Le principe anthropique, ou la place de l'homme dans l'univers

Autor(en): **North, P.**

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **Orion : Zeitschrift der Schweizerischen Astronomischen Gesellschaft**

Band (Jahr): **51 (1993)**

Heft 257

PDF erstellt am: **29.05.2024**

Persistenter Link: https://doi.org/10.5169/seals-898198

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.
Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.
Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Ein Dienst der *ETH-Bibliothek*
ETH Zürich, Rämistrasse 101, 8092 Zürich, Schweiz, www.library.ethz.ch

http://www.e-periodica.ch

Le principe anthropique, ou la place de l'homme dans l'univers[1]

P. North

1. INTRODUCTION

L'astronomie est une science fascinante à plus d'un titre. Elle l'est sur le plan esthétique, auquel les amateurs sont à coup sûr particulièrement sensibles. Mais elle l'est peut-être plus encore par sa relation avec la philosophie et ses questions fondamentales, via la cosmologie, où la question de l'origine de l'univers, et donc de l'homme, est posée au moins implicitement. C'est pourquoi, il m'a paru intéressant de traiter un sujet qui est relativement récent, puisqu'il est discuté depuis une vingtaine d'années par un certain nombre de cosmologistes, mais qui touche à la question ancienne de la place ou du statut de l'homme dans l'univers. Il s'agit du «principe anthropique» (du grec «anthropos», l'homme; à ne pas confondre avec l'entropie, qui est une notion thermodynamique); celui-ci revêt des formes multiples, mais on peut l'énoncer brièvement ainsi:

«Les propriétés de l'univers ne sont pas quelconques (arbitraires), mais les lois physiques et leurs constantes sont ajustées de manière à être compatibles avec notre existence».

On distingue souvent deux formes du principe anthropique: La forme dite «faible», qui se borne à constater que les propriétés actuelles de l'univers sont compatibles avec notre existence en tant qu'observateurs, et la forme «forte», qui affirme que les propriétés de l'univers ont été finement ajustées, dès l'origine, en vue et dans le but de l'existence de l'homme.

Dans sa forme forte, le principe anthropique a donc une nuance très finaliste, et vue sous cet angle, l'existence de l'humanité n'apparaît pas comme accidentelle, mais au contraire essentielle: elle est même, pourrait-on dire, la raison d'être de l'univers.

Dans son livre «La Naissance de l'univers», le cosmologiste chinois bien connu Fang Lizhi (1990) donne un exemple de démarche ou de raisonnement «anthropique» par opposition à la démarche scientifique habituelle qu'il appelle (peut-être un peu abusivement) «mécaniste». Prenons donc la question «pourquoi l'univers est-il si grand?». La réponse «mécaniste» sera:

- L'univers a commencé par le Big Bang.
- La dimension typique de l'univers doit être de l'ordre de la vitesse de la lumière multipliée par l'âge de l'univers.
- L'âge de l'univers, tel que nous le mesurons (âge des plus vieilles étoiles, etc.) est (au moins) de l'ordre de 10 milliards d'années.
- Donc la dimension typique de l'univers est de l'ordre de 10 milliards d'années-lumière.

La réponse «anthropique», elle, va plutôt s'articuler ainsi:

- C'est l'homme qui pose la question.
- L'homme est un être vivant.
- La vie ne peut exister sans carbone.
- Le carbone est produit dans les étoiles.
- La nucléosynthèse stellaire prend ~ 10 milliards d'années.
- Donc l'univers doit avoir une dimension $R = c \times 10^{10}$ ans = 10^{10} années-lumière.

Dans ce qui suit, nous allons examiner rapidement l'idée que l'homme s'est faite de sa place dans l'univers, au cours des âges, puis nous discuterons la manière de construire un univers fécond, ainsi que la question de la finalité.

2. BREF APERÇU HISTORIQUE

Comment le statut de l'homme dans l'univers a-t-il été conçu au cours de l'histoire? La réponse est sans doute très diverse, selon les lieux et les époques. Mais, quoi qu'il en soit, il me semble que l'on trouve déjà, dès l'Antiquité, des opinions semblables à celles que nous connaissons aujourd'hui.

