



**HAL**  
open science

## Cosmologie et finalité

Hervé Albert-R-E Barreau

► **To cite this version:**

| Hervé Albert-R-E Barreau. Cosmologie et finalité. 2007. halshs-00271615

**HAL Id: halshs-00271615**

**<https://shs.hal.science/halshs-00271615>**

Submitted on 9 Apr 2008

**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.

## **Cosmologie et finalité**

Hervé Barreau

CNRS-Strasbourg-Nancy

L'homme vit sur la Terre, qui est, jusqu'ici, d'après les informations dont nous disposons, la seule planète habitée par des êtres vivants, mais le même homme, non content de porter une marque, qu'on peut aujourd'hui estimer excessive, sur son environnement, pense l'Univers dans son ensemble. De cet Univers la Terre fait partie, à travers le Système solaire, la Voie Lactée et notre amas de galaxies. L'homme est même le seul être vivant sur Terre à penser l'Univers dans sa totalité, puisque seule la pensée peut embrasser l'Univers qui rassemble par définition tout ce qui existe dans l'espace et le temps. La capacité de penser l'Univers est certes un privilège humain qui frappait déjà Pascal au XVII<sup>ème</sup> siècle, et qui témoignait pour lui de la grandeur de l'homme. Mais il y a loin de la pensée de l'Univers à sa connaissance. Les connaissances que l'homme acquiert de l'Univers varient et progressent selon les époques et diffèrent également les modes d'explication qu'il trouve, une fois qu'il s'est fait, avec les moyens dont il dispose, l'artisan de ce tableau d'ensemble. Aujourd'hui encore, et il vaudrait mieux dire surtout aujourd'hui, car le progrès des connaissances astrophysiques est considérable depuis trois quarts de siècle, la cosmologie n'échappe pas à cette double question. Nous sommes donc conduits à cette double interrogation : quel est cet Univers que nous pouvons penser? Quelle est la raison d'être de sa prodigieuse existence? C'est à cette double question que nous allons essayer de répondre.

### **1) la nouvelle idée de l'Univers depuis l'avènement de la Relativité générale**

Il y a une certaine parenté entre l'idée de l'Univers que pouvaient se faire les Anciens et celle des Médiévaux. Pour les uns et pour les autres, si l'on met à part les atomistes dont la pensée cosmologique resta toujours spéculative, l'extraordinaire diversité des formes d'existence sur la Terre contrastait avec l'uniformité des mouvements circulaires du Ciel et ce n'est pas par hasard s'ils faisaient généralement de la Terre le centre de l'Univers. De la même façon il y a une certaine parenté entre l'idée des penseurs classiques instruits de la physique newtonienne et celle des cosmologues contemporains. Car, avec Newton, tout change : non

pas seulement parce que le système de Copernic, revu par Kepler, est décidément plus vraisemblable que celui de Ptolémée, mais surtout parce que la gravitation, dont Galilée a donné la formule pour la chute des corps sur Terre, régit également les mouvements célestes, comme Newton en fit la découverte. Selon cette théorie, la loi de l'attraction gravitationnelle englobe tout; c'est la loi qui régit l'Univers. Or qu'est-ce qui s'est produit de nouveau, à cet égard, dans la première moitié du XX<sup>ème</sup> siècle? Tout simplement une nouvelle théorie de la gravitation, celle d'Einstein. Avec Newton, la gravitation était considérée comme une force, la plus universelle sans doute, mais une force comme les autres, et elle s'ajoutait, comme telle, aux lois du mouvement qui étaient déterminées sans elle. Avec Einstein la gravitation s'introduit dans les lois du mouvement puisque, alors qu'elle disparaît comme une force, elle s'identifie avec l'inertie des masses, étant donné que localement elle s'impose de façon égale à tous les corps et détermine, ou du moins influence, la métrique de l'espace et du temps. Il en résulte une autre façon de considérer l'Univers. Ce dernier n'est plus inclus dans l'espace et le temps, comme il l'était chez Newton, mais il inclut lui-même l'espace et le temps. Du coup les difficultés qui avaient grevé la cosmologie newtonienne, et dont Kant avait estimé qu'elle ne pourrait les surmonter, disparaissent, ou, du moins, peuvent être plus facilement surmontées. Car il ne faut pas croire que la gravitation einsteinienne offre d'elle-même une nouvelle conception de l'Univers. Einstein lui-même a dû y ajouter trois postulats, dont le premier n'est guère discuté, car il est constitutif de la nouvelle manière de voir, tandis que le second et surtout le troisième peuvent subir des interprétations diverses.

Le premier postulat consiste à dissocier les trois dimensions spatiales de l'unique dimension temporelle, dont la Relativité avait fait un tout jusque là. Ce postulat a été introduit par Einstein pour couper court à une difficulté relative à la relativité de l'inertie, postulée par Mach, dans un champ de gravitation. Si ce champ de gravitation doit s'étendre à l'infini, alors il implique un potentiel infini, ce qui est physiquement impensable. La difficulté disparaît si les trois dimensions spatiales se referment sur elles-mêmes, donnant naissance à un Univers, à géométrie "sphérique", qui est spatialement fini, bien qu'illimité. Mais alors, le temps se trouve libéré : il englobe tous les mouvements de l'Univers, c'est le "temps cosmique", comme l'a baptisé Hermann Weyl. On peut discuter s'il est fini ou infini. Pour Einstein, nous allons le voir, il était infini.

Le deuxième postulat n'a guère été discuté à l'origine puisqu'il était nécessaire pour constituer un objet unique, tel qu'il s'offrait aux astronomes, quelle que soit la direction où ils pointaient leurs instruments : c'est l'homogénéité et l'isotropie de l'Univers, assimilé à un gaz

d'étoiles ou mieux de galaxies. Ce sera plus tard, nous le verrons, que ce postulat demandera à être légèrement retouché.

Le troisième postulat a été discuté dès l'origine. C'est l'introduction de la constante cosmologique  $\lambda$ , dont Einstein avait besoin pour s'opposer à la gravitation qui aurait entraîné l'effondrement de l'Univers sur lui-même. Einstein imaginait donc un Univers infini dans le temps, dans le passé comme dans l'avenir, et à volume spatial identique. Une image peut en être donnée, si l'on réduit les trois dimensions spatiales à deux: son volume est alors représenté par la base d'un cylindre. D'où l'appellation de modèle "cylindrique" donnée au tout premier modèle cosmologique d'Einstein.

C'est en 1917 qu'Einstein écrivit ses *Considérations cosmologiques*. Dès 1918, l'astronome de Sitter montra que ce n'était pas l'unique modèle d'Univers compatible avec la théorie relativiste de la gravitation et proposa un autre modèle où l'espace est curieusement vide de matière. Mais c'est en 1922 que le météorologiste russe Friedmann, qui s'était fait expert en relativité, montra que la constante cosmologique  $\lambda$  n'était nullement nécessaire, mais qu'on pouvait imaginer une infinité de modèles d'Univers différents, regroupés en trois classes selon la façon dont ils évoluent: les uns finis dans le temps et à géométrie sphérique, qui se contractent après une période de dilatation, les autres infinis dans le temps et à géométrie hyperbolique, qui se dilatent indéfiniment, les autres enfin à géométrie euclidienne, qui se dilatent également indéfiniment mais de moins en moins. Sans connaître le travail de Friedmann, auquel finalement Einstein donna son adhésion en renonçant à la constante cosmologique  $\lambda$ , le chanoine Lemaître, dès 1927, proposa un univers en expansion, qui pouvait s'autoriser, du côté de l'expérience, de l'éloignement mutuel des galaxies, découvert par Hubble dès 1924. Lemaître gardait, pour sa part, la constante cosmologique  $\lambda$ , à laquelle il assignait même un sens dans le cadre de la Relativité, et nous verrons que l'idée ne méritait sans doute pas d'être sacrifiée. Cependant l'idée de l'expansion de l'Univers, dont Lemaître fut ainsi le premier protagoniste, eut du mal à s'imposer. Ce n'est qu'en 1929 que Hubble lui-même s'y rallia, à la suite de nouvelles observations qui montraient nettement que la vitesse de la fuite réciproque des galaxies était fonction de la distance des galaxies (selon la loi de Hubble:  $v=Hd$ ;  $H$  étant la constante dite de Hubble) et qu'elle s'appliquait aux amas de galaxies plutôt qu'aux galaxies elles-mêmes (qui se rapprochent en fait les unes des autres du fait de la gravitation à l'intérieur des amas qu'elles constituent). Comme Lemaître l'avait bien vu, l'expansion est une expansion de l'espace, non de la matière. Les amas de galaxies sont les marqueurs de l'expansion, comme le seraient des points dans un ballon qu'on gonfle. Or si

