientifiques et philosophes cherchant à définir la vie en proposant une liste de propriétés nécessaires et suffisantes d'appartenance à la classe. Ce premier usage, dominant (désormais "vie-classe"), contraste avec un second usage pour lequel les vivants individuels ne sont pas des *instances* du terme "vie", mais des *parties* d'une entité : Vie (majuscule)<sup>21</sup>. Vie (majuscule) désigne une entité localisée dans l'espace et dans le temps : l'ensemble des "êtres vivants" ou des "organismes" qui se sont succédés sur Terre depuis l'apparition du premier, liés entre eux par des relations généalogiques. C'est l'hypothèse fondamentale de l'arbre de la vie de Darwin : tous les organismes sont apparentés entre eux et descendent d'un unique ancêtre commun ; ce faisant ils constituent un lignage unique, un seul buisson généalogique (l'entité Vie). Cette hypothèse est étendue et compliquée par les entrelacements "à la Margulis" et les transferts horizontaux (et non plus seulement verticaux) de gènes (Baptiste 2017), qui redouble et renforce les liens matériels qui mêlent l'ensemble des organismes depuis le début de l'histoire de la Vie (Vie-entité). Le terme "Vie" au sens de Vie-entité est alors du même type grammatical que le terme "Terre" : il doit être compris comme un nom propre, ou éventuellement comme un concept n'ayant qu'une seule instance, désignant l'entité Vie. C'est cet usage qui est selon moi implicitement fait par Lovelock et Margulis lorsqu'ils utilisent le terme "life" ou "biosphere", e.g. : "Tôt après que la vie ait commencé, elle a acquis le contrôle de l'environnement planétaire et [...] cette homéostasie par et pour la biosphère a persisté depuis" (Lovelock et Margulis, 1974, p.2). Clarifions encore la différence entre vie-classe et vie-entité : lorsque les vivants au sens de vie-classe se reproduisent, c'est vie-entité qui se déploie dans l'espace et dans le temps. Gaïa peut ainsi être interprétée de manière large comme le déploiement théorique de questions nouvelles, portant sur les propriétés écologiques de cette nouvelle entité (Vie-entité), qui n'avaient auparavant pas été considérées par les disciplines de la biologie s'intéressant à l'histoire de la vie (ni par la paléontologie ou la paléobiologie, ni par la biologie de l'évolution). De l'introduction d'une nouvelle entité dont il s'agit d'étudier les propriétés empiriques d'une part (Vie-entité), et de l'intuition métaphysique fondamentale de Gaïa portant sur le caractère prodigieux de la vie d'autre part découlent la série de déplacements corrélatifs que

---

<sup>21</sup> J'utilise le terme d'entité ici. Dans un autre texte je parlais d'individu (par opposition à classe) au sens d'entité localisée dans l'espace et dans le temps, prolongeant la thèse de Ghiselin (1974) et Hull (1978) à propos des espèces biologiques. Afin d'éviter les confusions et de refaire de Gaïa ou de la vie un individu au sens d'organisme biologique, j'utilise entité.

nous avons repérés : Vie-entité recouvre l'ensemble des vivants (classe) et une fois que la Vie (Vie-entité) émerge sur une planète, elle colonise l'ensemble de la planète et se met à influencer l'environnement à une échelle globale et non plus locale – de là le fait que l'environnement soit abiotique et global. L'environnement conserve alors bien une dimension relationnelle même s'il n'est plus l'environnement *des organismes ou des populations* : c'est l'environnement *de Vie-entité*. De l'excès de la vie sur l'environnement abiotique découle l'idée que la vie et son environnement constituent un système dans lequel il est difficile de distinguer la vie de l'environnement. Les problèmes posés aux vivants(-classe) cessent d'être des problèmes de compétition pour des ressources dès lors que l'enjeu est pour Vie(-entité) de constituer une force suffisante pour contrer l'effet d'une perturbation externe affectant une variable systémique ou dès lors que l'on considère qu'il se trouvera toujours une innovation évolutive ou une modification écologique pour recycler une ressource qui deviendrait limitante. Plutôt que de substituer une métaphysique à une autre et de proposer une théorie explicative de l'adaptation et de l'altruisme à une autre (Gaïa contre Darwin, ou Gaïa contre le néo-darwinisme), Gaïa propose un nouvel observable (Vie-entité) qui n'existait pas auparavant, dont les propriétés, différentes de celles des organismes biologiques classiques, n'avaient pas été étudiées. Gaïa n'offre donc peut-être pas une nouvelle *conception* "de la vie", mais un nouvel objet biologique saisi comme processus unifié et planétaire, présent sur Terre depuis plus de trois milliards d'années<sup>22</sup>.

## **4 Une nouvelle conception et politique de la Terre et de la nature**

Au-delà des déplacements opérés sur la manière dont nous pensons la vie et son rapport au milieu, Gaïa a plus largement offert une philosophie de la nature et une politique de la Terre.

### **4.1 Une tension entre relocalisation de la nature et globalisation de l'écologie**

La philosophie de la nature de Gaïa a reconfiguré deux philosophies de la nature. D'un côté Gaïa a été l'occasion d'une relocalisation de la nature moderne : fini le cosmos infini, retour sur Terre dans un monde sublunaire animé :

Il est difficile de ne pas être frappé par la symétrie renversée entre les gestes de Galilée et de Lovelock levant de modestes instruments vers le ciel pour y faire des découvertes radicalement opposées. (...) Tandis que Galilée, levant les yeux de l'horizon vers le ciel, renforçait la similitude entre la Terre et tous les autres corps en chute libre, Lovelock, baissant les yeux à partir de Mars dans notre direction, *diminue* en fait la similitude entre toutes les planètes et cette Terre si particulière qui est la nôtre. Latour, 2015, p. 102 et 105

Les observations de la Lune par Galilée allaient mener du monde clos à l'univers infini, suivant l'expression de Koyré, et la Terre allait perdre son caractère d'exception. Symétriquement, les observations de la composition chimique de Mars et Vénus, et la comparaison de celles-ci avec celle de la Terre, allaient redonner à la surface de la Terre ce caractère d'exception qu'elle avait perdu. La Terre se réanime de part en part à mesure que les vivants croissent et métabolisent à sa surface ; l'atmosphère de la Terre s'écarte de l'équilibre thermodynamique ce qui la rend singulière relativement à Mars et Vénus. Cette singularité ontologique s'accompagne de revirements méthodologiques. Ce qu'il faut suivre à la trace, ce n'est plus la physique du système solaire et des planètes, mais l'activité des

---

<sup>22</sup> Ces lignes me semblent juste si elles qualifient Gaïa telle que conçue par Lovelock *et Margulis*. Elles le sont moins si elles visent à qualifier la philosophie de la vie de Margulis, entrée en opposition frontale avec les biologistes *à propos des mêmes entités*. Je dois à Baptiste Morizot l'argument sous-tendant ce dernier paragraphe.

vivants. La trajectoire historique de la NASA est symptomatique de ce revirement : les programmes d'exobiologie et l'étude de la Terre occupaient une place marginale dans les budgets et les programmes de la NASA dans les années 1960 ; mais voilà qu'à partir des années 1980 l'agence *spatiale* devient une agence centrale pour l'étude *de la Terre et de l'environnement* avec le déploiement des sciences du système Terre et de satellites braqués sur la Terre. Les rebondissements récents font d'ailleurs écho aux directions envisagées par *Où atterrir* LatourOuAterrir : Trump "tourne le dos" à la Terre, et a renvoyé la NASA sur Mars et dans le système solaire.