2.1. L'Antiquité

Chez les Hébreux, la notion d'un univers immense, dans lequel l'homme paraissait perdu et isolé, s'était déjà exprimée par le roi David dans le Psaume 8 (versets 4 et 5):

«Quand je regarde les cieux, ouvrage de tes mains,
la lune et les étoiles que tu as créées:
Qu'est-ce que l'homme, pour que tu te souviennes de lui,
Et le fils de l'homme, pour que tu prennes garde à lui?»

A cette époque-là, pourtant, l'immensité de l'univers ne pouvait qu'être une notion intuitive. Ajourd'hui, elle est beaucoup plus quantitative et justifiée de manière tangible.

L'insignifiance de l'homme dans le grand univers était donc admise, mais la révélation divine faisait en même temps de l'homme le sommet de la création.

Chez les grecs et les romains, on peut citer Démocrite, Epicure et surtout Lucrèce qui, dans son De Rerum Natura, avait de la nature une conception très mécaniste. Pour Lucrèce, le hasard conduit l'évolution de l'univers, et préside également à l'apparition de l'homme sur la Terre. C'était le Jacques Monod de l'Antiquité.

2.2. Le Moyen Age

En Europe du moins, la pensée dominante à cette époque est celle des Pères de l'Eglise, et l'homme est bien sûr considéré comme le centre de la création autour duquel tout est agencé.

2.3. La Renaissance

Cette période est évidemment marquée par la «révolution copernicienne», qui «décentre» l'homme, d'une certaine manière, ouvrant ainsi la voie aux spéculations sur la pluralité des mondes (y compris des mondes habités), mais aussi sur l'insignifiance de l'homme. L'auteur le plus connu des spéculations sur l'infini de l'univers et sur la pluralité des mondes est Giordano Bruno, qui paya d'ailleurs de sa vie son audace philosophique.

[1] Eine deutsche Fassung dieses Beitrags ist in Vorbereitung. Une version allemande de ce texte est en préparation

2.4. L'époque des «Lumières»

Au 17e siècle, Cyrano de Bergerac reprend l'atomisme de Lucrèce et de ses prédécesseurs, ainsi que la notion d'une origine accidentelle de l'homme, par l'effet du hasard.

Par contre, on connaît la fameuse phrase de Voltaire sur l'univers conçu comme une horloge, et sur l'existence probable d'un Grand Horloger.

2.5. L'époque moderne

On retrouve à notre époque l'existence des deux tendances qui se manifestaient déjà dans l'Antiquité, à savoir celle qui considère l'homme comme le couronnement de l'univers, et celle qui le voit au contraire comme un accident rare ou, ce qui revient au même, comme un sous-produit banal, grouillant et éphémère de l'univers.

Mais jusqu'il y a peu, c'est me semble-t-il la seconde tendance qui dominait, comme en témoignent par exemple ces mots de Jean Rostand (1954):

«D'où vient l'homme?... Accident entre les accidents, il est le résultat d'une suite de hasards, dont le premier et le plus improbable fut la formation spontanée de ces étranges composés du carbone qui s'associèrent en protoplasme.»

3. L'HOMME ET L'UNIVERS: ACCIDENT OU INTENTION?

On peut s'interroger sur la signification de l'existence de l'homme, mais aussi sur celle de l'existence de l'univers lui-même. Autrement dit, l'univers existe-t-il «par hasard», ou est-il au contraire le fruit de quelque intention transcendante (distincte de lui, émanant donc d'un Créateur) ou immanente (l'univers étant compris comme une sorte d'organisme vivant et conscient)? Quoi qu'il en soit, ces deux questions (existence de l'homme et existence de l'univers) sont inséparables, car l'homme ne peut s'empêcher de se considérer comme un acteur de l'aventure cosmique. Et, même s'il s'efforce de ne s'en considérer que spectateur, il reste malgré lui immergé dans cet univers sur la signification duquel il s'interroge.