l'Univers est en expansion, cela veut dire qu'il a commencé par être logé dans un minuscule volume. Lemaître proposa, dès 1931, la théorie de "l'atome primitif", où le mot "atome" doit être pris dans le sens grec d'"indivisible", en dehors de l'espace et du temps. Il est clair que la physique classique ne peut traiter de cet étrange "atome"; Lemaître pensait qu'il pouvait relever de la physique quantique, et sur ce point encore, son intuition était juste. Quoi qu'il en soit, postuler un "atome primitif", c'est postuler l'explosion initiale, à laquelle Hoyle donna, pour s'en moquer, le nom de "Big Bang", un nom qui lui est resté, en acquérant, on va le voir, un sens tout à fait respectable.

La théorie standard de la cosmologie contemporaine repose donc sur deux piliers: l'un observationnel, qui est la fuite réciproque des amas de galaxies, l'autre théorique, qui est l'explosion initiale. Nous allons voir qu'elle a été contestée sur l'un et l'autre de ces piliers, mais qu'elle en est sortie victorieuse, grâce notamment à de nouvelles découvertes.

Examinons d'abord le premier pilier. Il est clair que la fuite réciproque des amas de galaxies n'est pas visible à l'œil nu ni au télescope. Ce qui est visible c'est le spectre des rayonnements que ces galaxies envoient, un spectre qui se déplace vers le rouge, c'est-à-dire vers des ondes de plus en plus longues ou de moins en moins fréquentes, à mesure qu'elles sont plus éloignées. C'est ce qu'on appelle le red-shift. Dès 1927, Lemaître donna l'explication la plus simple de ce red-shift, une explication que Hubble, d'abord réticent, finit par admettre, et qui est acceptée par tout le monde aujourd'hui : c'est un effet Doppler. Doppler, en effet, dès le XIX<sup>ème</sup> siècle, décrivit l'effet auquel on a donné son nom : quand une onde est émise par une source qui s'éloigne d'un récepteur, alors ce récepteur reçoit cette onde à une fréquence plus faible que celle qu'elle possède à sa source. En d'autres termes, sa longueur d'onde augmente. C'est un phénomène purement cinématique, et la Relativité n'y change rien. L'effet est inverse quand la source se rapproche: on parle alors d'un "décalage vers le bleu". L'effet Doppler se constate, dans la vie quotidienne, avec les ondes sonores. On l'utilise, avec les ondes lumineuses, depuis l'invention des radars, et il est devenu le moyen qu'utilise la gendarmerie pour infliger des contraventions pour excès de vitesse.

Plutôt que d'admettre cette explication pour le red-shift des galaxies, une explication qui suppose que l'espace s'accroît avec le temps, ce qui n'est pas conforme à la physique classique, des physiciens s'ingénierent à tenter d'expliquer le déplacement du spectre des galaxies vers le rouge par d'autres causes que leur éloignement mutuel. Ils prétendirent que la

lumière perdait de l'énergie au cours de ce voyage; mais alors du flou devrait s'introduire dans le spectre, ce qui n'est pas le cas. D'ailleurs toute la physique relativiste et quantique s'oppose à ce qui serait "un rougissement des photons". Dès 1950, l'astronome français Paul Couderc, peu suspect d'être influencé par des croyances métaphysiques ou religieuses, jugeait très sévèrement ces tentatives désespérées. Il dénonçait: "La vanité, la stérilité des efforts faits depuis vingt ans pour combattre la récession (des galaxies)... Chercher une interprétation *ad hoc* , écrivait-il, vouloir écarter un phénomène hautement suggéré par l'observation parce qu'il conduit à des conclusions "trop grandes" est assurément contraire à toute méthodologie scientifique véritable" <sup>1</sup>.

Si les amas de galaxies s'éloignent les uns des autres, alors l'Univers se trouve en expansion. C'est la conclusion de la théorie standard, à laquelle cette dernière ajoute l'hypothèse, qui semble inévitable, du Big Bang. Mais cette hypothèse a déplu et déplaît encore à un certain nombre d'astronomes qui admettent la récession des galaxies, mais refusent la conclusion qu'en tire la théorie standard. Ils se réclament des astronomes britanniques Gold et Bondy, auxquels s'était joint, pour l'essentiel, le regretté Hoyle, disparu depuis peu (2002). Tous veulent substituer au "modèle du Big Bang" la théorie de "l'état stationnaire" et de "la création continue de matière". Selon cette théorie, les amas de galaxies sont en fuite certes, selon la loi de Hubble, et donc l'Univers est en expansion, mais il l'a toujours été et le sera toujours. Ainsi l'Univers serait homogène et isotrope non seulement partout, mais aussi en tout temps. Il n'y aurait pas de singularité initiale. C'est ce que les auteurs de la théorie appellent "le principe cosmologique parfait". Afin que les apparences restent les mêmes, la théorie est obligée d'introduire, pour compenser les effets de l'expansion, la création continue de matière, dont on ne peut s'apercevoir. Il est frappant qu'en publiant en 1965 son livre qui reste une référence *Cosmologie du XX<sup>ème</sup> siècle* , le regretté Jacques Merleau-Ponty ait consacré trente pages à la théorie de l'état stationnaire. A cette époque, en effet, la théorie se trouvait à son apogée, mais c'était également le début de son déclin, dont il faut maintenant retracer les raisons.

La principale raison du rejet de la "Steady State Theory" est la découverte du rayonnement fossile, que la théorie était incapable d'expliquer et dont l'étude devait même la mettre directement en cause. Il faut sur ce sujet faire un peu d'histoire. Comme il arrive

---

<sup>1</sup> P.Couderc, *L'expansion de l'univers*, PUF,1950,p.86; cité par J.Demaret, *Univers, les théories de la cosmologie contemporaine*, Le Mail, 1991,p.54.

souvent dans les grandes découvertes, le rayonnement fossile était attendu avant d'être découvert. Dans les années 1940, Georges Gamov, qu'on peut considérer, après Einstein et Lemaître, comme le troisième initiateur de la théorie standard, mit en évidence un point essentiel : si l'Univers s'est trouvé dans le passé dans un état chaud et dense, il devrait rester aujourd'hui un rayonnement fossile de cette époque primitive. Les étudiants de Gamov, Alpher et Herman, prédirent en 1948 que le rayonnement fossile du Big Bang, refroidi par l'expansion de l'univers, devait se trouver à la température de 5 degrés Kelvin. Ce n'est que dans les années 1960 (sans doute en raison du prestige dont bénéficia la Steady State Theory de 1950 à 1960) qu'un intérêt pour un tel rayonnement se manifesta à nouveau. A l'université de Princeton, un groupe de physiciens dirigé par Robert Dicke, retrouva les résultats d'Alpher et Herman de façon indépendante, et conçut un détecteur pour capter ce rayonnement fossile. C'est alors que, tout à fait par hasard, deux ingénieurs du Laboratoire Bell, Arno Penzias et Robert Wilson, qui étaient en train de calibrer une radio très sensible destinée à suivre le premier satellite Echo, découvrirent avec surprise un bruit de fonds qu'ils étaient incapables d'éliminer ni d'expliquer. Ce fait fut porté à la connaissance du groupe de Princeton qui reconnut, dans la découverte de Penzias et Wilson, le rayonnement de corps noir qu'ils cherchaient et dont la température de 2,7 degrés Kelvin était proche de l'estimation prévue. Ce phénomène fut baptisé "fond de rayonnement cosmologique microondes".

