



HAL
open science

la cosmologie comme laboratoire de la complexité

Hervé Albert-R-E Barreau

► **To cite this version:**

Hervé Albert-R-E Barreau. la cosmologie comme laboratoire de la complexité. Intelligence de la Complexité, Epistémologie et pragmatique, 2007, Cerisy-la-Salle (Colloque de), France. pp.185-205. halshs-00147381

HAL Id: halshs-00147381

<https://shs.hal.science/halshs-00147381>

Submitted on 16 May 2007

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.

Intelligence de la complexité: épistémologie et pragmatique

Colloque de Cerisy-La-Salle (23-30 juin 2005)

La cosmologie laboratoire de la complexité

Hervé Barreau
CNRS-Strasbourg-Nancy

La cosmologie est depuis toujours le domaine préféré des mythes. Pour embrasser, en effet, tout ce qui existe dans l'espace et le temps, l'esprit humain ne dispose, au titre de ses capacités propres, que du mythe, qui est un produit de l'imagination créatrice. Or un mythe est nécessairement complexe, car l'imagination ne peut rendre crédibles ses produits que s'ils entrent, d'une façon ou d'une autre, en résonance avec les principaux aspects de l'existence humaine (naissance/mort; amour/haine; alliance/rivalité), mais aussi, s'il s'agit du cosmos, avec le spectacle du ciel étoilé, le retour des saisons, les activités humaines qui se déroulent au cours du temps. En parlant de l'origine du Monde, le mythe cosmique, à quelque culture qu'il appartienne, parle de l'organisation actuelle de ce Monde et de la place actuelle de l'homme dans l'Univers. C'est ainsi qu'il entre en rapport avec la pensée religieuse, qui l'a toujours utilisé, et également avec la pensée scientifique qui, dans ses premiers pas, s'est développée partout à l'ombre de la première. Toutes les civilisations ont adopté leur propre mythologie cosmique, et il serait intéressant d'étudier à cet égard leur parenté, les emprunts qu'elles se sont faits, les modifications qu'elles ont apportées à l'héritage traditionnel.

On se bornera ici à examiner l'aventure du mythe cosmique dans la pensée occidentale moderne. Son originalité consiste en ce que, depuis l'âge classique européen, ce mythe s'est marié avec la science, qui s'est émancipée, à cette époque, de la tutelle religieuse. En réunissant la mécanique céleste et la mécanique terrestre, la physique de Newton a apporté au mythe cosmique un outil dont il ne disposait pas jusqu'alors : une théorie de la gravitation. A la suite de Newton lui-même, le mathématicien Lambert puis le philosophe Kant ont élaboré des essais cosmologiques qui ont réconcilié, pour un moment, le mythe avec la science et exercé, pour cette raison, une sorte de fascination.

Cependant, dès qu'il élaborait sa philosophie critique, où l'idéalisme transcendantal joue le rôle principal, Kant se rendit compte que, de toutes les idées récapitulatrices de la raison, l'idée de "monde", bien qu'elle soit légitime et inévitable, était la plus fragile, la moins apte à désigner un objet. Quand on l'examine, en effet, à l'intérieur des formes, que Kant jugeait *a priori* de l'espace et du temps, l'idée de "monde", qu'on imagine volontiers devant couronner la science physique, se heurte à des antinomies. Or l'existence d'une antinomie, pour un philosophe, signale que la notion qui l'enferme est mal conçue, contradictoire, et donc inapte à rejoindre le domaine de l'objectivité pensable. Il faut la renvoyer dans le domaine du mythe.

Il est intéressant de remarquer à cet égard que l'ostracisme kantien à l'égard de l'idée de "monde" n'a pas été accepté par les successeurs de Kant, notamment Schelling et Hegel qui, en prenant beaucoup de liberté à l'égard de la science, défendirent les droits d'une cosmologie philosophique. Parallèlement les scientifiques, fidèles à l'héritage de Newton, n'acceptèrent ni cet ostracisme kantien, ni les spéculations des philosophes idéalistes post-kantiens. Mais ils se heurtèrent aux grandes difficultés que rencontre la cosmologie scientifique, quand elle se trouve fondée sur la théorie newtonienne de la gravitation. Ces difficultés d'ailleurs n'apparurent en pleine évidence qu'au XIXème siècle, quand l'astronomie ne se borna plus à être une mécanique céleste mais qu'elle devint, dès la fin du siècle et malgré le scepticisme manifesté à son égard par le positivisme, une astrophysique.

La théorie newtonienne de la gravitation, quand elle est interprétée par la théorie du potentiel inventée par Poisson, à laquelle elle se prête fort bien, conduit, en effet, à une impasse. On suppose que l'Univers est infini dans l'espace et le temps et qu'il est peuplé d'étoiles fixes à peu près semblables, de sorte que la densité moyenne de matière est partout sensiblement constante. On doit considérer alors qu'à une masse donnée aboutit un certain nombre de "lignes de force" dont le nombre est proportionnel à la masse considérée. Si l'on considère une sphère de matière, elle enferme une masse proportionnelle à son volume. Il en résulte que la densité des lignes de force qui pénètrent à l'intérieur de la sphère, c'est-à-dire leur nombre par unité de surface, est proportionnelle au rayon de la sphère. Il s'ensuit que l'intensité du champ à la surface d'une sphère doit s'accroître indéfiniment avec le rayon de celle-ci, ce qui est impossible, et d'ailleurs contraire à l'observation.