Dans le même mouvement par lequel Gaïa relocalise et revitalise la nature moderne, Gaïa bouleverse une autre philosophie de la nature, entrée de longue date en résistance avec la nature de la modernité Merchant (1980): celle de l'écologie, de l'environnement, des écosystèmes, des milieux. L'élévation au global des problématiques et des concepts de l'écologie, une science des relations et des équilibres locaux, ne s'est pas faite sans heurt. Cette élévation au global a non seulement reconfiguré l'écologie comme discipline scientifique, ses instruments, ses méthodes, et ses institutions (Kwa, 2005, b), mais elle a aussi emporté avec elle et bouleversé une cosmologie, une anthropologie, une philosophie. Dans le sillage immédiat de l'effervescence sur les "changements globaux" des années 1980, Tim Ingold soulignait la différence qualitative radicale entre les perspectives globales et locales :

La différence entre elles, je le maintiens, n'est pas une différence de degré hiérarchique, d'échelle, de complétude, mais de type. En d'autres termes, la perspective locale n'est pas une appréhension plus limitée ou plus étroitement focalisée que le global, c'est une perspective qui repose sur un *mode* d'appréhension – un mode qui est basé sur un engagement actif et perceptif avec les composants du monde au sein duquel on habite, dans l'affaire pratique de la vie, plutôt que sur l'observation détachée et désintéressée d'un monde à part. (Ingold, 1993, p. 38)

Ingold ne s'intéresse pas à Gaïa mais contraste ici la vision du globe depuis l'espace par un observateur détaché de la Terre et l'environnement local vécu par les organismes et les humains, pris dans leurs milieux. Ce décalage du local au global a également occasionné un bouleversement du cadre des éthiques environnementales adaptées aux échelles de la communauté, et initialement non adaptées pour prendre en charge des objets globaux<sup>23</sup> ; mais aussi des cadres politiques pour traiter les questions environnementales (Aykut et Dahan 2015).

C'est dans cette tension entre la globalisation de l'écologie, de sa cosmologie et de ses problèmes, et la relocalisation du cosmos moderne sur Terre que Gaïa a été prise. Rétrospectivement, on peut dire que *Face à Gaïa* parvient à amoindrir cette tension en remettant en question le caractère "total" et "global" de Gaïa, et en soulignant l'importance de la complémentarité des points de vue de Lovelock (la NASA et la Terre vue de l'espace) et de Margulis (les entrelacements microbiens). On pourrait renforcer l'argument en revenant sur le caractère réticulaire et ancré de Lovelock : ce sont moins les données des satellites qui l'intéressent que la mesure et le suivi à la trace, les bottes au pied, de composés chimiques.

---

<sup>23</sup> Une éthique de la communauté biotique a peut-être tout son sens lorsque des individus se sentent pris, dans leur rapport au monde, dans une communauté locale, mais le changement d'échelle au niveau global affaiblit considérablement voire dissout ces liens. Cela donne lieu, chez Callicott (2014) à une élévation considérable des accents métaphysiques pour essayer de donner corps à une éthique globale ; ou chez Larrère et Larrère (2015), après une analyse des enjeux globaux, à une relocalisation des solutions dans le domaine du *care*, des relations et des attachements.

## 4.2 Gaïa est vivante : l'extension vitale des organismes plutôt que le système, le tout et les parties

*Face à Gaïa* a vigoureusement combattu la comparaison de Gaïa à un organisme, évoquant l'idée d'une totalité. L'examen du statut de cette comparaison, de l'ontologie de Gaïa et des méthodologies déployées pour l'étudier donnent en effet une vision beaucoup plus nuancée et complexe que la perspective suivant laquelle Gaïa serait, comme un organisme, un grand tout composé de parties.

Les raisons pour lesquelles la Terre est comparée à un organisme vivant sont particulièrement utiles pour éclairer la tension entre globalisation de l'écologie et relocalisation de la nature. Deux lectures de cette comparaison sont possibles, l'une *top-down*, partant d'une analyse des systèmes ; l'autre *bottom-up*, partant des bactéries et étendant les frontières vitales des organismes.

La première lecture de cette comparaison est celle de l'analogie : si la Terre est un organisme c'est parce que certaines similitudes semblent exister entre le fonctionnement du système Terre et celui d'un organisme. Ici, le lien central entre un organisme individuel et la Terre n'est pas un rapport d'inclusion (de parties dans le tout, de nœud dans un réseau de relations, etc.), c'est un rapport formel : le même type de relation et de comportement peut être observé pour un organisme et pour le système Terre. La vision *top-down* de la Terre vue de l'espace, le fait que Lovelock soit un ingénieur (ayant passé sa vie à construire des machines dont les parties s'ajustent les unes aux autres pour former un tout ayant une fonction) et ses travaux dans le domaine biomédical alimentent cette première lecture. Les différences entre une analogie mécanique, comparant une entité à une machine, et une analogie organique, la comparant à un organisme sont en effet moins importantes qu'on ne le dit souvent. Cela vaut pour les débats philosophiques qui se sont noués de Descartes à Kant entre mécanisme et vitalisme (Canguilhem, 1965 ; Huneman 2008 ; Schlanger 1995). Et cette frontière s'est encore davantage estompée à mesure que le cadre des systèmes complexes a reconfiguré l'ontologie pour penser les organismes et les machines : les machines cybernétiques, les circuits électroniques, les organismes, les écosystèmes, le système Terre, tout comme "la société" pour Latour, sont faits de réseaux complexes d'entités interagissantes, de feedback, d'informations, suivant la cybernétique d'après-guerre, ou d'énergie et d'entropie suivant la thermodynamique, plutôt qu'ils ne sont faits de poulies, de cordes, de coins, de ressorts et de tuyaux, comme l'animal machine du XVII<sup>e</sup> siècle. Suivant la première lecture, si la Terre est un organisme (ou un thermostat) c'est simplement au sens où des relations d'analogies (Terre-thermostat ou Terre-organisme) lient leur composition et leur fonctionnement, parce que la Terre et les organismes sont tous les deux des exemples de systèmes complexes.