Bien entendu ceux que gênait un tel phénomène s'efforcèrent d'en produire, une nouvelle fois, une explication *ad hoc*. Ils prétendirent que bien des événements survenus dans l'atmosphère terrestre pouvaient expliquer un tel phénomène. Ce qu'il fallait montrer, à l'adresse de tels détracteurs, c'est que le rayonnement fossile se présentait bien comme un rayonnement de "corps noir", c'est-à-dire d'un corps qui ne reçoit aucun rayonnement de l'extérieur, qui émet et absorbe ses propres rayonnements, et qui présente une distribution de ses fréquences qui est caractéristique de sa température. Tous les indices allaient dans ce sens. Encore fallait-il en donner la preuve. Cette preuve ne pouvait être apportée que par la détection du même rayonnement au-dessus de l'atmosphère terrestre. C'est dans ce but que fut lancé le satellite COBE, sous l'égide de la NASA, en 1989. Le succès de l'opération fut totale. Comme l'a écrit l'astrophysicien John Barrow : "Il s'agissait du spectre de corps noir le plus parfait jamais vu dans la nature; (c'était) la confirmation éclatante que l'univers fut autrefois des milliers de degrés plus chaud qu'aujourd'hui. Car ce n'est que dans ces conditions

extrêmes que le rayonnement de l'univers a pu adopter une forme de corps noir avec une telle précision"<sup>2</sup> .

Ce qui est intéressant dans de telles données, et dans d'autres recueillies par d'anciens avions-espions utilisés par la NASA dans le même but scientifique, c'est qu'elles mettent en évidence des irrégularités qui peuvent être attribuées à deux causes. La première est que si la Terre est en mouvement dans le système solaire, le système solaire dans la galaxie, la galaxie elle-même dans son amas, nous sommes en déplacement par rapport au rayonnement fossile, et le rayonnement doit être plus intense (plus chaud) dans la direction de ce déplacement : or c'est bien ce que l'on constate. La deuxième cause est d'origine cosmique : s'il y a eu une différence de vitesse de l'expansion de l'univers dans différentes directions ou s'il y a eu une plus ou moins grande concentration de matière dans les mêmes directions, alors il doit y avoir des variations d'intensité dans de telles directions, et c'est aussi ce que l'on constate. Ainsi est fournie la preuve que l'homogénéité et l'isotropie de l'Univers, acceptables en gros (c'était le deuxième postulat d'Einstein), ne sont pas parfaites. Or cette imperfection est précieuse : elle seule semble pouvoir expliquer la formation des galaxies, qui autrement serait incompréhensible.

Tout cela montre éloquemment que l'univers n'a pas toujours été froid et calme, comme le prétend la Théorie de l'Etat Stationnaire. Cependant d'autres arguments furent avancés avant 1992 (date où furent divulguées les données fournies par le satellite COBE) en faveur du modèle du Big Bang. Après la deuxième guerre mondiale, la radioastronomie se développa; elle donne aux astronomes la possibilité d'examiner des objets qui émettent leur énergie sous forme d'ondes radio plutôt que sous forme de lumière visible. Elle a permis de discerner si les galaxies étaient nées un peu près à la même époque, comme le propose le modèle du Big Bang, ou bien si elles naissent à toutes les époques, comme l'implique la théorie de l'état stationnaire : les observations ont été favorables à la première hypothèse. Enfin la découverte de la prépondérance des éléments légers (hydrogène, deutérium, hélium, lithium) dans toutes les parties de l'Univers, découverte sur laquelle nous aurons à revenir, authentifiait elle aussi la modèle du Big Bang. En 2004, la partie semble gagnée, bien que tous les problèmes ne soient pas résolus; ce qui nous incite à examiner ces problèmes.

---

<sup>2</sup> J.Barrow, *les Origines de l'univers*, Hachette-littérature, 1997,p.29

## 2) la raison d'être de l'univers en expansion

Toutes les données de l'astrophysique concordent donc à autoriser la représentation d'un Univers en expansion, à partir d'une origine assez obscure. Les trois hypothèses d'Einstein se trouvent prises en considération, même si elles privilégient l'image d'un Univers qui n'est pas celui qu'Einstein proposa en 1917, mais plutôt celui qu'il proposa en commun avec l'astronome de Sitter en 1932, à savoir le modèle Einstein-de Sitter, où l'espace est euclidien (ni sphérique, ni hyperbolique) et où la constante cosmologique est nulle. Mais Einstein lui-même ne resta pas fixé sur ce modèle et en conçut d'autres par la suite. Il aurait bien voulu pouvoir déduire un modèle vraisemblable d'une théorie physique unifiée. On sait qu'il échoua lui-même à bâtir une théorie unifiée des champs. C'est du côté des quanta, en particulier, que venaient les difficultés. Or, comme l'avait bien vu Lemaître, c'est du côté des quanta qu'il faudrait trouver un modèle de "l'atome primitif". La cosmologie quantique s'y essaie, mais elle n'a pas réussi à offrir, si jamais elle y parvient, une théorie quantique de la gravitation. On a pourtant proposé une fonction d'onde de l'Univers, et même une équation, l'équation de Wheeler-de Witt, mais comme on ignore les conditions initiales, on ne peut pas en tirer grand'chose, en dehors de l'idée que l'évolution de l'Univers est irréversible. Personne ne peut se mettre à la place du Dieu (ou des démiurges) qui a (ont) créé l'Univers, même si c'est encore l'ambition de certains astrophysiciens. On pressent qu'à l'origine de l'Univers les lois et les conditions initiales formaient un tout, et cela n'aide pas à les départager, si d'ailleurs un tel départage a un sens au tout premier stade de la genèse de l'Univers. Il est donc fort possible que le problème soit insoluble, qu'on en soit toujours réduit à des hypothèses. Du point de vue philosophique, cela ne devrait pas nous étonner, non pas, comme le pensait Kant, parce que les formes de l'espace et du temps sont notre propriété et non celles de la réalité physique, mais parce que nous sommes réduits à aborder cette réalité physique de l'extérieur, à l'aide de nos concepts, qui ne sont pas indéfiniment réformables, et ne peuvent s'égaliser à une pensée créatrice. Cela n'empêche pas que les explorations qui sont menées sur ce sujet soient fort intéressantes et puissent nous conduire à certaines réflexions. Il convient donc, sur ce sujet qui fait l'objet d'intenses spéculations, d'examiner tour à tour ces explorations et ces réflexions.

A) Sous le chef des explorations, il faut reconnaître, sans remonter jusqu'à la théorie des cordes et à celle du vide quantique qui restent jusqu'ici spéculatives et sans lien apparent

entre elles, que la cosmologie et la physique quantique ont noué des liens dont les résultats sont instructifs. Je fais allusion ici à deux problèmes qui, sans être définitivement résolus, ont jeté des lumières sur la manière dont la matière originaire a pu se comporter : ce sont le problème de la singularité initiale et le problème de l'inflation.