Pour éviter cette difficulté, on pouvait postuler que l'Univers possédait une sorte de centre, où la densité des étoiles serait maximum. Cette densité diminuerait au fur et à mesure de l'éloignement du centre pour aboutir au vide, à l'infini. Cette conception d'un "Univers-île" avait d'ailleurs été proposée par Kant, avant qu'il ait élaboré sa philosophie critique. Mais, à la fin du XIXème siècle, cette solution n'était plus acceptable. Car, comme l'a remarqué Einstein en 1917, cette solution entraînerait un apauvrissement systématique et progressif du monde matériel, puisque les étoiles rayonnent et perdent de leur substance, ce qu'on ignorait jusqu'alors. Pour dépasser toutes ces difficultés, l'astronome Seeliger avait proposé de modifier la loi de Newton en supposant que, pour de grandes distances, l'attraction entre masses décroît plus vite que l'inverse du carré de leur distance. Moyennant cette hypothèse supplémentaire, Seeliger pouvait récupérer un Univers infini et tout semblait rentrer dans l'ordre. Mais cette violence faite à la loi de Newton n'était guère scientifiquement acceptable, et il semblait que, une fois de plus, la cosmologie scientifique retombait dans le mythe.

Or, puisque la Relativité générale d'Einstein est une nouvelle théorie de la gravitation, il était naturel d'appliquer cette nouvelle théorie géométrique de la gravitation à l'étude de l'Univers. C'est ce que fit Einstein dès 1917, un an après avoir mis au point la Relativité générale. L'application de la théorie einsteinienne de la gravitation à la cosmologie suppose que soit reprise l'hypothèse dont s'était servi la théorie newtonienne, à savoir que la densité de matière est partout sensiblement la même, que l'Univers est homogène et isotrope. C'est ce qu'on appelle le principe cosmologique : l'Univers est alors assimilé à un gaz de galaxies. Toutes les théories

cosmologiques, du moins celles qui ne s'occupent pas de la singularité initiale, sont contraintes d'en passer par là.

On peut penser que cette simplification est abusive, qu'elle répond seulement à une exigence de méthode, et qu'elle fait bon marché de la complexité qui nous frappe également dans l'Univers, nous qui sommes des humains, qui habitons la planète Terre, où nous voyons que la vie s'est développée et qu'elle a produit une multitude d'espèces végétales et animales, dont la nôtre. Il convient de remarquer à cet égard que, parallèlement à l'essor de la nouvelle théorie cosmologique inspirée de la relativité einsteinienne, s'est développée une autre cosmologie, également inspirée par la relativité à laquelle elle emprunte certains concepts, et qui est une cosmologie philosophique. La première cosmologie de ce genre a été élaborée par un scientifique bien connu, qui avait collaboré avec Russell dans la mise au point de la logique formelle moderne; il s'agit du mathématicien Whitehead. Quand ce dernier publia, en 1929, son maître-livre *Process and Reality* qui livrait l'enseignement de philosophie que l'auteur avait dispensé depuis plusieurs années aux étudiants d'Harvard, il donna comme sous-titre à cet ouvrage *Essay on Cosmology*. C'était bien un essai de cosmologie métaphysique, expressément distingué de tout essai de cosmologie scientifique. On aura l'occasion d'y revenir.

Le propos de cet article n'est pas de montrer que la cosmologie scientifique introduit nécessairement à la cosmologie métaphysique, car s'il y a des scientifiques qui s'intéressent à la cosmologie de Whitehead, ce ne sont pas, en général, des astrophysiciens. Mais il est évident que la curiosité cosmologique, si intense aujourd'hui, a suscité, au cours du XXème siècle, deux sortes d'essais : d'un côté des essais scientifiques, qui sont loin d'être épuisés, bien qu'ils aient produit d'importants résultats; de l'autre côté, des essais philosophiques, qui sont, eux aussi, loin d'être taris, bien qu'ils reprennent des problématiques fort anciennes. D'un côté comme de l'autre, il convient d'examiner comment l'Univers manifeste sa complexité, je veux dire, d'une façon générale, sa résistance à se laisser penser selon des mythes simples, dont nos ancêtres devaient se contenter. Il s'agit de relever les différents défis que la pensée, qu'elle soit scientifique ou philosophique, a rencontrés, les solutions qu'elle y a apportées et les incertitudes qui demeurent. Peut-être y a-t-il, en cosmologie, des leçons à tirer pour ceux qui, à des échelles plus restreintes, sont aux prises avec la complexité du réel.

