



HAL
open science

L'hypothèse Gaïa : pourquoi s'y intéresser même si l'on pense que la Terre n'est pas un organisme?

Sébastien Dutreuil

► **To cite this version:**

Sébastien Dutreuil. L'hypothèse Gaïa : pourquoi s'y intéresser même si l'on pense que la Terre n'est pas un organisme?. Bulletin d'histoire et d'épistémologie des sciences de la vie , 2012, 2, pp.229-241. hal-01109179

HAL Id: hal-01109179

<https://hal.science/hal-01109179>

Submitted on 25 Jan 2015

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.

L'hypothèse Gaïa : pourquoi s'y intéresser même si l'on pense que la Terre n'est pas un organisme?

Sébastien Dutreuil

Paru dans Bulletin d'histoire et d'épistémologie des sciences de la vie, n°2, 2012

Abstract

A typical and common account of the Gaia hypothesis (GH) would begin by claiming that GH proposes a vague analogy between the Earth and an organism. It would then discredit the hypothesis by pointing out that GH is linked with *New Age* movements and by then reiterating Dawkins' critique (1982) which showed that because the Earth does not reproduce and cannot therefore undergo natural selection there is no meaningful sense in which one could compare Earth with an organism. Clarifying the *explanandum* allows me to show that the analogy plays only a limited role (heuristic and not theoretic) and that Dawkins' critique only concerns one out of the three questions that GH raises. I then mention the theoretical and empirical breakthroughs that happened since 1982. Eventually I highlight the necessity that there is for GH to be read and studied in details by philosophers of biology as much as the benefits that philosophy of biology would gain in doing so.

Résumé

L'hypothèse Gaïa (HG) est généralement présentée comme une analogie vague entre la Terre et un organisme. On s'empresse de la discréditer en faisant remarquer qu'elle est partie liée aux mouvements *New Age* et en rappelant la critique théorique de Dawkins (1982) qui montre que la Terre, ne se reproduisant pas et ne pouvant dès lors être soumise au processus de sélection naturelle, ne peut être comparée à un organisme. Une clarification de l'*explanandum* me permet de montrer que l'analogie ne joue qu'un rôle limité (heuristique et non théorique) et que la critique de Dawkins n'atteint qu'une des trois questions que soulève HG. Je mentionne ensuite les avancées théoriques et empiriques qui ont eu lieu depuis 1982 puis m'attache à montrer la nécessité qu'il y aurait, pour HG, à ce que la philosophie de la biologie s'intéresse en détail à certaines questions posées par cette hypothèse, aussi bien que les bénéfices que la philosophie de la biologie pourrait retirer de cet exercice.

On résume souvent l'hypothèse Gaïa (HG) en disant qu'elle propose une comparaison de la Terre à un organisme vivant; on ajoute qu'elle devrait être abandonnée suite aux critiques de Dawkins qui montre l'illégitimité de la comparaison. L'ambition de cette communication est double : (i) clarifier HG - cette hypothèse ne prend au sérieux ni ne se résume à une analogie vague entre la Terre et un organisme -, puis, (ii) avancer des arguments montrant l'intérêt que cette hypothèse présente pour la philosophie des sciences qui l'a, à tort, négligée.

A la fin des années 1960, Lovelock participe à un projet de la NASA visant à trouver des critères permettant de détecter la présence éventuelle de vie sur d'autres planètes. Il remarque que l'atmosphère terrestre est en déséquilibre thermodynamique (de l'oxygène et du méthane y coexistent) et que la vie est responsable du maintien de ce déséquilibre (en produisant ces deux composés), ce qui le mènera à proposer le déséquilibre thermodynamique de l'atmosphère d'une planète comme critère de présence de vie. Lovelock et Margulis¹ s'étonnent de l'habitabilité continue de la planète : malgré l'existence de perturbations externes (augmentation de la luminosité solaire), les conditions environnementales (climat, composition des enveloppes fluides) semblent avoir été maintenues, régulées, de telle manière à ce que la planète reste habitable. Cela mène à HG selon laquelle la vie a une influence forte sur son environnement - dont témoigne le déséquilibre thermodynamique de l'atmosphère - et cette influence est régulatrice - ce qui rend compte de l'habitabilité de la planète. C'est la possibilité d'une régulation (homéostasie) à l'échelle globale qui mènera à la comparaison de la Terre à un organisme.