Concernant la singularité initiale, il était difficile aux physiciens de concevoir un point d'origine où la densité et la température seraient infinies. Certains physiciens prétendaient qu'une contraction extrême des éléments qui composent l'univers est impossible, qu'elle produirait une pression qui s'opposerait à la gravitation et ferait éclater la masse. Mais, en Relativité, la pression est de l'énergie et l'énergie a une masse, soumise, comme toute masse, à la force gravitationnelle. Le mathématicien Penrose, suivi par de nombreux astrophysiciens, démontra que, si l'on fait deux hypothèses, à savoir que la gravitation est partout attractive et qu'il y a dans l'Univers suffisamment de matière, comme le montre le rayonnement fossile, alors la quantité qui doit être positive pour que la gravitation ne cesse pas d'être attractive est la densité  $d$  plus trois fois la pression  $P$  divisée par  $c^2$  ( $c$  étant la vitesse de la lumière et le facteur 3 correspondant aux trois dimensions de l'espace). Soit la condition:  $d+3P/c^2 > 0$ . En ce cas on peut rejeter l'hypothèse de l'univers cyclique : si nous remontons dans le passé jusqu'à une singularité, il n'est pas nécessaire de concevoir une phase de contraction qui précéderait la singularité. Encore faut-il concevoir ce qui a pu se passer à partir de cette singularité et à partir du big bang que nous sommes contraints d'admettre. La physique classique ne peut rien nous dire là-dessus. Mais la théorie des particules élémentaires, qui est issue de la Mécanique Quantique, est, à bon droit, appelée à la rescousse. D'ailleurs cette théorie fait appel, à son tour, à la cosmologie, quand elle étudie des états de température et d'interaction, qu'il est impossible de produire dans des laboratoires, même au CERN. La collaboration des deux disciplines est donc nécessaire. Un bel exemple où cette collaboration a conduit à des résultats probants est la théorie réussie de la formation des premiers éléments à partir de l'hydrogène. Il faut se placer après la nucléosynthèse initiale, qui a formé les protons et les neutrons tout de suite après le big bang. Quand l'univers est âgé de moins d'une seconde, il existe autant de neutrons que de protons qui se transforment les uns dans les autres. Quand la température décroît et qu'augmente la vitesse d'expansion, les protons ne peuvent plus se transformer en neutrons. On aboutit à un rapport de 7 à 1 en faveur des protons, d'où l'abondance de l'hydrogène dans l'Univers. Une centaine de secondes plus tard, quand la température est descendue à  $10^9$  degrés Kelvin, les réactions nucléaires démarrent et combinent les protons et neutrons subsistant en noyaux de deutérium, d'hélium et de lithium.

On calcule que 23% de la matière devient de l'hélium 4. Au bout de 3 minutes ces réactions disparaissent. Ce qui est frappant dans cette démonstration, c'est qu'elle est confirmée par les résultats de mesure de la quantité d'hélium dans l'Univers, et qu'elle repose sur l'hypothèse, empruntée à la physique des particules, qu'il n'y a que trois sortes de neutrinos (des particules non chargées et de masse très petite). Comme l'a écrit John Barrow, "la prédiction correcte des abondances de noyaux légers est le plus grand succès du modèle du big bang" <sup>3</sup>. Comme nous l'avions annoncé plus haut, elle en constitue l'une des preuves.

La collaboration entre la physique des particules et la cosmologie est-elle toujours aussi heureuse? Nous allons voir qu'elle a compliqué les problèmes de la cosmologie quand il a fallu introduire une inflation de l'expansion. Ici nous remontons plus haut dans l'échelle du temps cosmique et de la température de l'Univers. Nous nous heurtons au problème de l'unification des quatre interactions fondamentales : la gravitation, l'interaction nucléaire forte, l'interaction nucléaire faible, l'électromagnétisme. Comme on a réussi théoriquement, en 1967, l'unification de l'électromagnétisme et de l'interaction nucléaire faible, et que cette théorie a été, pour l'essentiel, confirmée par les expériences du CERN en 1983, il est normal qu'on envisage la "grande unification", même si la gravitation reste encore hors des prises de la théorie quantique. La cosmologie propose alors de se placer à  $10^{-35}$  seconde à partir du big bang, quand la température de l'Univers se trouvait à  $10^{28}$  degrés Kelvin. S'il y a des interactions entre toutes les particules, c'est qu'elles appartiennent toutes au même type : elles se transmutent alors les unes dans les autres. Or cette condition n'est possible que s'il existe des particules intermédiaires à masse très élevée. On a besoin, en particulier, de deux types de particules très lourdes : les bosons X d'une part, les "monopoles magnétiques" de l'autre. Avec les bosons X, les physiciens et les cosmologues ont eu de la chance : à la suite de Sakharov, dont on voit ici qu'il n'est pas seulement l'inventeur de la bombe H soviétique, on a pu montrer que les bosons X et leurs anti-particules avaient des vitesses de désintégration différentes et qu'ainsi les antiquarks, dès leur apparition, se trouvaient annihilés par leur rencontre avec les quarks, si bien que seuls subsistaient finalement les quarks dans l'Univers. Il n'y a plus dans notre Univers d'anti-matière, sauf quand on en provoque l'existence dans des conditions artificielles. Ce sont les quarks (non les antiquarks) qui ont formé les protons et neutrons dont on a précédemment parlé. Tout va donc bien de ce côté. Mais le problème s'est révélé beaucoup plus difficile avec les "monopoles magnétiques", dont l'existence était

---

<sup>3</sup> J.Barrow, *op.cit.*, p.63

appelée déjà par l'électromagnétisme classique, mais qui ont disparu de notre horizon. On n'en trouve plus, et c'est heureux, paraît-il, car ils sont si lourds qu'ils auraient fait se contracter l'Univers visible depuis longtemps. Pour leur accorder une existence passée, comme le réclame l'actuelle théorie de la "grande unification", il faut supposer que l'Univers visible, celui dont la lumière nous parvient depuis que l'expansion a commencé, n'est qu'une fraction de l'Univers total. Pourquoi pas, en effet? Mais alors une autre difficulté apparaît. Nous nous trouvons alors, avons-nous dit, à  $10^{-35}$  seconde à partir du Big Bang et à une température d'environ  $3 \times 10^{28}$  degrés Kelvin. Grâce à la loi de décroissance de la température du rayonnement cosmique fossile avec l'expansion, nous pouvons calculer que l'Univers devait être alors contenu dans une sphère de 3mm de rayon. Cela nous paraît infime, et pourtant c'est bien trop grand pour qu'un rayon lumineux ait pu le traverser depuis le début de l'expansion, et instaurer ainsi une homogénéité telle que celle qu'on trouve actuellement. En 1979, Alan Guth trouva une solution à ce problème : à l'époque de la grande unification, c'est-à-dire entre  $10^{-35}$  et  $10^{-33}$  seconde, il s'est produit une accélération de l'expansion, telle que l'intégralité de l'Univers visible peut provenir d'une région suffisamment petite pour avoir pu être traversée par un rayon qui en assure l'homogénéité et en bannisse les monopoles magnétiques, puisque ces derniers n'existent que là où subsistent les désaccords d'orientation qui les produisent. Mais comment une telle inflation est-elle possible, si, comme il est évident, la gravitation ralentit l'expansion? Nous savons que l'existence d'une singularité initiale suppose que  $d+3P/c^2 > 0$ . Si l'on veut que l'Univers connaisse une période d'expansion accélérée, il faut que les effets de la gravitation soient, temporairement, répulsifs et que la quantité  $d+3P/c^2$  soit, temporairement, négative. Dans les années 1980, les cosmologues, et les physiciens à leur tour, en vinrent à penser que la matière de haute densité peut subir des *répulsions gravitationnelles*, quelque chose que les premiers théoriciens avaient figuré avec leur constante cosmologique  $\lambda$ . L'idée est intéressante, car elle expliquerait que l'Univers ait échappé, sitôt né, à la contraction qui le menaçait, et aussi qu'il se trouve aujourd'hui, comme nous avons de sérieuses raisons de le penser (à partir de l'histoire postérieure), proche de la "situation critique" où la vitesse d'expansion compense exactement l'attraction gravitationnelle et permet d'y échapper. Bref nous nous trouverions dans le modèle Einstein-de Sitter plus haut mentionné. Tout n'est pas résolu pour autant, car à cette "situation critique" correspond la "densité critique" de la matière présente actuellement dans l'Univers visible, et qui est estimée à  $2 \times 10^{-29}$  g/cm<sup>3</sup>. Le problème est que cette densité est loin d'être assurée par la quantité de matière visible que nous connaissons. La densité de la matière visible, dite lumineuse, est dix fois plus faible que la densité "critique". On postule donc l'existence d'une