1. la cosmologie scientifique

Le premier défi qu'a dû relever la nouvelle cosmologie scientifique s'est posé à Einstein lui-même, et il est très analogue à la difficulté qu'avait rencontrée la cosmologie newtonienne. Cette dernière se heurtait, on l'a vu, à l'impossibilité de postuler un champ de gravitation infini. Einstein bûta sur la même difficulté quand il s'agit, pour lui, de déterminer l'énergie potentielle d'un corps d'épreuve qui s'éloigne de toute masse : alors cette énergie potentielle devrait tendre à l'infini. Les conditions aux limites qu'il imagina alors pour pallier cette difficulté ne lui parurent pas, à bon droit, satisfaisantes. Il inventa alors une solution dont on a pu dire qu'elle est "le premier acte de la cosmologie contemporaine"¹. Je cite le texte d'Einstein : "S'il était possible de considérer le monde comme un continuum fermé *selon ses dimensions spatiales* (souligné dans le texte),

¹ J.Merleau-Ponty, *Cosmologie du XXè siècle*, Paris, Gallimard, 1965, pp.38-39

alors aucune condition aux limites de cette sorte ne serait nécessaire". Cela veut dire que le temps doit être découplé de l'espace. L'espace-temps subsiste, mais le temps n'épouse plus la courbure de l'espace à 4 dimensions; il est orthogonal à toutes les hypersurfaces d'un univers sphérique, et il est unique pour toutes. Il est vrai que cette hypothèse hardie semble nécessiter l'adjonction aux équations du champ d'un terme supplémentaire, formellement analogue à celui qui, ajouté à l'équation de Poisson, avait affranchi la cosmologie newtonienne de ses contradictions.

La solution imaginée par Einstein était habile, mais elle pouvait passer pour un subterfuge. Le deuxième défi consistait à se libérer de ce terme supplémentaire qu'Einstein avait introduit sous le nom de constante cosmologique. Ce fut l'oeuvre de Friedmann, un physicien et météorologue russe, dès 1922. Einstein n'avait introduit cette constante Λ que parce qu'il avait besoin d'éviter l'effondrement gravitationnel de son univers sphérique, auquel il accordait une existence éternelle dans le passé comme dans l'avenir. C'est ce qu'on a appelé "le modèle cylindrique" d'Einstein, où le temps joue le rôle d'axe de ce cylindre. Friedmann montra que si l'on se débarrasse de la constante cosmologique Λ qu'Einstein avait introduite dans son équation, on a le choix entre trois types de modèles, selon que la courbure de l'espace est négative, nulle ou positive : ce sont les modèles hyperboliques, euclidiens ou sphériques. Seuls ces derniers ont une existence finie dans le temps, puisqu'ils subissent l'attraction gravitationnelle dominante qu'avait voulu éviter Einstein. Voilà des solutions possibles, mais laquelle choisir?

On peut considérer que le troisième défi qu'eut à soutenir la cosmologie relativiste fut de faire choix d'un modèle conforme aux données observationnelles disponibles. Depuis le début des années 20, l'attention des astronomes avait été attirée par la fuite réciproque des galaxies, qui s'éloignaient les unes des autres à une vitesse proportionnelle à leur distance. On constatait le décalage spectral vers le rouge des raies de leur spectre d'émission, et on l'interprétait comme une fuite réciproque, par effet Doppler. C'est Georges Lemaître, un ecclésiastique de Louvain, qui proposa le premier, en 1927, un univers en expansion, fondé sur cette donnée d'observation. A partir de 1930, Lemaître, qui est ainsi l'initiateur de la théorie du Big Bang, proposa un "atome primitif", de nature quantique, antérieur à l'espace et au temps. L'univers serait sorti de cet "atome primitif" par un phénomène de radioactivité, le seul phénomène que la science physique semblait alors offrir, quand la physique quantique était encore dans l'enfance.

Le quatrième défi auquel devait s'atteler la cosmologie relativiste était d'examiner plus avant le profit que l'étude de l'Univers pouvait tirer de la microphysique. Ce fut l'oeuvre d'une pléiade d'auteurs. Parmi eux se distingue le physicien Gamov qui, en 1950, prédit l'existence d'un rayonnement témoin des premières phases de l'univers. Ce rayonnement fossile fut découvert, en 1965, par Panzias et Wilson; et cette découverte apporta à la théorie du Big Bang la confirmation qui lui manquait encore. La découverte des quasars et pulsars était également favorable à la théorie. Toutes ces découvertes firent s'écrouler la théorie de la création continue de matière, qui avait été inventée entre temps pour éviter le Big Bang (ou explosion première), tout en gardant la fuite réciproque des galaxies, qu'on ne pouvait expliquer autrement que par l'expansion de l'Univers.

On peut parler aujourd'hui d'un cinquième défi, qui consisterait à mettre en relation la théorie recherchée de l'unification des quatre interactions fondamentales avec l'histoire du début et de l'expansion de l'Univers. Nous aurons l'occasion d'y revenir. D'un point de vue purement scientifique on peut dire que cette théorie, où les "super-cordes" devraient tenir le premier rôle est loin d'être achevée. En son absence, nous ne disposons que de scénarios vraisemblables du début de l'Univers, qui jouent avec les paramètres de temps et de température.