Il semble que dans les deux premiers tiers de notre siècle au moins, l'insignifiance de l'homme et l'absurdité de l'univers aient été admises par beaucoup comme une sorte d'évidence scientifique. Citons pour l'illustrer, trois hommes de science contemporains:

- «Plus l'univers nous semble compréhensible, et plus il semble absurde.» (Steven Weinberg, 1978)
- «L'homme est perdu dans l'immensité indifférente de l'univers, d'où il a émergé par hasard.» (Jacques Monod, 1970)
- «Sa réussite [celle de l'homme] a de quoi lui tourner un peu la tête. Mais, pour se dégriser aussitôt, qu'il situe son royaume dérisoire parmi les astres sans nombre que lui révèlent ses télescopes: comment se prendrait-il encore au sérieux, sous quelque aspect qu'il s'envisage, une fois qu'il a jeté le regard dans les gouffres glacés où se hâtent les nébuleuses spirales!» (Jean Rostand, 1954)

L'insignifiance de l'homme devant l'immense univers, ainsi soutenue par de si considérables personnages (deux sur trois sont Prix Nobel), a sûrement imprégné profondément bien des mentalités. Mais pourquoi une telle morosité, parfois mal dissimulée derrière une sorte de stoïcisme qui se veut quand même optimiste?

On peut y voir deux causes:

La première, et la plus importante, est l'extrapolation du «principe copernicien». Les progrès de l'astronomie et de l'astrophysique nous ont appris que non seulement la Terre n'occupe pas le centre de l'univers, mais que même le Soleil, pourtant au centre de notre système planétaire, est loin d'être le nombril du monde: comme des milliards d'autres étoiles, il parcourt une orbite plutôt périphérique dans notre Galaxie, laquelle n'est qu'une galaxie parmi d'autres, etc. La Terre n'occupe donc aucunement une position géographique privilégiée dans l'univers, d'autant plus que celui-ci, étant infini, n'a pas de centre géométrique proprement dit: c'est là ce qu'on entend par «principe copernicien», et celui-ci s'est avéré bien utile en astrophysique. Mais beaucoup ont conclu de ce principe que, l'homme n'ayant aucune situation privilégiée au sens matériel et géométrique du terme, il n'en a pas davantage au sens moral (figuré) ou spirituel du terme, et qu'il ne peut donc être, selon les mots de Jean Rostand (1954, p. 108), qu'un «miracle sans intérêt». Les promoteurs de cette manière de penser considèrent d'ailleurs souvent que les niveaux moral et spirituel n'ont ni substance ni pertinence.

Un corollaire intéressant et curieux de ce point de vue est l'idée que nous ne sommes pas seuls dans l'univers, mais qu'il existe d'innombrables civilisations extraterrestres sur d'autres systèmes planétaires, dont certaines beaucoup plus développées que la nôtre, et dans les messages desquelles nous pourrions décoder la sagesse nécessaire à notre survie.

En plus de la cause d'ordre purement méthodologique décrite ci-dessus, on peut voir à l'origine de la mode de l'insignifiance de l'homme une cause plus morale:

Dès l'instant où aucun privilège objectif ou transcendant ne charge l'homme d'une dignité particulière, celui-ci est libre de s'inventer et de construire – ou non – la dignité qui lui convient, mais aussi de tenir pour nulle celle de ses frères. L'insignifiance de l'homme peut fort bien ouvrir la porte à la loi de la jungle.

Il est donc important de tester autant que possible cette affirmation redoutable, en interrogeant la science contemporaine. En premier lieu, on peut discuter le corollaire à la thèse de l'insignifiance de l'homme.

3.1. La vie: banale (universelle) ou exceptionnelle (unique)?

Le point de vue des astronomes (du moins de ceux qui se sont exprimés là-dessus) est très «optimiste», c'est-à-dire en faveur de l'universalité de la vie: lorsqu'il s'agit d'estimer le nombre de civilisations extraterrestres «adultes» (c'est-à-dire en mesure de communiquer par radio), Frank Drake et ses enfants spirituels admettent que la vie apparaît et surtout évolue automatiquement vers une forme intelligente sur toute planète où les conditions de température, de pression et de composition chimique sont favorables. On retrouve là l'extrapolation du principe copernicien.