1 Une critique célèbre - mais discutable - discrédite HG

L'argumentaire critique répandu consiste à dire que le discrédit de HG tient pour partie à la reprise de l'acronyme et de certaines propositions floues par les mouvements *New Age* - mais cela ne saurait servir d'argument sérieux pour écarter la version scientifique de HG -, pour partie à la critique qu'en fera Dawkins². A de rares exceptions près³, les philosophes de la biologie ou bien ignorent HG⁴ - ce qui est surprenant quand les thèmes de réflexion sont très proches de ceux de HG ou quand les outils théoriques déployés permettraient d'examiner certaines questions spécifiques à HG⁵-, ou bien reconduisent l'argumentaire de Dawkins, y compris ceux qui, traditionnellement, s'opposent à l'auteur du *Gène égoïste*⁶. La critique de Dawkins s'engage dans trois

- 1 J. Lovelock & L. Margulis, "Atmospheric homeostasis by and for the biosphere : the Gaia hypothesis." *Tellus*, 1974, 26(1-2), 2-10.
- 2 R. Dawkins, *The extended phenotype : The gene as the unit of selection*. Oxford University Press, USA, 1982.
- 3 e.g. J. Maynard Smith, "Evolutionary progress and levels of selection." *Evolutionary progress*, 1988, pp. 219-230, J. Gayon, "Actualité du Darwinisme." *Bulletin de la Société française de philosophie*, 2009, 103(4), 1-47, et quelques paragraphes dans certains ouvrages de Michael Ruse.
- 4 Comme c'est le cas d'une très grande majorité des manuels et ouvrages généralistes de philosophie de la biologie en langues française et anglaise.
- 5 S. Okasha, *Evolution and the Levels of Selection*. Oxford University Press, USA, 2006, la totalité des articles des auteurs à l'origine de la construction de niche, E. Sober & D. Wilson *Unto others : The evolution and psychology of unselfish behavior*. Harvard Univ Pres, 1999.
- 6 K. Sterelny & P. Griffiths, *Sex and death*. University of Chicago Press, Chicago 1999, S.J. Gould, *The structure of evolutionary theory*. Belknap Press, 2002, R. Lewontin, *The triple helix : Gene, organism, and environment*. Harvard University Press, USA, 2001, P. Godfrey-Smith, *Darwinian populations and natural selection*. Oxford University Press, USA, 2009, E. Mayr, *What evolution is*. Phoenix Books, Londres, 2002.

directions : (i) une critique de la métaphysique (téléologie, vitalisme) déployée par HG, (ii) métaphysique non justifiable compte tenu de remarques théoriques sur le rôle de la sélection naturelle et (iii) une remise en question de l'analogie de la Terre à un organisme. Nous voudrions montrer que ces arguments avancés pour écarter HG reposent autant sur une mauvaise lecture de HG que sur une philosophie des sciences discutable.