Quand on regarde ces 5 défis, on s'aperçoit que les quatre premiers ont été surmontés d'une manière beaucoup plus parfaite que n'avait réussi à le faire l'initiateur en la matière, ce qui donne quelque confiance dans la cosmologie comme science.

S'il s'agit du premier défi, qui a donné naissance à l'idée de "temps cosmique", il faut signaler qu'Hermann Weyl, dès 1923, montra que cette hypothèse est indépendante de l'image trop simple et trop particulière dont avait besoin Einstein, quand il imagina "la matière en repos". Le temps cosmique doit être considéré comme l'expression de l'expansion de l'espace dans toutes les directions, et c'est ce qu'avait aperçu Hermann Weyl lui-même quand il avait rapproché cette expansion du red-shift du spectre des galaxies lointaines.

S'il s'agit du deuxième défi, que Friedmann releva le premier, il convient de signaler que ses modèles furent repris, dans les années 30, par Robertson et Walker, qui firent apparaître la courbure de l'espace comme une fonction du temps cosmique. Il faut signaler également que Friedmann avait bien vu que les modèles relativistes qu'il avait proposés ne tenaient pas compte de facteurs topologiques et que, pour cette raison, on pouvait introduire des modèles de géométrie elliptique à côté de modèles de géométrie sphérique. En 2005, Jean-Pierre Luminet, qui a étudié l'introduction de facteurs topologiques, a proposé un modèle dodécaédrique, qui semble supporté par les observations.

S'il s'agit du troisième défi, associé au nom de Georges Lemaître, il convient de signaler qu'on s'est habitué à considérer le début de l'Univers, antérieur à l'expansion, comme une singularité de l'espace-temps et que, pour expliquer l'homogénéité de l'Univers observable, on a proposé une théorie de l'expansion accélérée ou inflation, qui se serait produite au cours de la première seconde qui a suivi le Big Bang, exactement entre 10^{-37} et 10^{-35} sec.

S'il s'agit du quatrième défi, associé aux recherches de physique quantique, on peut signaler que l'étude des réactions particulières et des réactions chimiques a rendu vraisemblable le récit du début de l'Univers en quatre époques, qui sont l'époque particulière, l'époque nucléaire, l'époque radiative, enfin l'ère matérielle ou stellaire, au cours de laquelle se forment dans les étoiles les éléments lourds. La naissance des différentes structures de la matière est ainsi associée au refroidissement progressif de l'Univers.

Pour autant tous les problèmes ne sont pas résolus, au contraire. Les problèmes scientifiques deviennent de plus en plus difficiles à résoudre, à mesure qu'on s'approche davantage d'une formulation rigoureuse et qu'on recueille davantage d'observations, qui

sont obtenues, en cosmologie, à l'aide des satellites et des sondes. Parmi les questions actuelles figure, en particulier, celle-ci : puisqu'on a constaté, notamment à partir de 2002, une accélération de l'expansion, d'où vient l'énergie sombre qui assure cette accélération et qui, d'après les calculs, constituerait 70% de l'énergie totale de l'Univers? Est-ce l'énergie du vide, est-ce une quinte essence, comme on l'appelle? En attendant qu'on obtienne plus de lumière en ce domaine, la constante cosmologique Λ d'Einstein, que ce dernier avait désavoué, reprend, pour l'utilité, du service.

2. la cosmologie métaphysique

Ce ne sont pas les questions posées plus haut, telles qu'elles sont posées, qui suscitent des énigmes métaphysiques. La science moderne a adopté un style qui permet d'éviter les énigmes métaphysiques, et les recherches en cosmologie scientifique ressortissent à ce style moderne de la science. Mais ce style, pour légitime qu'il soit, ne satisfait pas tout le monde. Il se trouve, en particulier, des scientifiques qui pensent que, sans qu'il soit nécessaire de revenir aux idées cosmologiques de Platon et d'Aristote, qui relèvent d'un autre style de la science, il faudrait cependant retrouver quelque chose de leur inspiration, qui puisse permettre quelque comparaison avec les visions du monde que les grands philosophes de l'Antiquité grecque avaient élaborées.

Parmi ces scientifiques figure Whitehead, qu'on a cité plus haut, et qui a proposé une cosmologie métaphysique. Cette cosmologie se démarque d'emblée de l'idéalisme kantien qui, parce qu'il est un idéalisme armé de ses propres structures *a priori*, est conduit à refuser tout essai de cosmologie objective. Whitehead, de son côté, ne prétend pas associer sa métaphysique aux conquêtes de la science, dont, à partir de 1926, il ne semble pas s'être beaucoup inquiété. Par contre il a élaboré un "schéma spéculatif", un ensemble de catégories qui est apte, selon lui, à prendre en charge les problèmes dont la science ne peut pas s'occuper. "La philosophie spéculative, a-t-il écrit, est l'entreprise qui se donne pour tâche de bâtir un système cohérent, logique et nécessaire, d'idées générales où chaque élément de notre expérience puisse prendre place et sens" (*Process and reality*, p.3). Whitehead veut être fidèle à l'expérience complète, notamment à l'expérience affective, esthétique et religieuse, dont il s'est aperçu que la science moderne ne rend pas compte, depuis qu'elle a opéré, en particulier, cette "bifurcation de la nature" dont souffre la mentalité moderne. La science moderne, pour Whitehead, dévalorise l'intuition et le sentiment de la solidarité des êtres; elle a détruit l'intuition du procès ou devenir, qui est l'ultime réalité, où la créativité met en rapport le multiple avec l'un. Certaines expressions de Whitehead sont même très sévères à l'égard de scientifiques qu'il présente comme des obscurantistes: "A chaque génération, les obscurantistes sont pour l'essentiel le gros des praticiens de la méthodologie dominante. Actuellement, les méthodes scientifiques dominent, et les hommes de science sont les obscurantistes". De telles expressions ont pu satisfaire, s'ils en ont pris connaissance, Bergson, et, plus près de nous, Michel Henry .