Mais quel est l'avis des gens compétents sur ce point, c'est-à-dire des biologistes? Il semble qu'il soit opposé, du moins en ce qui concerne l'automatisme de l'évolution de la bactérie à l'homme. Le zoologue Ernst Mayr (1987), pourtant évolutionniste, s'étonnait vivement de la foi de Donald Menzel (un astrophysicien connu, aujourd'hui disparu) en un tel automatisme: «Il [Menzel] tenait pour pratiquement acquis que s'il y avait de la vie sur une planète, elle aboutirait en son temps à la vie intelligente.»

Ernst Mayr (1991) exprime ainsi son propre point de vue à l'astronome David Block: «La question de la probabilité d'une intelligence extraterrestre est difficile. Les biologistes la considèrent presque unanimement comme presque totalement improbable».

Il y a donc là un argument assez fort, bien que non définitif, en faveur de l'unicité de l'humanité. S'il est vrai que l'unicité n'exclut pas nécessairement l'insignifiance (c'est en tous cas l'avis de Jean Rostand), on est quand même fondé à considérer un objet unique et singulier comme précieux, et c'est bien ce qui arrive dans le domaine plus terre-à-terre du commerce.

3.2. L'univers a une histoire

Il se pourrait que l'humanité soit unique dans l'univers actuel, mais qu'elle ne soit pas unique dans le temps, si l'univers était éternel. Ainsi, sa singularité s'émousserait-elle. Pourtant, il semble bien, d'après les résultats astrophysiques des 30 dernières années, que l'univers a une histoire en ce sens qu'il n'a pas toujours été tel que nous le voyons aujourd'hui. La fameuse théorie du Big Bang, qui semble assez bien assise malgré quelques contradicteurs, le dit avec force. Or, le principe anthropique est largement fondé sur la finitude temporelle de l'univers: il perdrait de son acuité si l'univers était éternel.

Cela étant admis, faisons ce «Gedankenexperiment» de nous mettre à la place du Créateur, si l'on peut dire, et posons-nous alors la question:

3.3. Quelle(s) recette(s) pour un univers fécond?

3.3.1. Géométrie et finesse

Pour construire un univers qui soit capable d'abriter la vie, il faut commencer par lui donner la géométrie adéquate. On sait que de celle-ci dépend le taux d'expansion de l'univers et, partant, la possibilité pour les étoiles et les galaxies de se former et de vivre suffisamment longtemps. On peut distinguer deux cas extrêmes:

- Un univers «hyperbolique» (ou «ouvert») est peu dense et va se dilater très rapidement (et pour toujours). En conséquence, la matière qu'il contient court le risque de ne jamais pouvoir se condenser en grandes et petites structures (galaxies et étoiles): étant trop vite dispersée dans l'espace, elle ne pourra former de «noyaux de condensation» gravitationnels, à partir desquels de telles structures se forment. Il n'y aura donc ni abri pour la vie, ni vie proprement dite, d'autant plus que sans étoiles, les éléments lourds ne se formeront pas.
- Un univers «elliptique» (ou «fermé») est caractérisé par une grande densité de matière. Après une phase d'expansion, il va «s'arrêter», puis se contracter pour s'effondrer complètement sur lui-même. Ici, la gravitation va former efficacement des étoiles, mais peut-être trop efficacement, si bien que l'on aura peut-être plus de trous noirs que d'étoiles. De plus, le temps disponible avant la contraction risque d'être insuffisant, non seulement pour que toutes les étapes de la nucléosynthèse puissent s'achever, mais encore pour que la vie elle-même puisse se développer.

La meilleure solution est donc celle de l'univers «parabolique», exact intermédiaire entre les univers ouvert et fermé: il s'expand indéfiniment, mais au taux minimum possible pour éviter la phase de contraction. Ainsi les grandes structures se forment, sans pour autant dégénérer en trous noirs, et la vie trouve à la fois un abri et le temps nécessaire à son développement.