Dawkins commence par rappeler que la meilleure explication de l'homéostasie des organismes, qui rend légitime certaines formulations téléologiques, est celle qui repose sur le fait que ceux-ci sont soumis au processus de sélection naturelle. Dans les formulations de l'époque, la reproduction est considérée comme une condition nécessaire au processus de sélection naturelle. La Terre ne se reproduisant pas, elle ne peut être soumise à sélection et la comparaison de la Terre à un organisme est alors illégitime, tout autant que le sont, dès lors, les formulations téléologiques comme celle du titre de l'article de 1974 "*Atmospheric homeostasis by and for the biosphere*". Par ailleurs, l'idée d'une régulation optimale à laquelle participerait l'ensemble des êtres vivants semble, pour Dawkins, remettre sur la table le problème de l'altruisme : celui qui n'y participe pas ne paie pas le coût mais bénéficie de l'environnement et finit par envahir la population. Enfin, la "mauvaise métaphysique" que l'on reproche à Lovelock repose sur ces formulations téléologiques d'une part, un vitalisme optimiste d'autre part - l'idée que la vie a en moyenne une action bénéfique et bienveillante : peu importe les perturbations elle maintiendra la planète habitable. Si l'on suit la critique, une mauvaise analogie aurait eu pour conséquence cette mauvaise métaphysique (ou l'inverse, mais peu importe), HG doit donc être abandonnée. J'aurais volontiers suivi Dawkins si les conditions suivantes étaient remplies : HG se *résume* à ce duo de mauvaise analogie et mauvaise métaphysique, l'analogie et la métaphysique sont effectivement mauvaises et dangereuses.

Les critiques théoriques sur la sélection naturelle. Il faudrait commencer par remercier Dawkins et les autres critiques - Doolittle, Williams, Kirchner - pour leurs clarifications théoriques (téléologie, homéostasie et sélection, altruisme), clarifications autant bénéfiques que nécessaires. Mais ces critiques seules ne peuvent en revanche suffire à rejeter HG en bloc : premièrement, parce qu'elles n'épuisent pas l'ensemble des questions initiales de HG, deuxièmement parce qu'elles ont été prises en compte au cours de l'élaboration théorique de HG, si bien qu'il faudrait aujourd'hui faire droit à ces réponses et améliorations. La téléologie et le rôle de la sélection naturelle sont dans un premier temps abordés par des modèles (*Daisyworld*) dont la force démonstrative est ambiguë, dans un deuxième par des explications théoriques d'une homéostasie qui entendent se passer d'une sélection naturelle classique. Le problème de l'altruisme est résolu de manière convaincante (un être vivant *qua* être vivant *doit* affecter son environnement - pour effectuer son métabolisme -, il faut considérer cette action comme un produit dérivé sur lequel la sélection naturelle n'a pas prise).

La métaphysique de HG. Je ne suis pas beaucoup plus à l'aise que Dawkins avec la métaphysique qu'il dénonce. Cependant, une lecture plus fidèle fait voir d'une part que les auteurs ont pour ambition davantage de *soulever des questions* que d'affirmer certains principes vitalistes, d'autre part que le ton est parfois volontairement provocateur :

"L'objectif de cet article est d'introduire l'hypothèse Gaïa au moins pour s'amuser et pour l'induction de nouvelles questions à propos de la Terre."⁷

L'analogie "illégitime". Dawkins reproduit pour l'analogie la même erreur de lecture que pour la partie métaphysique : prendre au sérieux certaines propositions (la Terre *est* un organisme) et leur donner le statut de principe théorique quand ils n'ont de vocation que méthodologique⁸ (heuristique). Cette erreur de lecture se double d'une philosophie des sciences discutable - Dawkins fait de HG une *mauvaise* analogie sans conception sérieuse de l'analogie permettant de distinguer une "bonne" d'une "mauvaise" analogie⁹ -

7 Lovelock et Margulis, *Ibid.*

8 Cette distinction entre l'acception méthodologique et théorique sera pourtant partiellement esquissée par J. Kirchner, "The Gaia hypothesis : can it be tested." *Rev. Geophys*, 1989, 27(2), 223-235.

9 Sur le rôle et le sens de l'analogie dans HG, cf. S. Dutreuil, "L'hypothèse Gaïa :

et d'une seconde erreur de lecture quand il pense que l'on doit abandonner HG une fois l'analogie critiquée, laissant entendre par là qu'HG se résume à cette (mauvaise) analogie, ce que la clarification du paragraphe suivant remettra sérieusement en question.