Pour Latour (2016), Gaïa n'est pas plus un organisme qu'un thermostat. Suivant une seconde lecture, si Gaïa est vivante, ce n'est pas du tout parce qu'elle entretient avec les organismes des rapports de similitudes, quoiqu'elle le fasse sans doute, mais c'est parce qu'elle est une *extension vitale des organismes*. Cette lecture ne part pas d'une vision *top-down* de la Terre depuis l'espace, elle part de l'écologie bactérienne de Margulis et de la biochimie des cellules de Lovelock. Lovelock a effectué des travaux pionniers sur l'effet des congélations des cellules montrant que les dégâts cellulaires ne sont pas causés par les cristaux de glace mais par les variations de la salinité (Lovelock, 1953, a, b):

La congélation expose les cellules à des solutions concentrées en sel et la décongélation depuis l'état gelé les soumet à des stress suffisamment fort pour briser les cellules endommagées par le sel. Cette connaissance est restée avec moi et quant plus tard l'idée de Gaïa, une Terre auto-régulée, est venue, j'ai commencé à me demander comment la salinité de la mer était restée en-dessous de 5 %. Elle l'a fait pendant plus de 3 milliards d'années, sinon la vie marine n'aurait pas survécu. (Lovelock, 2000, p. 105)

Si là encore le passé médical ou biochimique de Lovelock joue un rôle important dans la comparaison de Gaïa à un vivant, c'est pour une toute autre raison : il n'est plus question

de la transposition d'un cadre général d'analyse, des problèmes et des concepts (feedback, système et homéostasie), mais de réflexions sur les variations de l'environnement de la surface de la Terre comme *milieu physiologique* dans lequel vivent des organismes ne pouvant tolérer que certaines conditions. Et si Gaïa est vivante, c'est parce que le milieu physiologique global est devenu une *extension vitale* de l'ensemble des vivants (ou de Vie-entité). L'atmosphère n'est alors plus homéostatique *comme* les organismes, elle est directement une *partie* des vivants (de Vie-entité), c'est-à-dire une construction qui fait partie des vivants "comme la fourrure d'un vison ou la coquille d'un escargot" (Lovelock, 1972, p. 580). Ce n'est jamais aussi explicitement dit que dans une lettre que Lovelock écrit à Margulis au tout début de leur collaboration. Réfléchissant aux conséquences de certaines réflexions, voici ce que Lovelock écrit :

I agree with you that it would be read to imply that the atmosphere was a living part of the world"  
Lettre de Lovelock à Margulis, février, 1972.

La formulation la plus pédagogique de cette lecture me semble être celle du physiologiste Scott Turner (2000) ayant travaillé sur la physiologie des termites. Lorsque l'on s'intéresse à la physiologie des termites, on ne peut faire abstraction du fait qu'ils vivent dans un milieu particulier, isolé par la termitière qu'ils ont élaboré, et au sein de laquelle la température et la concentration en gaz comme le CO<sub>2</sub> sont contrôlées par les termites qui peuvent modifier, par exemple, l'aération et l'orientation de la termitière. Autrement dit si l'on s'intéresse à la physiologie des termites, on doit reconnaître que l'activité physiologique par excellence depuis Claude Bernard, c'est-à-dire la régulation de certaines variables vitales, n'est pas seulement exercée sur le "milieu intérieur" de Bernard (ici, à l'intérieur des frontières matérielles délimitées par l'exosquelette de chacun des termites), mais est également exercée à l'extérieur de ces frontières matérielles, au niveau même de la termitière. Suivant la seconde interprétation, on part donc du bas, de l'activité métaboliques des vivants, et, en suivant à la trace cette activité, on se retrouve pris dans des boucles de rétroactions globales, médiées par les enveloppes fluides de la surface de la Terre que sont l'océan et l'atmosphère : la surface de la Terre est vivante *parce que* la sphère d'influence des vivants s'étend bien au delà des frontières des organismes jusqu'à l'ensemble de la surface de la Terre.

Suivant la première lecture, le microcosme et le macrocosme ne sont liés que par des rapports de similitude et d'analogie. Suivant la seconde, le microcosme et le macrocosme sont liés par des rapports écologiques : le microcosme n'est plus contenu dans les frontières matérielles des cellules des vivants mais s'étend en dehors et revitalise le macrocosme. La seconde lecture sort la physiologie des frontières matérielles des vivants et voit Gaïa comme le déploiement d'un programme de recherche sur la physiologie et l'écologie de Vie-entité. La comparaison de la Terre à un organisme a été accompagnée de revendications holistes et de critiques du réductionnisme, renvoyant à de longs débats ayant traversé aussi bien la constitution des sciences sociales que l'histoire de la biologie du XX<sup>e</sup> siècle, deux champs d'investigation qui n'ont cessé de s'entre-emprunter tour à tour leurs métaphores pour penser les relations entre le tout et les parties (Canguilhem, 1977 ; Dupre, 1993 ; Latour, 2006 ; Latour et al 2012, Schlanger, 1995). De là en partie l'intérêt de Latour pour Gaïa : l'ontologie de Gaïa serait aux sciences de la nature et de la Terre ce que l'ontologie de la théorie de l'acteur réseau est aux sciences sociales. La présentation des deux lectures possibles d'une Gaïa vivante (analogie et extension vitale) apporte des éclairages sur ces questions importantes de tout et de parties. Le slogan principal du holisme suivant lequel "le tout est supérieur à la somme des parties" a donné naissance à des débats qui se sont structurés autour des relations entre le tout et des parties ou entre des *niveaux d'organisation* : les individus et la société ; les gènes ou les molécules et l'organisme ; les organismes et l'écosystème. Les débats portent alors sur des questions métaphysiques comme celle de savoir si le tout existe réellement ou possède des propriétés émergentes ; sur des questions épistémologiques comme celle de savoir si le tout peut être en principe expliqué par des propriétés des parties ; ou encore sur des questions méthodologiques

comme celle de savoir lequel des niveaux, du tout et des parties, doit être le niveau privilégié d'investigation.

Dans le prolongement de la lecture suivant Gaïa est *analogue* à un organisme, une première interprétation possible du holisme de Gaïa consiste à prendre au sérieux les affirmations littérales de Lovelock et à transposer le problème, formulé en termes de "niveaux" ou de "tout et de parties" : une méthodologie holiste étudiant la Terre prend en compte les interactions entre toutes les parties du système Terre (océan, atmosphère, lithosphère, etc). Latour refuse les termes de ce débat et donc de prendre au sérieux les slogans holistes de Lovelock lui-même<sup>24</sup>. Et en effet, ce calquage des termes du débat à Gaïa se heurte à deux arguments. Le premier est de nature historique : dans les années 1970 (mais avant également), les climatologues, de même que les biogéochimistes et que les géochimistes, étudiaient *déjà* un système "global" comprenant l'atmosphère, l'océan et la lithosphère ; simplement les propriétés de ces "composants" qui entraient en jeu dans les différents contextes d'enquête étaient distinctes. À ce titre l'originalité de Gaïa et le "holisme" post-1970 ne peut pas être interprété comme la soudaine prise au sérieux des interactions entre différentes parties ou sphères de la Terre. Le second est de nature conceptuelle : certains systèmes complexes ne se prêtent pas à une analyse en termes de niveaux (Wimsatt 1994). D'ailleurs le dessin de Lovelock rendu célèbre par l'exposition de ses archives au *Science Museum* et représentant Gaïa en la comparant à un thermostat ne représente pas de parties ou de niveaux (fig. 2). Son successeur, Lenton, suivant un cadre hérité de l'analyse des systèmes dynamiques, décompose Gaïa non pas en parties mais en échelles de temps distinctes auxquelles ont lieu les différents processus du système Terre. Pour Latour (2015, 2016), c'est l'apport central de Gaïa que d'avoir aboli cette distinction entre tout et parties au profit d'une ontologie faite de connexions entre entités actives : les auteurs de Gaïa naviguent en évitant à la fois les écueils du holisme (celui de présupposer l'existence d'une totalité) et ceux du réductionnisme (diminuant l'intensité des activités des entités) .