"matière noire", et l'on installe actuellement des instruments sophistiqués sous terre pour la détecter. On voit donc que tous les problèmes ne sont pas résolus. L'intérêt de la théorie de l'inflation cependant est qu'elle apporte, avec une raison d'existence pour la constante  $\lambda$ , une raison plausible au défaut d'homogénéité et d'isotropie responsable, on l'a vu, de l'existence des galaxies. Comme l'écrit encore J.Barrow: "Si une petite région (de l'Univers) subit une période d'expansion accélérée, les fluctuations aléatoires sont dilatées elles aussi, et elles deviennent les germes des irrégularités, jusqu'à la taille de l'Univers visible et au delà" <sup>4</sup> .

On voit que certaines conciliations entre les théories disponibles sont possibles, mais des phénomènes nouvellement découverts restent sans explication. Le phénomène le plus troublant actuellement est l'accélération constatée de l'expansion de l'univers, ce qui est contraire au modèle d'Einstein-de Sitter. Dans ces conditions, à quoi faut-il alors rapporter la constante  $\lambda$ , dont il faudrait contester justement la constance? Est-ce à l'énergie du vide, qu'on appelle "énergie noire", et qui prendrait actuellement l'avantage sur l'énergie associée à la matière et soumise à la gravitation? Ou faut-il reviser la théorie einsteinienne de la gravitation? Les théoriciens explorent toutes les pistes. Une autre difficulté naît de l'examen de la topologie de l'Univers, qui pourrait nous réserver des surprises, car elle n'est pas prise en compte dans les théories existantes, alors qu'elle peut modifier considérablement l'interprétation des données observationnelles. Selon certains astrophysiciens <sup>5</sup> , l'Univers visible n'est pas plus petit que l'Univers réel, mais au contraire plus grand, puisque le second n'occuperait que 74 ou 80% de l'Univers observable, le reste étant dû à des effets de mirage. Jean-Pierre Luminet a proposé le modèle d'un univers à géométrie sphérique, qui aurait la forme d'un dodécaèdre. Mais même en géométrie euclidienne les considérations topologiques peuvent intervenir et obliger à réinterpréter les phénomènes visibles. Ainsi nous serions comme les prisonniers que Platon avait imaginés dans le mythe de la Caverne, observateurs d'images dont ils devraient reconstituer le parcours compliqué et multiplié à partir de la disposition des différentes parties de l'Univers.

D'un strict point de vue scientifique, la situation porte donc à la fois à un certain scepticisme et à la stimulation de nouvelles vues théoriques. C'est plutôt un scepticisme, compensé par l'espoir que des explorations futures viendront discriminer les théories existantes, qu'exprime , par exemple, Jean Audouze dans le "que sais-je" qu'il a consacré

---

<sup>4</sup> J.Barrow, *op.cit.*, p.93

assez récemment à l'Univers <sup>6</sup> . Mais ce scepticisme, tel que l'entend cet auteur, n'entend pas décourager la recherche. D'un côté, il faut laisser, selon lui, aux théoriciens de l'astrophysique le champ libre pour imaginer de nouveaux scénarios, susceptibles d'englober les connaissances futures tout comme les connaissances acquises; d'un autre côté il ne faut pas priver ceux qui réfléchissent de l'égale liberté de tirer de ces mêmes connaissances acquises des enseignements qui débordent la sphère scientifique du savoir. C'est cette deuxième sorte de liberté que nous allons essayer de mettre en œuvre dans la dernière section de cet article.

B) Sous le chef des réflexions, en effet, la philosophie reprend ses droits de libre enquête et de libre examen. La philosophie est d'autant mieux assurée de sa démarche, me semble-t-il, qu'elle s'appuie sur des faits communicables et pas seulement sur le témoignage de la conscience, quel que soit le prix insigne de ce témoignage, en particulier dans l'expérience que nous faisons de notre liberté. Or , parmi ces faits communicables et dont chacun peut se rendre compte, il y a les données du sens commun, qui ne sont pas aussi diversifiées que certains ethnologues le prétendent, et il y a les données de la science, qui s'imposent à la réflexion, même si leur explication est loin d'être achevée. Parmi ces données, celles de la cosmologie scientifique sont impressionnantes, et nous avons une raison particulière de nous y intéresser, car notre existence s'y trouve impliquée.

C'est le cas, en particulier des réactions nucléaires au sein des étoiles, dont on n'a pas encore ici fait mention. On sait que les étoiles sont des concentrations de matière assez massives pour que les pressions et les température en leur centre allument des réactions nucléaires spontanées. En particulier, après qu'elles aient converti l'hydrogène en hélium au cours de leur période tranquille, les étoiles traversent une période de changements rapides au cours de laquelle l'hélium est transformé en carbone, azote ,oxygène, silicium, phosphore, bref tous les éléments qui jouent un rôle déterminant dans la biochimie. Quand ces étoiles explosent en supernovae, ces éléments sont dispersés dans l'espace et finissent par se trouver dans les planètes et dans les êtres vivants.

Or un univers qui se dilate beaucoup plus vite que la vitesse critique ne produit jamais d'étoiles et ne produit donc jamais les briques qui constituent des entités "vivantes".

---

<sup>5</sup> cf. *Nature*, 9 octobre 2003, article de J.P.Luminet,J.Weeks, A.Riazuelo,R.Lehoucq et J.P.Uzan

<sup>6</sup> J.Audouze, *L'Univers*, "que sais-je" n°687, PUF,1997

Inversement, si la vitesse d'expansion est sensiblement plus faible que la vitesse critique, l'expansion s'inverse en contraction avant que les étoiles aient eu le temps de se former, d'exploser, et de créer les constituants des êtres vivants.

Ainsi pour produire les constituants d'une structure assez complexe pour être considéré comme un observateur (tel qu'est l'homme), un univers doit être très proche de la situation "critique" après des milliards d'années d'expansion.

On voit que la constante de gravitation (de même que la dite constante  $\lambda$  qui s'oppose à l'effet habituel de la première) ne peut être quelconque si des observateurs sont là pour en prendre connaissance. Or ce qui semble une condition remarquable imposée, par un raisonnement à rebours, à l'interaction gravitationnelle, vaut également pour les autres interactions. S'il s'agit de l'interaction forte, une forte diminution de la constante de couplage entraînerait qu'aucun noyau autre que l'hydrogène ne pourrait exister; par contre une augmentation entraînerait la formation de noyaux très lourds, très stables, et par conséquent l'inexistence de l'atome de carbone, la principale brique de la matière vivante. S'il s'agit de l'interaction faible, une diminution de la constante empêcherait la combustion de l'hydrogène dans les étoiles qui conduit à la fabrication d'éléments plus lourds; son augmentation conduirait, par contre, à la transformation totale de l'hydrogène en hélium (sans autre élément). S'il s'agit de l'interaction électromagnétique, une diminution de la constante rendrait toute liaison chimique impossible; son augmentation rendrait très difficiles les réactions chimiques, et, par conséquent, l'émergence de la vie.