2 Clarification de HG

La difficulté principale de HG est, outre de répondre à ces critiques, de savoir précisément ce que HG cherche à expliquer¹⁰. Le mouvement de l'article de 1974 est le suivant : (i) la vie semble avoir une *influence* forte sur son environnement, (ii) cette influence pourrait *stabiliser* les conditions sur Terre et être *régulatrice*, (iii) ce qui expliquerait l'*habitabilité* continue de la planète. L'*explanandum* principal de HG, c'est l'*habitabilité*. L'élaboration théorique de HG s'est faite sans prendre deux précautions.

Premièrement, rares sont les auteurs qui considèrent que (i) fait partie de l'*explanandum*. Or, en 1974, les auteurs suggèrent que la vie *pourrait* avoir une part dominante dans l'évolution de certaines variables environnementales ; le travail consistant à montrer que c'est *effectivement* le cas sera partiellement fait dans les décennies qui suivent (cf. *infra*), que c'est *nécessairement* le cas est négligé. Montrer que la vie a une influence forte sur son environnement est cependant un préalable important pour la suite. La vie ne peut prétendre à réguler certaines variables environnementales si son influence sur ces variables est négligeable : la pure influence de la vie *doit* donc faire partie de l'*explanandum* de HG.

Deuxièmement, un flou subsiste sur la distinction qui existe entre stabilité, régulation-homéostasie, et habitabilité. Certains confondent les trois. D'autres se dirigent vers une explication de la régulation *per se* (oubliant l'*habitabilité*). Stabilité et régulation sont pourtant deux concepts distincts (un paramètre peut être régulé sans être stable et réciproquement) et, depuis 1974, il a été montré que les conditions n'étaient pas restées stables sur Terre. La stabilité doit donc être évacuée de l'*explanandum*. Je considère que rendre compte de l'*habitabilité* c'est rendre compte d'un cas particulier de régulation (les bornes sont celles qui permettent à la vie de continuer), qui est celui le plus clairement défini dans la littérature. Cela m'invite à distinguer entre l'explication de l'*habitabilité* d'un côté (qui pose certaines difficultés théoriques) et, de l'autre, l'explication d'une régulation, d'un ordre (qui soulève des problèmes normatifs évidents qui n'ont pas encore été systématiquement reconnus).

Cela m'amène à proposer une clarification qui résume HG à trois *explanandum* distincts et à certaines remarques méthodologiques. Cette clarification essaie de prendre en compte l'ensemble des discussions élaborées au cours des deux grands colloques sur HG (1989 et 2004) et dans des articles publiés à partir de la fin des années 1990 par Lenton, Volk, Watson, Wilkinson, Kleidon, Kirchner et Lovelock. HG pose trois questions :

- (1) La vie a-t-elle une influence *dominante* - ou en tout cas non négligeable - sur son environnement à l'échelle globale?
- (2) Si oui, cela a-t-il contribué et contribuera-t-il à augmenter la *durée d'habitabilité* de la Terre?
- (3) Peut-on, du fait de cette influence, s'attendre à une certaine forme de *régulation*?

Ces trois questions ont chacune un versant *empirique* (indice *e*) et *théorique* (*t*). La partie empirique s'intéresse à la question de savoir si c'est *effectivement* le cas, dans le monde actuel, que la vie a une influence forte sur son environnement, qu'elle a contribué au maintien de l'*habitabilité*, etc. La partie théorique se demande s'il est *nécessaire*, compte tenu de l'idée que l'on a de la vie et de son environnement, que la première influence le second, qu'elle maintienne l'*habitabilité*, etc.

Les auteurs entendent également porter certaines remarques méthodologiques : une

quelle analogie de la Terre à un organisme?", à paraître.