---

<sup>24</sup> Sur ce refus de prendre au sérieux les discours au profit d'une analyse des pratiques de Lovelock, voir, dans une autre veine (Bergandi 1998, 2000).

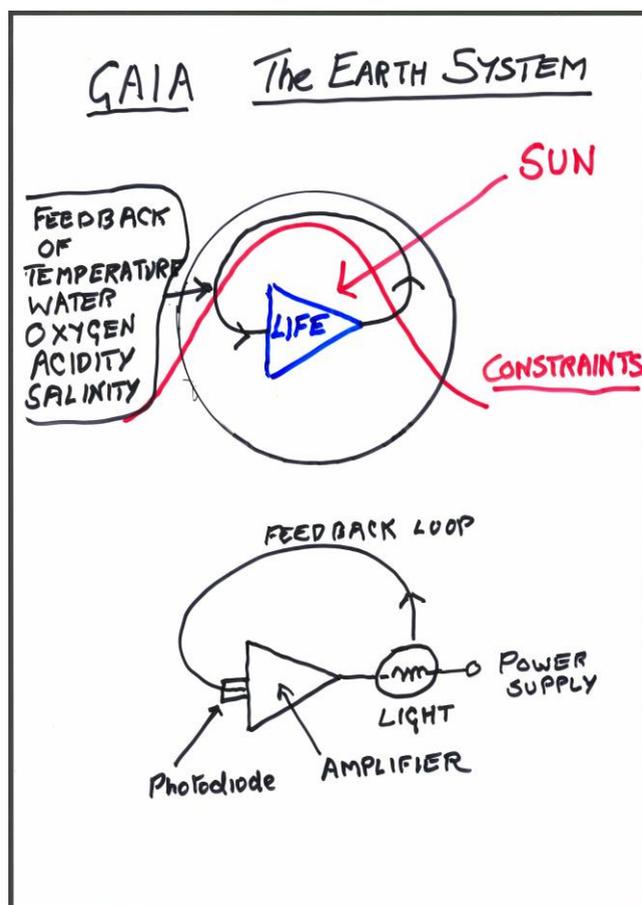


FIG. 2: Dessin de Lovelock représentant Gaïa ou le système Terre, non daté.  
Copyright Science Museum / Science & Society Picture Library.

Le holisme de Gaïa et des sciences du système Terre n'est donc pas un holisme classique "de niveaux", mais un holisme "d'inclusion" qui met en avant l'intégration des domaines ou des perspectives : non pas l'intégration de l'atmosphère, la biosphère et les océans compris comme parties ; mais des domaines de la physique, de la chimie, de la biologie, compris comme types de propriétés et de processus. Cette interprétation s'accorde mieux avec la dynamique historique à laquelle on a assisté au moment des revendications holistes : le rassemblement de l'étude du système climatique et de celle de l'étude du système biogéochimique, la prise en compte des vivants dans le système (que cela soit dans l'océan, l'atmosphère ou sur Terre) – Dutreuil 2016. Elle s'accommode également bien mieux avec l'ontologie de Gaïa, du système Terre, et des systèmes complexes plus généralement, difficiles à décomposer en parties ou en niveaux bien identifiés.

Deux types de holismes peuvent donc être distingués : l'un émergentiste affirmant que le *tout* est supérieur à la somme des parties et postulant l'existence d'une totalité ; l'autre, d'inclusion, suggérant que pour décrire un système il faut tenir compte de *tous* les types d'entités, des processus et des propriétés qui agissent dans le système. Le holisme d'inclusion prolonge l'analyse suivant laquelle Gaïa est vivante car elle est l'extension vitale des organismes : si les phénomènes vitaux ne s'arrêtent pas à la membrane et l'épiderme des vivants mais ont une ampleur globale il faut recenser, suivre à la trace et *inclure* les connexions et les interactions des vivants avec tous les phénomènes physiques, chimiques et géologiques auxquels ils sont liés. Cette analyse livre des clefs importantes pour éclairer le double mouvement opéré par Gaïa, la relocalisation de la nature et la globalisation de l'écologie : les vivants ne s'inscrivent plus dans le cosmos infini de la physique, mais dans le réseau dense des interdépendances qu'ils créent, dans leur milieu

constitué de part en part d'extensions des vivants, et dont l'ampleur est, de fait, globale. La localisation des enjeux à une échelle globale plutôt que locale ne résulte donc pas d'un jeu de points de vue : elle n'est que la conséquence du fait que l'extension vitale des vivants s'étend à cette échelle, et, ce faisant, constitue même cette échelle. C'est un argument décisif et conclusif de Face à Gaïa : le "climat" ou le milieu "se répand, il diminue ou il meurt avec les [vivants]" (p. 141).

### 4.3 La politique de la Terre de Lovelock

Pour Lovelock, Gaïa n'est pas seulement une philosophie spéculative de la nature. Elle fournit un cadre permettant de penser notre relation à l'environnement global duquel il s'autorise à dériver des prescriptions environnementales, elles, très concrètes. Ces prescriptions politiques ont été explicitées et développées avec le plus de force dans son ouvrage le plus vendu : *La revanche de Gaïa*. Militant pro-nucléaire, défenseur d'une utilisation de la géoingénierie, Lovelock y propose de considérer les droits humains comme des droits secondaires devant les droits de Gaïa et de suspendre la démocratie pour affronter la crise environnementale.

En 1990, pour la série fondatrice de conférences des *Linacre Lectures* de l'Université d'Oxford, intitulée *Monitoring the environment*, voici ce que disait Lovelock dans une intervention intitulée "La Terre n'est pas fragile" :

Nous ne sommes pas les gestionnaires ou les maîtres de la Terre, nous sommes simplement des délégués syndicaux, des travailleurs choisis en raison de notre intelligence, comme représentants pour les autres, le reste des formes de vie de notre planète. Notre syndicat représente les bactéries, les champignons, et les moisissures aussi bien que les *nouveaux riches* que sont les poissons, les oiseaux et les animaux et l'établissement terrestre des arbres nobles et des plantes inférieures. En effet toutes les choses vivantes sont membres de notre syndicat et elles sont en colère contre les libertés diaboliques prises par les gens avec leur planète et leurs vies. Les gens devraient vivre en accord avec les autres membres, pas les exploiter eux et leurs habitats. Quand je vois la misère que nous leur infligeons et nous nous infligeons, je me dois de prendre la parole comme délégué syndical. Je me dois d'avertir mes compagnons humains qu'ils doivent apprendre à vivre en partenariat avec la terre, sinon le reste de la création, comme partie de Gaïa déplacera inconsciemment la Terre elle-même dans un nouvel état, un état où les humains ne seront désormais plus les bienvenus (Lovelock, 1992, p. 121–122).

Qu'on ne se trompe pas sur la signification et la portée des accents démocratiques : la conception de Lovelock est beaucoup plus proche de celle de *Earth first*, plaçant l'équilibre de la Terre très haut devant toute préoccupation humaniste, que d'un "parlement des choses" (Latour, 1999), proposant de faire entrer les non-humains dans les démocraties contemporaines, les sols et les océans dans les négociations internationales sur le climat<sup>25</sup>. La conception de Lovelock ne laisse pas de place à la négociation, fût-elle médiée par des institutions politiques nouvelles. C'est le thermostat planétaire, aidé de la sélection naturelle, qui fixe les règles :

Gaïa offre une alternative bienvenue à l'humanisme biblique. Dans Gaïa, nous sommes une partie et les partenaires d'une entité démocratique. Les règles affirment, à travers la sélection naturelle, que les espèces qui nuisent à l'environnement sont déchues par le vote (*voted out*) (Lovelock, 1990, p. 42).