Il est inutile de s'attarder à l'aspect polémique de la pensée Whiteheadienne. Cet aspect pourrait faire croire que Whitehead avait du mépris pour la science, ce qui n'est absolument pas le cas. Il refusait seulement à la science l'accès à la réalité profonde. Ainsi on pourrait dire qu'il était d'accord avec Kant pour borner la science aux

phénomènes; mais il était en désaccord avec le philosophe de Königsberg quand il défendait les droits de la métaphysique au sens traditionnel et pré-critique du terme.

Quelle était donc cette métaphysique, dont Whitehead revendiquait l'existence, en lui fournissant un "schème spéculatif"? On ne peut la résumer en une page, mais du moins peut-on en faire ressortir l'idée principale. Pour Whitehead, la réalité profonde est constituée d'*entités actuelles*, qui sont chacune en devenir ou en procès et qui visent chacune un but qui est leur pôle mental. Mais ces entités sont produites à partir d'autres entités actuelles, qui constituent leur pôle physique, et les soutiennent dans l'existence par une action de "concréscence". Les entités actuelles sont des "gouttes d'expérience, complexes et interdépendantes". On croit déjà saisir ici ce qu'Edgar Morin appelle l'"auto-éco-organisation". Rappelons que Whitehead voulait qu'on désigne sa philosophie comme "la philosophie de l'organisme".

Il est donc clair que Whitehead réintroduit dans sa métaphysique la finalité qui avait été bannie de la science moderne. En ce sens la philosophie de l'organisme rappelle celle d'Aristote. Cependant elle se distingue de celle d'Aristote, en ce que Whitehead refuse la notion de "substance première", qui dénote, chez le Stagirite, l'existence séparée de chaque substance. L'existence n'est, chez Whitehead, qu'un tissu de relations. C'est pourquoi à la notion inévitable de "sujet", il associe celle de "superjet", qui est l'accomplissement du sujet, lequel meurt en léguant ce qu'il était aux autres entités actuelles, qui en font l'objet de "préhensions" et lui assurent ainsi une "immortalité objective".

En mettant l'accent sur les relations, Whitehead s'inspirait, dit-on, de la Relativité générale. Ce n'est pas inexact, mais il faut préciser que Whitehead a refusé la théorie einsteinienne de la gravitation, à laquelle il en a substitué une autre, critiquée par Einstein, et moins propre que celle d'Einstein à fournir les bases d'une cosmologie scientifique. Ce qui est sûr, c'est que Whitehead mettait en relief l'existence de réseaux ou "nexus" dotés d'un centre. Ainsi c'était l'interdépendance des entités qui le frappait; cette interdépendance pouvait faire surgir de "nouvelles lois", caractéristiques d'un âge du monde, au cours de "l'avance de la Nature", qui était elle-même guidée par les "objets éternels" qui constituent "la nature primordiale de Dieu". S'il y a un philosophe de l'âge classique européen qui peut être comparé à Whitehead, ce serait Spinoza, un Spinoza qui aurait écouté les leçons de Bergson et aurait substitué la contingence des lois à l'inexorabilité d'un développement nécessaire.

Cependant il n'y a pas d'"élan vital" chez Whitehead, et nul plan d'ensemble. Si le monde dépend de Dieu, Dieu dépend aussi du monde qui lui offre "sa nature conséquente", sans laquelle les "objets éternels" resteraient de pures potentialités. En raison de ce que j'ose appeler une "timidité métaphysique", la philosophie de Whitehead ne semble pas apte à affronter les problèmes métaphysiques que rencontre la cosmologie scientifique, du moins dans son cinquième défi, problèmes qui se présentent quelle que soit la perspective par laquelle on les aborde. Si on les aborde par le biais de l'origine de l'Univers, on peut prétendre que la théorie d'Edgard Güngzig devrait en rendre raison, quand elle montre que l'Univers a jailli de la rencontre du vide quantique et de la gravitation; mais il s'agit d'une rencontre miraculeuse, dont seule une théorie unifiée du champ quantique et de la relativité générale, dont on est loin, pourrait rendre raison. On