10 J. Kirchner, "The Gaia hypothesis : conjectures and refutations." *Climatic Change*, 2003, 58(1), 21–45.

interdisciplinarité plus forte entre biologie et sciences de la Terre et une certaine forme de holisme (à l'échelle du globe) assez proche de celui que l'on retrouverait (à l'échelle des êtres vivants) dans les mouvements organicistes et la biologie théorique du vingtième siècle. A ces deux précautions méthodologiques il faudrait ajouter ce que j'appellerais un vitalisme méthodologique : pour faire des découvertes intéressantes, partons avec l'idée que la vie a peut-être une influence plus forte sur l'environnement qu'on ne l'imagine.

3 Les découvertes empiriques réalisées par les "Sciences du Système Terre" :

Lovelock reçoit en 2006 la médaille *Wollaston* pour la création de disciplines qui apparaissent au cours des années 1990 sous l'impulsion de HG : les "*Earth System Sciences*". Une partie importante des questions empiriques de HG est assez vite reléguée à ces disciplines qui étudient les interactions à court et long terme entre climat, biosphère, océan et Terre solide et qui s'intègrent aux sciences de la Terre ; des éléments de réponses, positifs, qui n'étaient pas connus à l'époque où HG fut proposée, sont apportés aux trois questions de HG.

L'influence de la vie sur son environnement (1e) est prise en compte par les géologues et certaines discussions s'engagent sur la part relative de facteurs biotiques et abiotiques. S'il est rapidement reconnu que la vie a une influence forte sur les enveloppes superficielles (climat, océan, atmosphère), faisons ici remarquer une évolution récente et surprenante : certains auteurs montrent de manière convaincante l'influence non négligeable de la vie sur la composition pétrologique (granite) et l'existence même de la lithosphère continentale¹¹, sur la géomorphologie¹², sur la diversité des minéraux existant sur Terre¹³, jusqu'au régime thermodynamique de l'ensemble du globe¹⁴ (lithosphère, manteau, noyau).

Par ailleurs, (2e), il se trouve que la Terre, telle qu'on la connaît, est habitable aujourd'hui et le sera pendant 800 Ma à 1.6 Ga grâce à l'augmentation du stockage de dioxyde de carbone sous forme de carbonate que la vie permet en augmentant l'érosion des silicates¹⁵.

Enfin, (3e), la question de la régulation n'admet pas de réponse univoque. Il y a des cas où la vie contribue à réguler certaines variables environnementales - par exemple en maintenant constant et proche des besoins physiologiques le rapport de concentration C : N : O : P dans l'océan¹⁶ -, d'autres où la vie a un rôle déstabilisateur - e.g. la photosynthèse, déclenchant l'oxygénation de l'atmosphère, pourrait avoir été responsable de l'initiation d'un événement de *Snowball Earth*¹⁷ (Terre gelée sur toute sa surface) .

-
- 11 M. Rosing, D. Bird, N. Sleep, W. Glassley, & F. Albarede, "The rise of continents - an essay on the geologic consequences of photosynthesis." *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 2006, 232(2), 99–113.
 - 12 W. Dietrich, & J. Perron, "The search for a topographic signature of life." *Nature*, 2006, 439(7075), 411–418.
 - 13 R. Hazen, D. Papineau, W. Bleeker, R. Downs, J. Ferry, T. McCoy, D. Sverjensky & H. Yang, "Mineral evolution." *American Mineralogist*, 2008, 93(11-12), 1693.
 - 14 J. Dyke, F. Gans & A. Kleidon, "Assessing life's effects on the interior dynamics of planet earth using non-equilibrium thermodynamics." *Earth System Dynamics Discussion*, 2010,1, 191–246.
 - 15 K. Caldeira & J. Kasting, "The life span of the biosphere revisited." *Nature*, 1992, 360(6406), 721–723.
 - 16 T. Lenton & A. Watson, "Redfield revisited : 1. Regulation of nitrate, phosphate, and oxygen in the ocean." *Global Biogeochemical Cycles*, 2010, 14(1), 225–248.
 - 17 R. Kopp, J.L. Kirschvink, I. Hilburn & C. Nash, "The Paleoproterozoic snowball Earth : a climate disaster triggered by the evolution of oxygenic photosynthesis." *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*,

4 Les développements théoriques dans une littérature consacrée à HG :

Les questions théoriques sont, elles, adressées par une littérature qui se développe à partir des années 1980.