Par conséquent, quand on considère *a posteriori* le réglage étonnant des caractéristiques cosmologiques et physiques grâce auquel nous existons sur Terre, cette existence projette une sorte de nécessité hypothétique (nécessité commandée par le résultat obtenu posé alors comme hypothèse de base) sur les éléments qui lui ont donné naissance. La prise de conscience de ce fait, qui englobe en fait toute la matière de l'Univers et tout l'ensemble de ses lois ainsi que de leurs conditions d'exercice, a reçu le nom de "principe anthropique". C'est l'astrophysicien Brandon Carter qui, en 1974 (avant la théorie de l'inflation!), a proposé ce nom pour ce mode de raisonnement. Il en a proposé lui-même une "forme faible", qui se réduirait à la portée proprement cosmologique du principe, et une "forme forte", qui prendrait en compte les éléments physiques eux-mêmes. Cependant, si l'on

remarque que l'évolution même de la cosmologie tend à rendre floue la distinction entre ce qui est physique et ce qui relève de l'architecture globale du cosmos, il vaut mieux entendre, comme on le fait d'ordinaire aujourd'hui, la distinction comme une différence dans la signification du raisonnement lui-même. Selon la forme faible, toute théorie de l'Univers doit prendre en compte le fait que la vie ait pu naître en lui, et la vie se développer jusqu'à permettre la production de cet observateur-concepteur qu'est l'homme. Selon la forme forte du principe, c'était justement afin que se produisent de tels observateurs que l'Univers aurait été créé et se serait développé.

On ne peut pas dire que dans cette forme forte, le principe anthropique puisse entrer dans la science, du moins dans la science telle qu'on l'entend depuis Galilée. La science physique moderne, en effet, bannit la finalité comme principe d'explication; et elle a de bonnes raisons de le faire car la nécessité hypothétique, dont nous parlions, ne s'exerce qu'*a posteriori*, et elle n'a pas en général de valeur prédictive. Ce n'est pas une nécessité logico-mathématique qui vaudrait dans tous les mondes possibles, mais une nécessité relative qui nous permet d'enjamber les lacunes immenses de notre savoir. C'est pourquoi il n'est pas étonnant que les astrophysiciens qui ont été séduits par le caractère contraignant du principe anthropique (son extrême généralité se prête, il faut le reconnaître, à cette appellation de "principe"), et, parmi eux, Brandon Carter et John Barrow lui-même, n'utilisent, en scientifiques, le principe anthropique que dans sa version faible, où il ne diffère guère du bon sens. Cependant, même sous cette forme proche du bon sens, le principe anthropique, et c'est la raison de son emploi, a valeur heuristique. Il autorise non des prédictions *a priori* mais des prédictions *a posteriori*, qui sont fort utiles à l'avancement de la science. Un exemple est particulièrement significatif à cet égard. On se demandait pourquoi le carbone, qui est si nécessaire à la vie, ne se convertit pas en oxygène, dont le noyau ne diffère du premier que par l'ajout d'un noyau d'hélium. Fred Hoyle eut alors l'idée qu'il devait y avoir une raison physique pour laquelle le carbone est synthétisé à partir de l'hélium et du béryllium plus facilement que l'oxygène à partir du carbone et de l'hélium. Cette raison, suggérée donc par le principe anthropique (de manière implicite, car on n'en parlait pas encore en 1950), devait s'opposer à la conversion totale du carbone en oxygène et ainsi sauvegarder les chances de la vie. Hoyle, qui s'y connaissait fort bien en physique nucléaire, prédit qu'il devait y avoir un phénomène de "résonance", selon lequel l'énergie totale des constituants est de peu supérieure à l'énergie du corps constitué. De fait Dunbar trouva, en 1953, que le niveau nucléaire excité du carbone se trouve, non au-dessous, mais juste au dessus du niveau d'énergie du système

constituant; l'important est que ce soit un phénomène de résonance, tel qu'il avait été prédit par Hoyle. Cet astrophysicien qui n'aimait pas le Big Bang, mais qui était sensible à la dépendance de la vie par rapport à des constituants chimiques fort déterminés, avait donc usé, sans s'en prévaloir, du principe anthropique sous sa forme faible. Comme l'a remarqué Jacques Demaret qui était, au contraire, un astrophysicien convaincu à la fois de l'existence du Big Bang et de la validité du principe anthropique, le raisonnement de Hoyle suppose également que la valeur de la constante de l'interaction forte, dont on a parlé plus haut, permette le phénomène de résonance : "Le moindre changement dans la valeur de la constante de couplage forte, modifierait le schéma des niveaux nucléaires du carbone et, en supprimant la coïncidence des niveaux évoqués précédemment, ne permettrait plus l'existence du cycle  $3\alpha$  (de résonance), ni donc la formation de carbone dans l'Univers. Par contre, il n'existe pas de réaction résonante de ce type lors de la fusion du carbone et de l'hélium en oxygène" <sup>7</sup> .

Le principe anthropique, sous sa forme faible, est donc validé (il y a d'autres exemples de sa fécondité) en méthodologie de la physique et de l'astrophysique. L'épistémologie aurait donc grand tort de s'en moquer. Cependant la philosophie ne se réduit pas à l'épistémologie <sup>8</sup> . Elle n'a aucune raison d'aligner sa méthode de pensée sur celle de la science. De ce que l'Univers est étrange (et il l'est certes, pour la science comme pour le sens commun), la philosophie n'est pas obligée d'en conclure qu'il est absurde, même si la science n'a pas le pouvoir de le déduire, comme elle voudrait le faire, à la fois tel qu'il est et tel que nous l'observons, et même si rien n'assure que la science pourra y parvenir un jour. La philosophie n'est nullement obligée de calquer sa rationalité sur celle de la science. Elle doit, au contraire, offrir un savoir complémentaire, qui prend appui, mais sans s'y asservir, sur la manière dont la science s'agrandit, se perfectionne, s'unifie même dans l'idéal, sans pouvoir s'unifier dans une théorie qui recouvre tous les faits observés. En ce sens la "Grande théorie", comme l'a montré J.Barrow, est une utopie <sup>9</sup> . Dans ces conditions, le principe anthropique faible nous conduit au principe anthropique fort. En recueillant les indices significatifs qui témoignent d'une unité non pas formelle (comme l'offrirait une théorie scientifique) mais finalisée du devenir cosmique, la philosophie, qui devient alors recherche ontologique, offre à penser que l'Univers, dans sa marche vers la complexité, la vie et la pensée sous sa forme humaine, est le

---

<sup>7</sup> J.Demaret &D.Lambert, *Le Principe anthropique, l'homme est-il au centre de l'Univers?*, Paris, Armand Colin, 1994, p.129.

<sup>8</sup> cf.H.Barreau, *Séparer et rassembler, quand la philosophie dialogue avec les sciences*, pp.72-91, Editions Dianoïa (diff.PUF), 2004

<sup>9</sup> J.D.Barrow, *La Grande théorie, les limites d'une explication globale en physique*, Flammarion, 1996

fruit d'un dessein, dans lequel l'existence humaine est incluse et joue même un rôle décisif, puisque ce qui est pensé sans elle peut être repensé, *en partie*, grâce à elle. La philosophie vise alors à "déchiffrer", selon le terme employé par Karl Jaspers, un tel Univers. Dans cette tâche elle est irremplaçable, même si elle côtoie, dans cette recherche, les enseignements traditionnels, qui se paraient autrefois nécessairement de mythes avant que la science, dans son acception moderne, ait pu naître.