peut aborder le problème autrement : dire qu'à l'origine, il est arbitraire de distinguer entre les lois primitives et les conditions initiales, ce qui semble raisonnable, mais, puisqu'il s'agit d'un alliage, quel en est le secret? Enfin on peut prétendre que l'unification des interactions, quand elle sera effectuée, apportera une réponse à tout ; mais un tel genre d'explication, en fait, n'expliquerait rien, comme l'a montré John Barrow dans "La Grande Théorie", car c'est la désunification et ses produits qui nous importent et qui obéissent à des conditions qui ne nous seront pas offertes dans la théorie unifiée. On se heurte, quelle que soit la façon dont on aborde le problème de l'origine, au mur de la science moderne, qui n'est puissante qu'à la condition d'être abstraite et de faire des présuppositions dont la valeur n'est jamais garantie. Ce ne sont pas les cadres généraux de l'espace et du temps, qui nous gênent, comme le pensait Kant; ce sont nos habitudes scientifiques de penser, qui ne sont pas proportionnées aux problèmes métaphysiques qu'il est impossible d'éviter.

Pour aborder ces problèmes métaphysiques, il est insuffisant, comme l'a fait Whitehead, d'attribuer une "finalité interne" aux entités actuelles, car rien n'empêcherait ces entités de se détruire mutuellement. Il faut un facteur de coordination, ce que Kant appelait une "finalité externe", dont il nous permettait de rêver, tout en nous défendant d'en affirmer la réalité objective. Et pourtant "l'auto-éco-organisation" réclame l'une et l'autre finalité, qui doivent être harmonisées.

L'harmonie de ces facteurs internes et externes semble particulièrement nécessaire pour assurer la marche vers la complexité, au sens d'une organisation interne croissante, qui nous semble si remarquable, quand nous examinons le chemin qui va du noyau d'hydrogène à l'être humain, en passant par tous les degrés d'organisation atomique, moléculaire, cellulaire, organique et cérébrale. Pourvu que les conditions s'y prêtent, comme nous voyons que ce fut le cas sur la planète Terre, la Nature suit un ordre admirable, comme s'il était le produit d'une seule poussée, que Bergson a traduite sous le nom d'"élan vital". Sur ce point, l'histoire, telle que nous pouvons la reconstituer aujourd'hui des aventures du Cosmos et de la vie, donne une illustration étonnante à ce qui ne pouvait être, chez Bergson, qu'un pressentiment. C'est le physicien Freeman Dyson, l'un des inventeurs de la théorie quantique du champ, qui a écrit en 1971 :

"Lorsque nous regardons l'univers et identifions les multiples accidents de la physique et de l'astronomie qui ont travaillé à notre profit, tout semble s'être passé comme si l'Univers devait, en quelque sorte, savoir que nous avions à apparaître"².

On remarquera la prudence avec laquelle Dyson, un vrai scientifique, avance sur une voie, qui n'est habituellement pas la sienne. Il ne prétend pas que la science requiert la métaphysique; il montre seulement que la science concourt à poser les problèmes métaphysiques. "Tout semble s'être passé comme si" : c'est une réflexion que nous faisons, non une évidence qui s'imposerait à nous. Et quand il ajoute "l'Univers devait, en quelque sorte, savoir que nous avions à apparaître", il ne prétend pas que l'Univers savait vraiment, à la façon dont un acteur dramatique sait le rôle qu'il joue, mais que nous sommes conduits à concevoir qu'une Pensée guidait la marche de l'Univers. Il est curieux que Witten, dans les dernières pages de son livre *Les trois premières minutes de l'Univers*, fait une remarque semblable, quitte finalement à la récuser, comme si elle

² *Scientific American*, 225, sept. 1971, p. 51

n'était pas, en effet, scientifiquement présentable : "Nous fûmes conçus dès le commencement" .

Cette remarque de Witten, rapprochée de la réflexion de Dyson, peut passer pour une expression de ce qu'on appelle communément *le principe anthropique*. On voit que Dyson l'a formulé, à sa manière, en 1971, avant que Brandon Carter en ait donné une formulation en 1974. Cependant, bien avant ces différents auteurs, l'idée en avait été clairement exprimée dès 1961 par l'astronome Dicke. C'était l'époque de la découverte de l'immensité de l'Univers : cent milliards de galaxies! A côté d'une telle immensité, l'existence de l'homme peut paraître insignifiante, accidentelle, voir absurde. Mais la réponse de Dicke à cette disproportion apparente retourne complètement le problème. Voici en substance cette réponse : l'Univers doit certainement être assez vieux pour que nous ayons eu le temps d'apparaître. Or, on admet que la vie, telle que nous la connaissons, n'a pu se développer qu'à partir de molécules organiques formées d'atomes suffisamment lourds (le carbone, dans le cas de la vie terrestre). L'astronomie nucléaire nous a appris, d'autre part, dès les années cinquante, que les noyaux lourds n'ont pu être synthétisés qu'à des températures suffisamment élevées, qui n'ont pu être atteintes qu'au coeur des étoiles au cours des phases avancées de leur évolution. S'il existe des êtres vivants, donc si nous existons, c'est que l'âge de l'Univers est au moins égal à la durée d'une étoile typique sur la séquence principale, qui est de l'ordre de dix milliards d'années. Les équations de la cosmologie relativiste imposent alors que l'Univers ait une taille proche de celle de l'Univers observable aujourd'hui. L'âge et la taille de l'Univers sont donc tout à fait proportionnés à notre existence.