Il en va ainsi des humains dans Gaïa comme des pâquerettes dans Daisyworld : laissez-les agir sur l'environnement et le nécessaire maintien de l'équilibre physico-chimique éliminera ceux qui porteraient atteinte à cet équilibre. Évidemment, on retrouve entièrement intacts les problèmes normatifs de Daisyworld : on ne sait jamais, avec Lovelock, pour le bien de qui les fonctions planétaires doivent être maintenues. Les tenants du discours de l'anthropocène ont à raison été critiqués parce que ce discours ne tient aucunement compte

---

<sup>25</sup> Sur ce dernier point, cf. le théâtre des négociations <http://www.nanterre-amandiers.com/2014-2015/make-it-work-le-theatre-des-negociations/> (consulté le 10/09/2016) précédant la COP21.

de l'inégale répartition de la responsabilité des humains dans les changements globaux. Les problèmes du discours gaïen sont plus profonds encore :

La théorie Gaïa force une perspective planétaire. C'est la santé de la planète qui importe, pas celle de certaines espèces individuelles d'organismes. C'est ici que Gaïa et les mouvements environnementalistes, qui représentent les gens et non la planète, se séparent. (...) Je voudrais seulement prendre la parole pour Gaïa parce qu'il y en a si peu qui le font, comparé aux multitudes de ceux qui parlent pour les gens. (Lovelock, 1995, p. xix, xx)

Les prescriptions politiques de Lovelock ont tantôt été laissées de côté ou ignorées comme gênantes par ceux qui ont vu dans Gaïa une occasion de repenser la nature, tant elles semblaient parfois opposées aux idéaux écologistes – c'est d'ailleurs une des impasses de *Face à Gaïa*. Elles ont tantôt été mises en avant par les anti-écologistes pour montrer que même Lovelock, présenté comme un guru de l'environnementalisme, a pu considérer par moment que le changement climatique n'était pas un problème si sérieux que cela, et soutenir l'industrie nucléaire<sup>26</sup>.

Pour comprendre les enjeux soulevés par Gaïa on ne peut ni ignorer les prises de position de Lovelock comme une excentricité récente d'un scientifique vieillissant, ni faire l'erreur d'interprétation consistant à aligner l'agenda idéologique de Lovelock, au moment où il élabore Gaïa, à celui des écologies politiques. Pour éviter ces deux écueils, il est utile ici de mobiliser l'éclairage historique montrant qu'au moment de l'élaboration de Gaïa, Lovelock doit être considéré non pas (seulement) comme un scientifique indépendant retiré du monde et spéculant sur la vie et la nature mais (surtout) comme un scientifique entrepreneur dont les préoccupations quotidiennes sont toutes liées à des problèmes de pollution globale.

Les prises de position politiques de Lovelock ne datent en effet pas de *La revanche de Gaïa* ; elles traversent tous ses écrits et toutes ses réflexions depuis les débuts de l'élaboration de Gaïa : les conclusions de ses articles scientifiques sur Gaïa, ses textes publiés dans les revues de la contreculture américaine et de l'écologie politique britannique, ses textes scientifiques grand public comme ses livres ou des articles parus dans *New Scientist*. Gaïa est constamment mobilisée dans les années 1970 tantôt pour apporter une perspective particulière sur le changement climatique, tantôt dans le cadre de la controverse sur l'ozone, ou encore celle sur les pluies acides. Deux invariants profonds traversent ainsi les décennies : la dénonciation de l'agriculture comme responsable de tous les maux environnementaux (et une défense corrélative de l'industrie) ; l'utilisation de Gaïa comme cadre général pour aborder les problèmes environnementaux, changer notre conception de ce qu'est une pollution ou une atteinte à l'environnement. Je ne prendrais qu'un exemple ici <sup>27</sup> : le DMS. Ce composé soufré émis par le plancton a été rendu célèbre lorsqu'il a été présenté par Lovelock et ses collègues comme étant impliqué dans une boucle de régulation du climat (Charlson et al. 1987). Rétrospectivement Lovelock présente ses premières recherches sur le DMS (Lovelock et al. 1972) comme une réflexion sur les grands équilibres de la nature et l'harmonie du cycle du soufre. Mais on ne peut s'empêcher de remarquer à quel point ses travaux sur le DMS sont liés aux réflexions brûlantes du début des années 1970 sur la mise en cause de la combustion d'énergies fossiles comme responsable des pluies acides, à travers l'émission de soufre dans l'atmosphère. Dans les années 1970, le DMS est vu par Lovelock comme un composé *naturel* (i.e. ne dérivant pas de l'industrie), pouvant *aussi* être considéré comme responsable des pluies acides. Les stratégies argumentatives de Lovelock ne sont parfois pas très éloignées de celles des marchands de doute d'Oreskes et Conway (2010) – stratégies qui ont bousculé les méthodologies de la sociologie des sciences et des techniques Latour (2004) – et il est à bien des égards

---

<sup>26</sup> Cette rhétorique de l'apparent retournement de veste du guru vert est fréquemment mise en avant par exemple par le site de *Breitbart News*, auquel Lovelock a récemment accordé un long entretien.

<sup>27</sup> Voir Dutreuil (2016, 2017) pour une déclinaison chronologique et thématique des exemples.

surprenant qu'Oreskes et Conway aient épargné Lovelock dans le chapitre sur l'ozone. On voit ici que les prises de positions politiques de Lovelock sont intrinsèquement liées à Gaïa. Mais on comprend dans le même temps à quel point il est paradoxal d'avoir fait de Lovelock un guru écolo sous prétexte que la figure bienveillante de Gaïa avait été reprise ici et là.