Mais à quelle précision l'ajustement de la géométrie doit-il se faire? On estime que, dans le cadre de la théorie standard «classique» (non inflationnaire) du Big Bang, l'ajustement doit être déjà très précis. En effet, il eût suffi d'abaisser de 10^{-12} (un mille milliardième) la vitesse d'expansion, à l'époque où l'univers était un plasma chaud de 10^{10} degrés, pour que celui-ci arrête son expansion et commence à s'effondrer quand il n'était que 3000 fois plus «petit» que maintenant (Hawking, 1974).

Dans le cadre du modèle «inflationnaire» (qui suppose, pour résoudre certaines difficultés du modèle standard, que l'univers a subi une phase d'expansion ultrarapide mais très brève, au tout début de son histoire), l'ajustement du taux d'expansion doit être plus fin encore, puisqu'il s'agit maintenant d'un facteur 10^{-55}, au lieu de 10^{-12} (Guth & Steinhardt, 1984)!

L'esprit de finesse et de géométrie cher à Pascal n'a manifestement pas fait défaut au Créateur.

3.3.2. Les constantes de la physique

On peut se demander ce qui se passerait si l'on modifiait, par exemple, la constante de gravitation G. Augmenter G impliquerait une diminution de la durée de vie des étoiles, car le taux de réactions nucléaires au centre de celles-ci serait accru par la plus grande pression et la plus grande température. Le temps disponible au développement de la vie se verrait ainsi dangereusement raccourci.

En diminuant G par contre, il devient difficile de créer de véritables étoiles, leur température centrale risquant de ne pas atteindre une valeur suffisante pour autoriser les réactions nucléaires. De plus, les étoiles massives ne pourront se former, leur matière étant dispersée par la pression de radiation. Or c'est dans de telles étoiles que la nucléosynthèse est la plus active, dans notre univers, et ce sont ces étoiles-là qui explosent en supernovae, répandant dans l'espace les éléments indispensables à la vie.

Une réflexion intéressante sur les constantes physiques, et liée au principe anthropique, a été menée par Dirac, et par Dicke. Dirac avait remarqué une coïncidence entre certains grands nombres sans dimension, obtenus à partir des constantes fondamentales de la physique. Ainsi l'âge de l'univers exprimé en unité de temps «fondamentale»

$N_1 = t_u/t_e \cong 7 \times 10^{39}$

(avec $t_u \cong$ 18 milliards d'années et $t_e = \frac{e^2}{m_e c^3}$ le temps mis par la lumière pour parcourir le «rayon classique» de l'électron; e est la charge de l'électron, m_e sa masse et c la vitesse de la lumière) est-il du même ordre de grandeur que le rapport des forces électrostatique et gravitationnelle dans l'atome d'hydrogène:

$$N_2 = \frac{e^2}{G\, m_p\, m_e} = 2 \times 10^{39}$$

«L'hypothèse des grands nombres» de Dirac consiste à poser

$N1 = N2$

égalité qui implique, si elle est vraie quelle que soit l'époque, une diminution de G avec le temps: une «constante» physique devient donc variable à long terme, ce qui actuellement, contredit clairement les observations.

Mais, remarque Dicke (1961), le seul fait $N_1 = N_2$ singularise l'époque actuelle: nous sommes là pour constater la coïncidence, et nous n'étions pas là lorsqu'elle n'avait pas lieu! Ici, c'est le principe anthropique qui permet d'interpréter la coïncidence, avant que l'hypothèse de Dirac soit nécessaire.

Ici intervient la question du pouvoir prédictif du principe anthropique: en principe, il eût été possible de déduire l'âge de l'univers de $N_1 = N_2$, si celui-ci n'avait été déterminé auparavant par d'autres moyens plus directs.