(1t) La question de savoir si la vie, *qua* vie, *doit* nécessairement avoir une influence quantitative sur son environnement a reçu peu d'attention si ce n'est celle, récente et intéressante, menée par Kleidon¹⁸. Arguments thermodynamiques à l'appui, l'auteur montre de manière convaincante que la vie *photosynthétique*, *qua* vie - entité persistante se répliquant - photosynthétique - utilisant l'énergie solaire - modifie *nécessairement* le budget énergétique de la Terre globale, modifications dont les conséquences peuvent se faire ressentir jusque dans le manteau et le noyau terrestre.

(2t) Savoir si la vie *doit* participer à augmenter l'habitabilité ne trouve pour le moment, à mon sens, pas de réponse tranchée. La suggestion la plus forte semble celle de Lenton qui entend se passer de sélection naturelle en proposant l'idée de "*feedbacks* sur la croissance" (l'influence d'un type de vivant sur son environnement pourrait entraîner une croissance "globale" de la biosphère, c'est-à-dire une augmentation absolue des porteurs du trait - et non *relative* comme dans un cas de sélection -, entraînant une rétroaction positive¹⁹). Cette proposition a l'inconvénient de ne pas prendre en compte la nécessaire différence de préférence environnementale entre les vivants, ce qui empêche toute réalisation effective d'une variation qui n'aurait aucune composante sélective.

(3t) Enfin, si l'on veut bien passer outre les difficultés de définition de régulation, on peut ici rappeler les nombreuses tentatives théoriques d'en rendre compte. Certaines se font dans un cadre cybernétique et/ou thermodynamique : la proposition d'augmentation de *résilience* permise par l'influence de la vie sur les cycles biogéochimiques²⁰, la proposition d'étendre la notion "d'organisme étendu" à Gaïa²¹, celle de faire de Gaïa un système adaptatif complexe²² et l'application du principe de Maximisation de Production d'Entropie à la Terre et ses composantes²³. D'autres font appel d'une manière ou d'une autre à une forme de sélection : la "régulation" vient soit d'une forme affaiblie de sélection ("sélection séquentielle²⁴"), soit d'une sélection classique qui s'appliquerait aux écosystèmes ou aux organismes, on explique alors l'ordre au niveau de la Terre par une sélection naturelle aux niveaux inférieurs²⁵. Sans entrer plus avant dans les détails, nombre de ces propositions reposent sur la différence qualitative introduite par la participation de la vie à des phénomènes abiotiques (création et disparition de nouveaux traits).

2005, 102(32), 11131.

18 A. Kleidon, "Life, hierarchy, and the thermodynamic machinery of planet earth." *Physics of life reviews*, 2010, 7(4), 424–460.

19 T. Lenton, "Gaia and natural selection." *Nature*, 1998, 394(6692), 439–447.

20 T. Volk, "Toward a future for Gaia theory." *Climatic Change*, 2002, 52(4), 423–430.

21 J.S. Turner, *The Extended Organism : The physiology of animal-built structures*. Harvard Univ. Press, 2000.

22 S. Levin, "Ecosystems and the biosphere as complex adaptive systems." *Ecosystems*, 1998, 1(5), 431–436.

23 Kleidon 2010, *Op. Cit.*

24 R. Betts & T. Lenton, "Second Chances For Lucky Gaia : A Hypothesis Of Sequential Selection." *Gaia Circular*, 2007, pp. 4–6.

25 H. Williams & T. Lenton, "Environmental regulation in a network of simulated microbial ecosystems." *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 2008, 105(30), 10432.