Cela explique également la structure de débats récents sur l'anthropocène. L'anthropocène est un attracteur ayant pris le relais d'autres termes ou expressions renvoyant aux mêmes enjeux (l'environnement global contemporain, ses sciences et ses politiques) et l'ayant précédé : Gaïa dans les années 1970 et 1980, *global change* dans les années 1980, système Terre dans les années 1990. Il est en effet remarquable de constater que les *seuls* textes dans lesquels Crutzen s'exprime explicitement (contre) Gaïa, sont exactement contemporains de ses premiers textes sur l'anthropocène Crutzen (2002, 2004) ; Crutzen ne semble pas avoir pardonné à Lovelock ses positions sur l'interdiction des CFC au moment de la controverse sur l'ozone à laquelle ils ont tous deux pris part. Si l'IGBP et l'anthropocène ne reprennent pas le programme politique de Lovelock, ils en retiennent pourtant l'ontologie (celle du système Terre vient directement de Gaïa), et, surtout, le style scientifique et philosophique, c'est-à-dire l'élaboration d'une conception de la Terre permettant d'appréhender les enjeux politiques contemporains sur l'environnement global. La production centrale de l'IGBP est en effet l'élaboration de concepts normatifs (l'anthropocène, les *tipping points*, les limites planétaires, et, plus récemment, la Terre étuve). Le cas des limites planétaires illustre parfaitement le style scientifique que je mentionnais et l'importance de Gaïa pour l'ontologie contemporaine. Tandis qu'une partie significative des inquiétudes formulées par le rapport sur les limites à la croissance dans les années 1970 étaient sous-tendues par une raréfaction des *ressources* (comprises comme stocks qui s'épuisent), les limites planétaires contemporaines, celles de Rockstrom et al. 2009, sont pour ainsi dire toutes des limites concernant la perturbation d'équilibres systémiques globaux ou des cycles de la matière et non des limites liées à l'épuisement de ressources : le changement climatique, le taux d'érosion de la biodiversité, le cycle de l'azote, le cycle du phosphore, la perte d'ozone stratosphérique, l'acidification de l'océan, l'usage global de l'eau douce, les changements dans l'utilisation des sols, les flux d'aérosols dans l'atmosphère, la pollution chimique<sup>28</sup>. Ainsi que le fait très justement remarquer Aykut (2015) on est passé de limites de stock à des limites de flux : le problème principal avec les limites planétaires contemporaines ce n'est plus celui d'un pic pétrolier, c'est devenu l'inverse, à savoir qu'il faut laisser une partie substantielle des ressources de pétrole et de charbon dans le sol pour ne pas dépasser le seuil des 2°C.

## 5 Conclusion

*Quelle est la nature de la Terre?* Historiquement considérée, Gaïa doit bien être comprise comme une tentative de réponse à cette question, c'est-à-dire comme une philosophie de la nature. L'apport décisif et central pour les savoirs de la Terre et de l'environnement effectué par Lovelock et Margulis a bien été la présentation d'un nouvel objet (Gaïa et Vie-entité) ayant conduit à repenser la Terre, la nature, l'environnement, la pollution et la place des vivants. Latour vise donc juste en mettant au centre de son analyse des questions ontologiques.

Dans ses premières présentations, Latour séparait volontiers la politique (gênante) de Lovelock de sa science – et certains se sont saisis de l'occasion pour reprocher au sociologue des sciences de faire ce qu'il a toujours dénoncé, en extrayant un scientifique isolé et génial de son réseau institutionnel et politique. Retracer ce réseau permet d'apporter un éclairage historique très différent sur Gaïa que le récit proposé par les biologistes (Gaïa

---

<sup>28</sup> Cette remarque rejoint l'analyse de Stefan Aykut (2015) sur la question des limites imposées par le changement climatique. Sur les limites, voir également Charbonnier 2017.

comme pseudo-science marginale) ou par Lovelock lui-même (Gaïa comme réflexion spéculative d'un indépendant retiré du monde), et, ironiquement, de répondre au second reproche qui a pu être fait à Latour : pourquoi avoir choisi Gaïa, apparemment si marginale, comme attracteur (plutôt, par exemple, que l'anthropocène)? Reconnaître le caractère central de Gaïa et voir comment elle a constitué le terreau sur lequel se sont développés les questions et enjeux contemporains (comme celui de l'anthropocène), requiert en effet de s'intéresser à la science et à la politique de Lovelock dès les décennies 1960-1970.

Latour prend à rebours les lectures principales de Lovelock, faisant de Gaïa un grand tout, analogue à un organisme. Contre les affirmations explicites et littérales de Lovelock lui-même reconduisant les catégories classiques du holisme, de tout et de parties, on peut effet avoir une lecture différente des raisons pour lesquelles Gaïa est "vivante" : si elle est vivante, c'est parce qu'elle est de part en part traversée par la multitude d'activités des vivants, activités qui excèdent et dépassent les frontières matérielles de ces derniers. Cette lecture permet de saisir le "niveau" auquel se situe *Face à Gaïa* puisqu'elle fait tenir ensemble la relocalisation de la nature (non plus le cosmos infini mais les connexions tracées depuis les vivants) et la globalisation de l'écologie (puisque ces connexions ont, de fait, une ampleur recouvrant la surface de la Terre). Lier ensemble Lovelock et Margulis permet enfin à Latour de proposer une interprétation originale de Gaïa, centrée sur la disparition de la notion d'individu et renforçant l'idée d'une disparition du tout et des parties.

- Aykut, S. 2015 "Les "limites" du changement climatique", Cités, 63 , p. 193 - 236 .
- Aykut, S. et Dahan, A. 2015 *Gouverner le Climat. Quels futurs possibles? Vingt années de négociations internationales*, Presses de Sciences Po, Paris.
- Bergandi, D. 1998 "Les antinomies épistémologiques entre les réductionismes et les émergentismes", *Revue internationale de systémique*, 12, 3, p. 225-252
- 2000 "Eco-cybernetics : the ecology and cybernetics of missing emergences", *Kybernetes*, 29, 7 / 8 , p. 928 - 942.
- Betts, R. A. et Lenton, T. M. 2008 "Second chances for lucky Gaia : a hypothesis of sequential selection", *Hadley Centre technical note 77*.
- Briday, R. 2014 *Une histoire de la chimie atmosphérique globale. Enjeux disciplinaires et d'expertise de la couche d'ozone et du changement climatique*, thèse de doct., Centre Alexandre Koyré.
- Briday, R. et Dutreuil, S. 2019 "Les multiples facettes de l'entrepreneuriat scientifique de James Lovelock dans les années 1960 - 70 : développement d'instruments, consultance sur les pollutions et hypothèse Gaïa", *Marchés et organisations*, 34 .
- Bryant, W. 2006 *Whole System, Whole Earth : The Convergence of Technology and Ecology in Twentieth Century American Culture*, thèse de doct., University of Iowa.
- Callicott, J. B. 2014 *Thinking like a planet : the land ethic and the earth ethic*, Oxford University Press, Oxford.
- Canguilhem, G. 2006 (1965a) "Le vivant et son milieu", in *La connaissance de la vie*, Vrin, p. 165 - 197 .
- 2006 (1965b) "Machine et organisme", in *La connaissance de la vie*, Vrin, p. 129-164.
- 2009 (1977) *Idéologie et rationalité dans l'histoire des sciences de la vie : nouvelles études d'histoire et de philosophie des sciences*, Vrin, Paris.
- Charbonnier, P. (2017) "Généalogie de l'anthropocène. La fin du risque et des limites." *Annales. Histoire, sciences sociales* 72(2), 301-328
- Charlson, R., Lovelock, J., Andreae, M. et Warren, S. 1987 "Oceanic phytoplankton, atmospheric sulphur, cloud albedo and climate", *Nature*, 326 , 6114 , p. 655 - 661.
- Coccia, E. 2016 *La vie des plantes*, Payot & Rivages, Paris.
- Crutzen, P. J. 2002 "A critical analysis of the Gaia hypothesis as a model for climate/biosphere interactions", *Gaia*, 11 , 2 , p. 96 - 103 .
- 2004 "Anti-Gaia", in *Global change and the earth system : a planet under pressure*,