D'autre part, Dicke montrait que cette convenance s'accordait parfaitement avec la mystérieuse concordance des 4 grands nombres construits à partir des constantes fondamentales de la physique ainsi que des paramètres cosmologiques, coïncidence déjà relevée par Eddington dans les années vingt. Pour Dicke, cette coïncidence serait caractéristique de tout Univers abritant des observateurs et susceptible d'être étudié par eux ³.

Dans ces conditions, l'article de Brandon Carter, publié en 1974 ⁴, n'a rien d'original. Carter s'est borné à donner un nom, au reste discutable, au raisonnement de Dicke. Le principe aurait pu tout aussi bien être nommé *principe vitaliste* ou *principe biocentrique* ou même, comme certains l'ont proposé, *principe de complexité*. Carter a également donné un nom aux deux étapes de l'argumentation de Dicke : il a appelé la première *forme faible* et la seconde *forme forte* du *principe anthropique*.

Cependant, comme le développement de la cosmologie scientifique le montre de plus en plus, il est difficile de séparer la partie proprement cosmologique de la partie proprement physique de l'argumentation de Dicke qui, au surplus, ne faisait qu'ajouter aux considérations proprement cosmologiques des considérations physiques tirées des constantes fondamentales, parmi lesquelles figurait déjà la constante (astronomique) de

³ cf. D.Demaret, *Univers, les théories de la cosmologie contemporaine*, Aix-en-Provence, Le Mail, 1991, pp.273-274

⁴ *ibid.* p.274. L'article s'intitulait *Large Number Coincidences and the Anthropic Principle* et parut dans *Confrontation of Cosmological Theories with Observational Data*, Symposium IAU n°63, édité par M.S.Longair, Reidel, Dordrecht, 1974, p.291

Hubble. A vrai dire, selon la remarque de Dyson, "les accidents de la physique et de l'astronomie" sont à englober dans un seul ensemble. C'est pourquoi l'usage a prévalu, malgré les distinctions initiales de Carter, d'appeler *forme faible* la simple constatation de la convenance réciproque de la constitution de l'Univers et de la vie qui est apparue au moins sur notre planète, et *forme forte* l'affirmation, qu'on a trouvée chez Dyson, qu'il y avait une intention ou une finalité dans l'apparition de l'Homme, ou d'un observateur, dans un Univers qui semble avoir été conçu afin qu'un tel observateur apparaisse.

A la lumière de ce qu'on a développé plus haut, il est clair que seule la forme forte du principe anthropique possède le sens métaphysique que nous cherchions, à savoir, l'existence d'une "finalité externe" qui, quels que soient les degrés, peu perceptibles dans les niveaux les plus bas, de "finalité interne", guide l'avance de la Nature vers les conditions d'apparition des êtres supérieurs, en qui la spiritualité, immanente à ce monde, prend conscience d'elle-même.

Pour autant on aurait tort de dédaigner la forme faible du principe anthropique. Elle possède une valeur heuristique, qui s'est déjà manifestée. Ainsi l'astronome Hoyle, qui avait de fortes connaissances en physique quantique, a présumé que l'apparition de la vie, donc du carbone, exigeait des conditions spéciales. Le problème était d'expliquer pourquoi le carbone, qui est formé de trois atomes d'hélium 4, ne s'est pas totalement converti en oxygène, formé de quatre atomes d'hélium. Hoyle a présumé qu'il devait y avoir une raison de "résonance quantique", qui préserve l'existence du carbone. De fait cette condition de "résonance" a été découverte : les conditions de température, à l'intérieur des étoiles, favorisent la "résonance" du carbone, tandis qu'elles défavorisent la "résonance" de l'oxygène. Mais ces conditions de résonance sont elles-mêmes déterminées par la constante de couplage de l'interaction forte. On montrerait, de même, que les autres constantes de couplage sont telles que toutes les conditions qui donnent naissance à la vie ont pu être réunies, tandis qu'une modification, en plus ou en moins de leur valeur, rendrait à jamais impossible la vie, telle que nous la connaissons. Tout est donc incroyablement relié dans l'Univers, et on peut examiner cette reliance, soit de haut en bas, selon la formulation faible du principe anthropique, soit de bas en haut, selon sa forme forte. Epistémologiquement, les deux formes du principe anthropique relèvent du "jugement réfléchissant" qui, selon Kant, à l'inverse du "jugement déterminant", va du particulier au général, en se fondant sur une idée de finalité, qui n'avait, chez ce philosophe, qu'une valeur subjective. Métaphysiquement, la forme faible est au service de la science, tandis que la forme forte est au service de la sagesse; la première n'enferme aucun engagement ontologique, la seconde implique la croyance en la finalité.