Cette tâche ontologique, la philosophie l'a toujours plus ou moins accomplie, même au temps où elle a cru devoir calquer sa propre rationalité sur celle de la science, et, dans cette mesure, éviter sa tâche propre. Je dois parler ici de l'entreprise kantienne. Kant a fort bien vu que la science devait dicter ses conditions à la nature pour en prendre une connaissance précise : c'est même le contenu de la "révolution copernicienne". Cependant Kant a fort bien vu aussi que, la plupart du temps, c'est-à-dire quand elle ne peut pas dicter ses lois, la raison est devant la nature comme devant une œuvre d'art. On sait que cela n'a pas de sens de déterminer *a priori* ce qu'une œuvre d'art doit signifier; l'artiste lui-même ne le sait pas et ne parvient à le savoir qu'en la faisant. De même devant un être vivant : cela n'a aucun sens de le composer à partir d'atomes, de molécules, de cellules, de processus déterministes ou aléatoires; on n'atteindrait pas, pour autant, le secret de son fonctionnement. Il faut le prendre dans son unité et sa finalité et étudier ses parties comme s'adaptant les unes aux autres. Kant a très bien perçu la différence entre le caractère mécanique de la science et le caractère organique de l'existence vivante. Il a forgé le concept de "jugement déterminant" pour décrire notre façon d'aborder le premier caractère, et de "jugement réfléchissant" pour décrire la deuxième façon, avec l'idée très juste, me semble-t-il, que dans le premier cas nous imposons une unité à la nature, à charge à celle-ci de la vérifier ou non, tandis que, dans le second cas, nous recevons cette unité de la nature elle-même et nous laissons guider par elle. Ce qui me paraît étrange, c'est qu'après avoir formulé cette distinction fort éclairante, Kant n'a nullement réformé sa conception de la métaphysique. Il a continué à affirmer que, selon la "révolution copernicienne", la métaphysique devait se borner à fournir les premiers principes de la science de la nature et les premiers principes de la moralité. Dans ces conditions, le "jugement réfléchissant", qui s'instruit par l'observation des totalités naturelles, n'est qu'un auxiliaire de cette science et éventuellement de cette morale. Mais n'est-ce pas sacrifier le naturel à l'artificiel, la réalité à sa représentation scientifique? Il faut relever, me semble-t-il, le "jugement réfléchissant" de l'état d'abaissement où Kant l'a confiné, après l'avoir fort bien analysé. Il faut se rendre compte que le jugement déterminant ne conduit qu'à l'idéalisme

transcendantal, c'est-à-dire à des modèles imposés à la nature et qui sont déficients d'une façon ou d'une autre, comme la preuve en a été faite quand il a fallu substituer, en microphysique, la physique quantique à la physique classique. Par contre le jugement réfléchissant nous introduit dans la réalité elle-même, même si c'est toujours de l'extérieur; il nous donne une idée de cette "chose en soi", dont Kant refusait, avec raison cette fois, l'accès à la science classique moderne. Je crois même que, sur ce point, le refus kantien doit s'étendre à la science moderne tout court, toujours dépendante des concepts qu'elle forge et des instruments techniques qu'elle utilise et qui ne sont légitimement retenus que parce qu'ils permettent d'illustrer ces concepts et d'en manifester la puissance explicative.

Il me semble d'ailleurs que cette révolution à l'intérieur du kantisme a déjà été opérée, non par l'idéalisme post-kantien, bien que Schelling en ait certainement perçu la nécessité, mais plutôt par Schopenhauer au XIX<sup>ème</sup> siècle et par Bergson et Whitehead au début du XX<sup>ème</sup>, quand ces philosophes, qu'ils aient vu juste ou non sur d'autres points, ont voulu restaurer la philosophie dans sa quête de la sagesse, en offrant un autre chemin que celui de la science.

Cette quête d'une nouvelle rationalité n'est pas le désaveu de la science qui atteint, par ses propres moyens, certaines faces de la réalité, sur lesquelles la réflexion philosophique peut s'exercer avec ses moyens spécifiques. C'est pourquoi le principe anthropique, inventé par des astrophysiciens, s'attache avec prédilection aux données mêmes auxquelles la science donne accès, bien qu'elle soit incapable de les traiter dans le sens fort que ce principe peut et doit acquérir au regard de la raison. Sous ce rapport la position d'un scientifique tel que Freeman Dyson, l'un des inventeurs de la théorie quantique des champs, me semble très éclairante. Dyson écrivait en 1971, avant que le principe anthropique ait reçu son nom et quand l'idée s'en formait dans beaucoup d'esprits :

"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 avons à apparaître" <sup>10</sup> .

---

<sup>10</sup> cf. *Scientific American*, sept.1971,p.51

Sous la forme prudente qu'un scientifique s'impose naturellement sur un tel terrain, c'est bien un "jugement réfléchissant", dans le sens kantien du terme, que formule Dyson dans cette remarque instructive. On se doute qu'une telle déclaration lui ait valu d'âpres critiques de ses collègues scientifiques, ceux qui bornent le savoir à l'exposé que la science est capable d'en faire. Mais ces critiques n'ont pas désarmé le scientifique qu'était Dyson et qui reconnaissait dans la réflexion philosophique un autre usage, tout aussi légitime et sans doute plus perçant, de la raison humaine. Dans les *Gifford lectures*, qu'il donna en 1985, voici ce que répondait Dyson à ses critiques scientifiques :

"Comment pouvons-nous réconcilier la prohibition de la finalité dans l'explication des phénomènes avec notre expérience humaine 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 à l'intérieur de l'Univers. La téléologie (c'est-à-dire la finalité) n'est pas interdite quand les explications vont au-delà de la science, dans la méta-science"<sup>11</sup> .

Dyson admet donc que l'explication téléologique n'est pas une explication scientifique. Or pour s'astreindre à cette discipline si particulière du savoir qu'est la science moderne, ne faut-il pas une motivation, qui relève de la finalité? Il est probable que certains scientifiques, et peut-être la plupart aujourd'hui, ne s'adonnent à la discipline de la science que pour régler leurs problèmes avec la philosophie et avec la religion. Mais cette motivation n'est nullement nécessaire. De tous temps des scientifiques ont existé, qui ne confondaient pas les registres du savoir, et qui même usaient d'une certaine habileté à les mettre en communication, conduits par cette conviction qu'il n'y a pas de radicale coupure ni dans la réalité elle-même ni dans les manières différentes de s'en approcher et d'en rendre raison. L'existence du principe anthropique sous ces deux formes est d'ailleurs une illustration de cette ambivalence de nos principes d'explication: sous sa forme faible il sert la science et l'incite à découvrir les relations qu'il prévoit, au moins approximativement; sous sa forme forte il sert la recherche ontologique, c'est-à-dire la recherche de l'unité de l'être par delà la multiplicité de ses manifestations qui témoignent d'un même dessein.