- sous la dir. de W. Steffen, A. Sanderson, P. Tyson et J. e. a. Jäger, Springer, Berlin, p. 72 .
- 2006 “Albedo enhancement by stratospheric sulfur injections : a contribution to resolve a policy dilemma ?”, *Climatic change*, 77 , 3 , p. 211 - 220 .
- Crutzen, P. J. et Stoermer, E. F.2000 “The "anthropocene"”, *IBGP Newsletter*, 41 , p. 17 - 18.
- Dahan, A. 2010 “Putting the Earth System in a numerical box ? The evolution from climate modeling toward global change”, *Studies in History and Philosophy of Science Part B : Studies in History and Philosophy of Modern Physics*, 41 , 3 , p. 282 - 292.
- Dawkins, R. 1982 *The extended phenotype : The gene as the unit of selection*, Oxford University Press, Oxford.
- Doolittle, F. W. 1981 “Is nature really motherly”, *CoEvolution Quarterly*, 29 , p. 58 - 63 .
- Dupré, J. 1993 *The disorder of things : Metaphysical foundations of the disunity of science*, Harvard University Press, Cambridge, MA.
- Dutreuil, S. 2013 “Comment le modèle Daisyworld peut-il contribuer à l’hypothèse Gaïa ?”, in *Modéliser et simuler : épistémologies et pratiques de la modélisation et de la simulation. Tome 1*. Sous la dir. de F. Varenne et M. Silberstein, Editions matériologiques, Paris, p. 191 - 256.
- 2014 “What good are abstract and what-if models ? Lessons from the Gaïa hypothesis”, *History and philosophy of the Life Sciences*, 36 , 1 , p. 16 - 41 .
- 2016 *Gaïa : hypothèse, programme de recherche pour le système terre, ou philosophie de la nature?*, thèse de doct., Université Paris 1 Panthéon-Sorbonne.
- 2017 “James Lovelock, Gaïa et la pollution : un scientifique entrepreneur à l’origine d’une nouvelle science et d’une philosophie politique de la nature”, *Zilsel*, 2 , p. 19 – 61.
- 2018a “L’anthropocène est-il un concept d’histoire de la Terre ? Le nom qui ne dit pas son épistémologie”, in *Penser l’anthropocène?*, sous la dir. de R. Beau et C. Larrère, Presses de Sciences Po, Paris, p. 355 - 374.
- 2018b “La vie en biologie : enjeux et problèmes d’une définition, usages du terme”, *Philosophie*, 1 , 136 , p. 67 - 94 .
- Dutreuil, S. et Pocheville, A.
- 2015 “Les organismes et leur environnement : la construction de niche, l’hypothèse Gaïa et la sélection naturelle”, *Bulletin de la Société d’histoire et d’épistémologie des sciences de la vie*, 22, 1.
- Galvez, M. E. et Gaillardet, J. 2012 “Historical constraints on the origins of the carbon cycle concept”, *Comptes Rendus Geoscience*, 344 , 11 , p. 549 - 567.
- Gayon, J. 2010 “Defining life : synthesis and conclusions”, *Origins of Life and Evolution of Biospheres*, 40 , 2 , p. 231 - 244 .
- 2011 “Defining life : philosophical or scientific issue ?”, *Leopoldina Nationale Akademie der Wissenschaften*, Halle, 23-25.09.2011.
- Ghiselin, M. T. 1974 “A radical solution to the species problem”, *Systematic Biology*, 23 , 4, p. 536 – 544.
- Griesemer, J. R. 1992 “Niche : historical perspectives”, in *Keywords in evolutionary biology*, sous la dir. d’E. Fox Keller et E. A. Lloyd, Harvard University Press, Cambridge, MA, p. 231 - 240 .
- Grinevald, J.,1987 “On a holistic concept for deep and global ecology : the biosphere”, *Fundamenta Scientiae*, 8 , 2 , p. 197 - 226 .
- 1990 “L’effet de serre de la biosphère”, *Stratégies énergétiques, Biosphère et Société*.
- 1998 “The invisibility of the vernadskian revolution”, in *The biosphere*, sous la dir. de V. Vernadsky, Copernicus, p. 20 - 32 .
- Guillemot, H. 2007 *La modélisation du climat en France des années 1970 aux années 2000 : histoire, pratiques, enjeux politiques*, thèse de doct., Paris, EHESS.

- Hache, É. et Latour, B. 2010 “Morality or moralism ? An exercise in sensitization”, *Common Knowledge*, 16, 2, p. 311 - 330.
- Hamilton, C. 2013 *Earthmasters : playing god with the climate*, Yale University Press, Crows Nest, Australia.
- Hamilton, C. et Grinevald, J. 2015 “Was the Anthropocene anticipated ?”, *The anthropocene review*, 2, 1, p. 59 -72 .
- Hamlin, C. 1985 “Providence and putrefaction : Victorian sanitarians and the natural theology of health and disease”, *Victorian Studies*, 28, 3, p. 381 - 411 .
- 1986 “Robert Warington and the moral economy of the aquarium”, *Journal of the History of Biology*, 19, 1, p. 131 - 153 .
- Hull, D. 1978 “A matter of individuality”, *Philosophy of Science*, 45, 3, p. 335 - 360 .
- Huneman, P. 2008 *Métaphysique et biologie : Kant et la constitution du concept d'organisme*, Kimé, Paris.
- Ingold, T. 1993 “Globes and spheres : the topology of environmentalism”, in *Environmentalism : the view from anthropology*, sous la dir. de K. Milton, Routledge, London, p. 29 - 40 .
- Kirchner, J. 1989 “The Gaia hypothesis : can it be tested”, *Reviews of Geophysics*, 27, 2, p. 223 - 235 .
- Kirk, A. G. 2007 *Counterculture green*, University Press of Kansas, USA.
- Kleidon, A. 2010 “Life, hierarchy, and the thermodynamic machinery of planet Earth”, *Physics of life reviews*, 7, 4, p. 424 - 460 .
- Kwa, C. 2005 a “Interdisciplinarity and postmodernity in the environmental sciences”, *History and technology*, 21, 4, p. 331 - 344 .
- 2005 b “Local Ecologies and Global Science Discourses and Strategies of the International Geosphere-Biosphere Programme”, *Social Studies of Science*, 35, 6, p. 923 - 950 .
- 2006 “The programming of interdisciplinary research through informal science-policy interactions”, *Science and Public Policy*, 33, 6, p. 457 - 467 .
- Kwa, C. et Rector, R. 2010 “A data bias in interdisciplinary cooperation in the sciences : ecology in climate change research”, in *Collaboration in the new life sciences*, sous la dir. de J. N. Parker, N. Vermeulen et B. Penders, Farnham, chap. Ashgate, p. 161 - 176 .
- Larrère, C. et Larrère, R. 2015 *Penser et agir avec la nature*, La Découverte, Paris.
- Latour, B. 1999 *Politiques de la nature : comment faire entrer les sciences en démocratie*, La Découverte, Paris.
- 2004 “Why has critique run out of steam ? From matters of fact to matters of concern”, *Critical inquiry*, 30, 2, p. 225 - 248 .
- 2006 *Changer de société, refaire de la sociologie*, La Découverte, Paris.
- 2015 *Face à Gaïa : huit conférences sur le nouveau régime climatique*, La Découverte, Paris.
- 2016 “Why Gaia is not a God of Totality”, *Theory, culture & society*, 34, 2-3, p. 61-81.
- 2017 *Où atterrir?*, La Découverte, Paris
- Latour, B., Jensen, P., Venturini, T., Grauwin, S. et Boullier, D. 2012 “‘The whole is always smaller than its parts’ – a digital test of Gabriel Tarde’s monads”, *The British journal of sociology*, 63, 4, p. 590 - 615 .
- Latour, B. et Lenton, T. 2019 “Extending the Domain of Freedom, or Why Gaia Is So Hard to Understand”, *Critical Inquiry*, 45, 3, 659-680.
- Lewontin, R. C. 1983 “Gene, organism and environment”, in *Evolution from molecules to men*, sous la dir. de D. S. Bendall, Cambridge University Press, p. 273 - 285 .
- Lövbrand, E., Stripple, J. et Wiman, B. 2009 “Earth System governmentality : Reflections on science in the Anthropocene”, *Global Environmental Change*, 19, 1, p. 7 - 13 .
- Lovelock, J. 1953 a “Het mechanism of the protective action of glycerol against haemolysis by freezing and thawing”, *Biochimica et biophysica acta*, 11, p. 28 - 36 .
- 1953b “The haemolysis of human red blood-cells by freezing and thawing”, *Biochimica et biophysica acta*, 10, p. 414 - 426 .