5 Quelques raisons pour que la philosophie des sciences s'intéresse à HG

J'aimerais dans cette dernière section avancer quelques arguments qui pourraient inciter la philosophie des sciences à s'intéresser à HG en montrant premièrement l'ampleur du travail, philosophique et théorique qu'il y aurait à accomplir et qui bénéficierait à la clarté de HG, deuxièmement comment ce travail pourrait être payé de retours bénéfiques pour la philosophie. Un important travail de clarification conceptuelle pourrait être mené. S'il y a un *trade-off* entre proliféricité conceptuelle et précision des termes, Lovelock semble pencher pour la première option.

Une exposition claire de l'*explanandum* de HG manque cruellement : les tentatives les plus abouties ou bien datent²⁶, ou bien correspondent à des paragraphes épars dans les écrits de Lovelock et d'autres, changeant au fil du temps.

De nombreux *explanans* potentiels de HG (d'une régulation, d'un ordre, etc.) ont été proposés. Une synthèse de ces différentes propositions fait clairement défaut et pourrait être conduite en examinant l'éventuelle réductibilité, complémentarité et incompatibilité de certaines propositions avec d'autres.

La normativité impliquée par l'idée d'une régulation et de l'existence d'un environnement optimal est rarement reconnue comme telle (e.g. toute la littérature sur *Daisyworld* qui ne reconnaît pas la prise en compte d'une température "optimale" comme problématique). La familiarité des philosophes avec ces questions de normativité, de progrès, d'optimisation, les aiderait à rendre plus clairs de nombreux propos de HG. Cette clarification n'est pas sans conséquences éthiques et pratiques quand on sait que Lovelock a proposé de nombreuses idées de géo-ingénierie à une échelle globale²⁷.

Le travail de dénonciation d'une "mauvaise métaphysique" doit être poursuivi. Il a en effet été mal interprété par certains qui, en guise de critique contre HG et les vitalistes "optimistes", proposent l'hypothèse inverse, sans réaliser que la lourdeur métaphysique ne vient pas des "bons" sentiments que l'on pourrait avoir à l'encontre de la vie, mais de la seule existence de "sentiments". Ainsi Ward suggère que la planète n'est pas restée habitable *grâce* à l'influence de la vie mais *en dépit* de son influence néfaste qui, "parce qu'elle est fondamentalement darwinienne, est biocide, suicidaire et crée une série de *feedbacks* positifs qui nuisent aux générations futures²⁸".

Ce travail général de clarification conceptuelle pourrait s'accompagner d'une définition plus précise de l'objet des disciplines scientifiques contemporaines et passées. Pour ce qui est des disciplines contemporaines, il a été suggéré par Kirchner²⁹ que l'ensemble des questions intéressantes que pose HG se réduit aujourd'hui à celles posées par les disciplines que HG a fait naître (les *Earth System Sciences*), par d'autres que HG pourrait se réduire à de l'écologie conventionnelle³⁰ ou qu'il y a un air de famille entre HG et différentes branches de l'écologie : construction de niche, évolution de la socialité, stabilité des écosystèmes, etc.³¹. Quant à l'ancrage historique de HG, les prédécesseurs souvent avancés par Lovelock - non sans montrer l'originalité de HG - comprennent aussi bien des géologues (Hutton) et géochimistes (Vernadsky puis Redfield), que des pères de certaines branches de l'écologie (Odum, Lotka, Hutchinson). Certaines questions - comme celle théorique du maintien de l'habitabilité par l'influence de la vie - aussi bien que certaines échelles spatiales et temporelles me semblent en revanche appartenir spécifiquement à HG.

26 Kirchner, 1989, *Op. Cit.*

27 J. Lovelock, "A geophysicologist's thoughts on geoengineering." *Philosophical Transactions of the Royal Society A : Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, 2008, 366(1882), 3883.