---

<sup>11</sup> F.Dyson, *Infinite in all directions*, Perennial Library, 1989,p.296

Ce qui est remarquable c'est que la cosmologie, s'intéressant à l'Univers dans son ensemble, est un domaine où la recherche scientifique et la recherche ontologique ont nécessairement cours, la première parce que ses théories n'ont de force explicative qu'à la mesure de l'extension de leur domaine (la "théorie du tout" est, en quelque sorte, le rêve de tout scientifique), la seconde parce que, si l'unité de l'être est une conviction raisonnable, alors elle doit se manifester dans l'appréhension de l'Univers. Comme les moyens d'approche sont différents, le rapprochement des perspectives est délicat : "tout semble s'être passé comme si..." écrivait Dyson, se rendant bien compte qu'attribuer un savoir à l'Univers qui n'est, pour un scientifique, que l'objet suprême de la science, est une façon de parler, que le philosophe devrait être à même d'interpréter. Le dessein appartient évidemment au Créateur et non à l'Univers lui-même, mais il n'est pas de la compétence de la science de mentionner le Créateur ni de lui assigner un rôle. D'un autre côté, le philosophe en quête de l'unité de l'être, et qui voit dans la finalité le moyen d'unifier le monde humain, et, dans une très grande mesure, le monde vivant, serait peu cohérent s'il négligeait d'en voir aussi l'annonce dans les dispositions de ce qui est la matière de la vie. Mais il risque, lui aussi, de commettre certaines erreurs d'attribution et de confondre les niveaux de finalité, ce qui est une autre façon de tomber dans l'anthropomorphisme. On touche là aux limites de nos moyens de savoir. Cela n'empêche pas que chaque discipline a le droit d'aller jusqu'au bout de ses compétences, sans devoir empiéter sur la façon de procéder de sa voisine. Rien n'empêche, par exemple, la théorie cosmologique de parvenir à l'unification des quatre interactions fondamentales; l'ontologie, qui prend le principe anthropique dans sa teneur forte, n'y verra qu'une unification formelle, alors qu'il lui reste à expliquer la raison de leur désunification et de leur si harmonieuse combinaison qui a donné naissance à cet Univers-ci. Les considérations de finalité ne perdent rien à être doublées, pour ainsi dire, par des exigences formelles, où se déploie le génie de la science. De la même façon les réussites de la science ne perdent rien à être englobées dans une perspective finaliste, qui leur procure une signification supplémentaire qu'elles sont par elles-mêmes inaptes à dégager.

La conciliation des perspectives n'est jamais facile et se prête facilement à des abus quand s'y introduisent des considérations de prestige et de contrôle idéologique. Mais la difficulté de faire coexister des disciplines, qui ont chacune leur méthode éprouvée, ne devrait pas nous rendre aveugles à la remarquable occasion que leur offre la cosmologie scientifique contemporaine. Cette dernière ne rend pas seulement caduque la cosmologie d'inspiration newtonienne. Elle offre une autre façon de voir l'Univers. Lorsque Kant évoquait

"le ciel étoilé au-dessus de nous" et l'opposait à "la loi morale en nous"<sup>12</sup>, c'était pour manifester à la fois notre petitesse à l'égard du déterminisme de la nature et notre grandeur attestée par cette loi de la raison qui est la manifestation de notre liberté. Il reprenait en somme l'antithèse que Pascal avait si bien su faire valoir entre la grandeur et la misère de l'homme. Deux leçons opposées en quelque sorte, qui ont nourri le dualisme de la philosophie classique occidentale. Or la cosmologie contemporaine nous invite à réunir ces deux leçons en une seule : les cieux étoilés ont été faits pour que nous existions et qu'en prenant conscience des conditions de notre existence nous découvriions le principe de finalité qui commande à la fois l'histoire de l'Univers et l'inscription en nos cœurs de la loi morale, garante de justice et de paix. Le "règne des fins" n'est pas seulement le vœu, souvent impuissant hélas, de la raison mais c'est une possibilité garantie par la gigantesque aventure cosmique dont nous sommes les héritiers.

## **Conclusion**

C'est pour des raisons historiques, on l'a vu, que, dans les questions de cosmologie, "le principe anthropique" a pris de l'importance. Dans l'incertitude des théories, ce principe a apporté un fil conducteur, dont, sur un exemple au moins, nous avons vu qu'il était fécond et indiquait des voies à la recherche scientifique.

D'un point de vue philosophique cependant, c'est dans sa version forte, qui implique la finalité, que le principe anthropique est important et même, comme l'écrivait F.Dyson en 1985, "illuminant". Il éclaire l'histoire de l'Univers, une histoire dont nous parvenons à décrire, grâce aux avancées de la science, certains épisodes, même si la totalité nous échappe, dans le passé comme dans l'avenir.

Le danger serait de prendre le principe anthropique, dans cette version forte, comme un principe de sécurité. Si l'humanité est le but de l'Univers matériel, elle serait protégée, quoi qu'elle fasse. Mais ce n'est pas ainsi qu'il faut l'interpréter, car il est manifeste que l'humanité a toujours payé chèrement les erreurs qu'elle a faites. Ce qu'il nous révèle plutôt, c'est que l'Univers aurait des dimensions absurdes s'il ne répondait pas à un dessein selon lequel des êtres tels que l'homme, c'est-à-dire des êtres capables de penser et d'inventer l'Univers

---

<sup>12</sup> E.Kant, *Critique de la raison pratique, Conclusion*, trad.Picavet, PUF, 1949,p173.

n'étaient pas programmés en vue d'en pénétrer les secrets et de faire régner, au moins sur Terre, un ordre digne des êtres pensants et responsables qu'ils sont.

C'est pourquoi on peut regretter l'appellation même de "principe anthropique", bien que ce nom provocant, face aux ambitions parfois démesurées de la science moderne, puisse faire office de rappel salutaire. Marco Paul Schützenberger a écrit, un jour, que le "le principe dit anthropique ne doit rien à la nature, ni à l'esprit humain, mais tout à S.Anselme". Il voulait dire par là, me semble-t-il, que sa source ne réside pas dans les mécanismes, déterministes ou aléatoires, de la nature, ni dans les prodigieuses astuces que l'esprit humain déploie pour réaliser ses buts. Le principe appartient à l'ordre métaphysique, qui considère la raison de l'existence, et S.Anselme est bien connu pour avoir soutenu que c'est la perfection qui exige l'existence. On peut dire d'une façon équivalente que l'être a d'autant plus de raison d'être qu'il a plus de perfection. Leibniz a même eu l'audace de porter ce principe à son maximum d'exigence face à l'existence du désordre et du mal. C'est dire que le principe de finalité, qui subordonne en tout domaine l'efficacité à la fin, et, en particulier, subordonne "le choix des lois de la nature et le choix des conditions initiales pour l'Univers" à l'obtention d'une fin qui en justifie la détermination, est le véritable sens du principe anthropique. Ce dernier, qui peut être utile au savant, n'est donc pleinement intelligible qu'au philosophe (serait-il lui-même savant) qui s'interroge sur la raison de l'existence, en particulier sur celle de l'existence de l'Univers.

Il est très significatif que les débats qui ont cours depuis trente ans sur la façon de comprendre la cosmologie contemporaine nous ramènent au principe de finalité comme principe d'existence. Ils montrent également que, si la science et la philosophie sont distinctes, la cosmologie, qui n'est pas une science comme les autres, les rapproche en obligeant ces disciplines à se poser les mêmes questions, tout en les invitant à se répartir les tâches dans les réponses différenciées mais non opposées qu'elles peuvent respectivement apporter à ces questions.

## **Bibliographie**

E.Agazzi et A.Cordero édit., *Philosophy and the origin and evolution of the Universe*, Kuwer Academic Publishers, 1991

H.Barreau, *Séparer et rassembler, quand la philosophie dialogue avec les sciences*, Editions Dianoïa (diff.PUF), 2004

J.D.Barrow, *La Grande Théorie, les limites d'une explication globale en physique*, Flammarion, 1994

J.D.Barrow, *Les Origines de l'Univers*, Hachette Littératures, 1997

J.Demaret, *Univers, les théories de la cosmologie contemporaine*, Editions Le Mail, 1991

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

Trin Xuan Thuan, *La mélodie secrète, Et l'homme créa l'univers*, Fayard, 1988