- 1972 “Gaia as seen through the atmosphere”, *Atmospheric Environment*, 6, p. 579 - 580.
- 1979 *Gaia : A new look at life on Earth*, Oxford University Press, Oxford.
- 1990 “Genesis of Gaia”, *Resurgence*, 142 , p. 38 - 42 .
- 1992 a “A numerical model for biodiversity”, *Philosophical Transactions : Biological Sciences*, 338 , 1286 , p. 383 - 391 .
- 1992 b “The Earth is not fragile”, in *Monitoring the environment : the linacre lectures 1990–1991*, sous la dir. de B. Cartledge, Oxford University Press, Oxford.
- 1995 *The ages of Gaia : a biography of our living earth*, Second Edition, Oxford University Press, Oxford.
- 2000 *Homage to Gaia : the life of an independent scientist*, Oxford University Press, Oxford.
- Lovelock, J., Maggs, R. et Rasmussen, R. 1972 “Atmospheric dimethyl sulphide and the natural sulphur cycle”, *Nature*, 237 , p. 452 - 453 .
- Lovelock, J. et Margulis, L. 1974 a “Atmospheric homeostasis by and for the biosphere : the Gaia hypothesis”, *Tellus*, 26 , 1 - 2 , p. 2 - 10 .
- 1974 b “Homeostatic tendencies of the earth’s atmosphere”, *Origins of Life and Evolution of Biospheres*, 5 , 1 , p. 93 - 103 .
- Marald, E. 2002 “Everything circulates : agricultural chemistry and recycling theories in the second half of the nineteenth century”, *Environment and History*, 8, p. 65 - 84 .
- Margulis, L. et Hinkle, G. 1991 “The biota and Gaia : 150 years of support for environmental sciences”, in *Scientists on Gaia*, sous la dir. de S. H. Schneider et P. J. Boston, The MIT Press, Cambridge, MA, p. 11 - 18 .
- Margulis, L. et Lovelock, J. 1974 “Biological modulation of the Earth’s atmosphere”, *Icarus*, 21 , 4 , p. 471 – 489
- Martens, J. 2012 *L’évolution des organisations biologiques*, thèse de doct., Université Paris 1 Panthéon-Sorbonne.
- McDonald-Gibson, J., Dyke, J., Di Paolo, E. et Harvey, I. 2008 “Environmental regulation can arise under minimal assumptions”, *Journal of theoretical biology*, 251 , 4 , p. 653 - 666 .
- Merchant, C. 1980 *The death of nature : women, ecology and the scientific revolution*, Harper, New York.
- Oreskes, N. et Conway, E. M. 2010 *Merchants of doubt : how a handful of scientists obscured the truth on issues from tobacco smoke to global warming*, Bloomsbury Press, New York.
- Pearce, T. 2010 “From circumstances to environment : Herbert Spencer and the origins of the idea of organism–environment interaction”, *Studies in History and Philosophy of Science Part C : Studies in History and Philosophy of Biological and Biomedical Sciences*, 41 , 3 , p. 241 - 252.
- Pepper, D. 1993 *Eco-socialism : from deep ecology to social justice*, Routledge, London.
- Pocheville, A. 2010 *La niche écologique : concepts, modèles, applications*, thèse de doct., Ecole Normale Supérieure, Ecole doctorale Frontières du Vivant.
- 2015 “The Ecological Niche : History and Recent Controversies”, in *Handbook of Evolutionary Thinking in the Sciences*, sous la dir. de T. Heams, P. Huneman, G. Lecointre et M. Silberstein, Springer, Netherlands, p. 547 - 586 .
- Rockström, J., Steffen, W. L., Noone, K., Persson, Å., Chapin III, F. S. et al. 2009 “Planetary boundaries : exploring the safe operating space for humanity”, *Nature*, 461 , p. 472 - 475 .
- Schlanger, J. 1995 *Les métaphores de l’organisme*, L’Harmattan, Paris.
- Sepkoski, D. 2012 *Rereading the fossil record : the growth of paleobiology as an evolutionary discipline*, The University of Chicago Press.
- Shapin, S. 2008 *The scientific life*, The University of Chicago Press, Chicago.
- Steffen, W. 1998 “How well do we understand the nature of Earth ?”, *IGBP Newsletter*, 34, p. 6 – 7.

- Taylan, F. 2014 *La rationalité mésologique, connaissance et gouvernement des milieux de vie (1750-1900)*, thèse de doct., Université Bordeaux Montaigne.
- Turner, F. 2010 *From counterculture to cyberculture : Stewart Brand, the Whole Earth Network, and the rise of digital utopianism*, University Of Chicago Press, Chicago.
- Turner, S. 2000 *The Extended Organism : The physiology of animal-built structures*, Harvard University Press, Cambridge, MA.
- Tyrrell, T. 2013 *On Gaia : A Critical Investigation of the Relationship Between Life and Earth*, Princeton University Press, Princeton.
- Uhrqvist, O. 2014 *Seeing and knowing the Earth as a system : an effective history of global environmental change research as scientific and political practice*, thèse de doct., Linköping University.
- Volk, T. 1998 *Gaia's body : toward a physiology of Earth*, Copernicus, New York.
- Watson, A. et Lovelock, J. 1983 "Biological homeostasis of the global environment : the parable of Daisyworld", *Tellus B*, 35 , 4 , p. 284 - 289 .
- Williams, H. T. P. et Lenton, T. M. 2010 "Evolutionary regime shifts in simulated ecosystems", *Oikos*, 119 , 12 , p. 1887 - 1899 .
- Wimsatt, W. C. 1994 "The ontology of complex systems : levels of organization, perspectives, and causal thickets", *Canadian Journal of Philosophy*, 24 , sup 1 , p. 207 - 274 .
- 2007 *Re-engineering philosophy for limited beings : piecewise approximations to reality*, Harvard University Press, Cambridge, MA.
- Wood, A. J., Ackland, G. J., Dyke, J., Williams, H. T. P. et Lenton, T. M. 2008 "Daisyworld : A review", *Reviews of Geophysics*, 46 ,