28 P. Ward, *The medea hypothesis : is life on earth ultimately self-destructive?* Princeton Univ Press, 2009.

29 2003, *Op. Cit.*

30 D. Wilkinson, "Is Gaia really conventional ecology?" *Oikos*, 1999, 84(3), 533-536.

31 A. Free & N. Barton, "Do evolution and ecology need the Gaia hypothesis?" *Trends in Ecology & Evolution*, 2007, 22(11), 611-619.

Une tradition conséquente de modélisation numérique s'est développée dans le sillage de *Daisyworld*. Ces modèles entretiennent un rapport ambigu avec les développements théoriques : le titre de Watson et Lovelock³² fait de *Daisyworld* une parabole, une fiction utile, celui de Lovelock³³ une "preuve" de HG. Un examen précis du contenu de ces modèles serait nécessaire pour savoir s'ils *prouvent* effectivement certaines propositions fortes de HG et s'ils contribuent à clarifier certaines propositions théoriques.

Donnons maintenant quelques éléments sur l'intérêt que HG pourrait représenter pour la philosophie des sciences. David Hull, l'un des fondateurs de la philosophie de la biologie de tradition anglo-saxonne, a avancé à de nombreuses reprises l'idée que les exemples biologiques réels, dans toute leur complexité, orientent la réflexion et forcent la clarification de nos concepts avec plus de force que n'importe quelle expérience de pensée issue de notre imagination par trop limitée. Au même titre que *Dictyostelium*, *Volvox* et les végétaux contribuent à la clarification de notre concept d'individu biologique, Gaïa pourrait être considérée comme un nouveau cas limite, un exemple bizarre, nous amenant à nous ré-interroger sur la définition de la vie et celle, corrélative, de son environnement, définitions centrales de HG sur lesquelles trop peu se sont penchés, centrales car sans concept précis on ne peut attendre de réponses claires et fondées aux questions théoriques de HG. Gaïa pourrait également être l'occasion de faire avancer des développements récents sur la notion d'optimisation et de progrès³⁴, sur le sens qu'il y aurait à produire des énoncés fonctionnels à l'échelle d'un écosystème ou du globe (e.g. "le rôle du plancton carbonaté est de rendre le cycle du carbone plus robuste face aux perturbations"). Elle pourrait contribuer aux réflexions sur les conditions nécessaires à ce qu'il y ait sélection naturelle - certains semblent se passer de la reproduction³⁵, de l'hérédité, d'autres dessinent des espaces de sélection plus ou moins parfaite selon que tels et tels critères sont plus ou moins satisfaits³⁶ - et sur la force de ces sélections "amputées" - e.g. peuvent-elles toutes rendre compte avec la même force explicative de l'adaptation des organismes et de la diversité du vivant? Enfin, les réflexions critiques de Dawkins aussi bien que le contenu initial de HG ont eu pour conséquence que deux traditions se sont rejointes : l'une d'héritage cybernétique, thermodynamique, physiologique, l'autre ancrée dans un cadre de biologie évolutionnaire. HG pourrait être l'occasion de renouer les liens, tendus et distendus, entre ces deux traditions qui, selon les opinions, se partagent, se complètent et - ou - sont en compétition pour expliquer l'ordre biologique.

32 A. Watson & J. Lovelock, "Biological homeostasis of the global environment : the parable of Daisyworld." *Tellus B*, 1983, 35(4), 284–289.

33 J. Lovelock, "Daisyworld : A cybernetic proof of the gaia hypothesis." *Coevolution Quarterly*, 1983, 38, 66–72.

34 A. Gardner, "Adaptation as organism design." *Biology Letters*, 2009, 5(6), 861.

35 F. Bouchard, "Darwinism without populations : a more inclusive understanding of the survival of the fittest" *Studies in History and Philosophy of Science Part C : Studies in History and Philosophy of Biological and Biomedical Sciences*, 2011, 42(1):106-14.

36 Godfrey-Smith, 2009, *Op. Cit.*