Conclusion

Forgée par le mythe, la notion d'Univers s'est prodigieusement enrichie au contact de la science moderne, et surtout de la science contemporaine. On a essayé de montrer que la cosmologie scientifique a dû faire face à des défis, et qu'elle ne cesse pas d'affronter de redoutables difficultés. Parmi ces difficultés les unes seront clarifiées par la science qui est en mesure par moments de faire un tri parmi les hypothèses. Les autres,

qui s'énoncent diversement selon l'état de la science et le biais par où elles sont abordées, sont au delà de la portée de la science.

Il n'est pas toujours facile de discerner ce qu'on peut attendre de la détermination scientifique et ce qu'il convient de réserver à la réflexion métaphysique. Car il arrive que des découvertes déplacent les problématiques et reportent les interrogations métaphysiques sur des terrains nouveaux. Cependant, on peut dire que, d'une façon générale, la science n'accepte pas la finalité, tandis que la métaphysique fait sien le domaine des fins, et par là les questions dernières, qui sont également, pour ceux qui croient en la finalité, les questions premières. Cette délimitation des rapports entre la science et la métaphysique me semble avoir été assez heureusement exprimée par Freeman Dyson dans les *Gifford lectures*, qu'il donna en 1985 :

"A l'intérieur de la science, toutes les causes doivent être locales et mécaniques. Le but n'est pas acceptable comme une explication des phénomènes scientifiques. L'action à distance, que ce soit dans l'espace ou le temps, est interdite. En particulier les influences téléologiques des buts finaux sur les phénomènes sont interdits. Comment alors allons-nous réconcilier cette prohibition avec notre expérience humaine de la finalité et avec notre foi dans un dessein universel? Je rends la réconciliation possible en restreignant la portée de la science. Le choix des lois de la nature et le choix des conditions initiales pour l'Univers, sont des questions qui appartiennent à la méta-science et non à la science. La science est restreinte à l'explication des phénomènes au dedans de l'Univers. La téléologie n'est pas défendue quand les explications vont au delà de la science jusque dans la méta-science" ⁵.

Immédiatement après ce passage, Dyson ajoute: "L'exemple le plus familier d'une explication méta-scientifique est le principe dit anthropique..." Ainsi Dyson confirme qu'il a toujours entendu le principe anthropique dans sa forme forte, qui constitue une explication "méta-scientifique", un terme qu'emploie l'auteur pour éviter sans doute les multiples acceptions du terme "métaphysique" (selon qu'elle porte, ou non, sur la réalité). La méta-science dont il s'agit est bien la métaphysique telle que nous l'avons considérée, la prise en compte de la finalité. On voit que Dyson met dans le registre de la finalité "le choix des lois de la nature et le choix des conditions initiales pour l'Univers", qui sont pour nous scientifiquement inaccessibles, mais qui sont métaphysiquement pensables à partir de ce qui en résulte, nous-mêmes y compris. Ces considérations ne peuvent prétendre abolir les recherches de cosmologie scientifique, qui progressent à partir d'hypothèses et d'observations, et qui sont de plus en plus difficiles à mesure qu'elles s'approchent de l'origine de l'Univers, comme on l'a vu. Des trois biais, par lesquels la recherche scientifique côtoie alors la pensée métaphysique, Dyson a pris le deuxième, qui est sans doute le plus manifeste (et le moins évitable) pour le scientifique, qui ne peut choisir les lois de la nature ni les conditions initiales où l'Univers a pris naissance. Tout au plus peut-il les supposer, à partir de ce qu'il peut imaginer et observer.

Ainsi l'Univers échappe-t-il aux recherches de laboratoire. Mais la cosmologie nous plonge dans la complexité du réel, soit qu'elle parvienne, malgré les interdits kantien, à considérer l'Univers comme un objet sur lequel la méthode scientifique peut

⁵ F.Dyson, *Infinite in all directions*, Perennial Library, 1989, p.286

légitimement s'exercer, soit qu'elle considère que cet objet échappe à la méthode scientifique quant aux choix qui en marquent l'origine (et la fin). La cosmologie retrouve, dans cette deuxième version, sa nature profondément mythique. Mais de tous les mythes qui provoquent et enrichissent la pensée, le mythe cosmique est, en ce début du XXIème siècle, certainement le plus passionnant.

Bibliographie

H.Barreau, "la physique et la nature", *Annales Fondation Louis de Broglie*, vol.26, n°1, 2001, 43-53

J.D.Barrow, *La Grande Théorie, les limites d'une explication globale en physique*, Paris, Flammarion, 1996

J.Demaret, *Univers, les théories de la cosmologie contemporaine*, Aix-en-Provence, Le Mail, 1991,

J.Demaret & D.Lambert, *Le Principe Anthropique, l'Homme est-il le centre de l'Univers*, Paris; Armand colin, 1994

F.Dyson, *Infinite in all directions*, New-York/Cambridge/London, Perennial Library, 1989

D.Lambert, *Un atome d'Univers, la vie et l'œuvre de Georges Lemaître*, Bruxelles, Lessius, 2000

Trinh Xuan Thuan, *La mélodie secrète, et l'homme créa l'univers*, Paris, Gallimard, 1991

A.N.Whitehead, *Procès et réalité, Essai de cosmologie*, trad.franç. d'après les éditions anglaises de 1929 et 1978, Paris, Gallimard, 1995