Bien entendu, il est intéressant de considérer aussi d'autres constantes que celle de la gravitation. Par exemple, Rozental (1988, cité par Balashov 1990) signale que la hiérarchie en masse des particules élémentaires: $m_X / m_p \cong 10^{15}$, $m_X / m_W \cong$

10^{13} ne peut être changée, sous peine d'affecter la stabilité du proton et les concentrations respectives des protons et des noyaux lourds, via la constante de Fermi g_F qui commande l'interaction faible. Si g_F était réduite d'un facteur 100, on n'aurait pas d'élément plus lourd que l'hydrogène!

D'autre part, il y a trois ensembles de fermions (e, μ, τ), et il faut ces 3 familles pour produire l'asymétrie qui, au début de l'histoire de l'univers, a permis qu'il y ait un surplus de matière par rapport à l'antimatière. Ce surplus a été de l'ordre du 10 milliardième, c'est-à-dire qu'il est resté un proton sur 10 milliards qui se sont annihilés avec autant d'antiprotons. Il s'en est donc fallu de peu qu'il n'y ait pas de matière du tout.

3.3.3. La synthèse du carbone

Il est bien connu que la vie est basée sur le carbone et qu'aucun autre élément, même le silicium qui lui est très proche, n'offre les mêmes possibilités à cet égard.

Or, d'après ce que nous savons de l'évolution stellaire, le carbone est synthétisé dans les étoiles. Celles-ci passent la majeure partie de leur vie à transformer leur hydrogène en hélium mais, une fois l'hélium produit dans le coeur, celui-ci se contracte, s'échauffe et commence à produire du carbone par la réaction.

$$He^4 + He^4 \rightarrow Be^8 + \gamma$$

et $$Be^8 + He^4 \rightarrow C^{12} + \gamma \text{ (réaction dite «3 } \alpha\text{»)}$$

Le Be^8 est très instable, sa durée de vie se montant à 2.6×10^{-16} secondes seulement. S'il était stable, le carbone serait beaucoup plus abondant dans l'univers, et nous serions peut-être sur une planète de graphite (F. Hoyle, 1966). Mais, ce qui est plus grave, la synthèse du carbone se déroulerait de manière beaucoup plus violente et probablement même explosive, compromettant la synthèse d'éléments plus lourds, eux aussi nécessaires à la vie.

Quant au noyau de C^{12}, il a la propriété intéressante d'avoir un niveau d'énergie légèrement supérieur à la somme des énergies de masse au repos du Be^8 et d'une particule α (He^4): en physique nucléaire, cela signifie que C^{12} peut se former par réaction de «résonnance», c'est-à-dire que grâce à cette coïncidence, la probabilité de la formation d'un noyau de C^{12} est très grande lorsqu'un noyau de Be^8 et un noyau de He^4 se rencontrent. Cela compense l'instabilité du beryllium qui, autrement, rendrait le carbone très rare. Fred Hoyle, partant du simple fait de l'existence du C^{12} dans l'univers (et en nous-mêmes!), avait prévu l'existence d'une résonnance (niveau excité) du C^{12} à 7,7 MeV et proposa de vérifier cela expérimentalement. Cela fait, une résonnance fut effectivement trouvée à 7,656 MeV, une ou deux semaines plus tard! (Voir le récit bref mais savoureux de Hoyle (1982)). Ce succès spectaculaire est parfois considéré comme prouvant le pouvoir prédictif (au sens d'une loi physique) du principe anthropique, qui se voit ainsi doté d'une vertu opératoire au lieu d'en rester au stade de simple conjecture ou spéculation philosophique.

A vrai dire, il est peut-être un peu abusif de parler ici de principe anthropique dans la mesure où c'est l'existence du carbone et non de l'homme en tant que tel qui est en jeu. On peut d'ailleurs faire la même objection au principe anthropique en général. On peut quand même souligner que nous ne serions pas là sans le carbone, et que toute vie serait impossible sans lui.

Mais l'histoire ne s'arrête pas là, car le carbone pourrait très bien être entièrement détruit, ou presque, par la réaction

$$C^{12} + He^4 \rightarrow 0^{16} + \gamma$$

s'il se trouvait un niveau d'énergie favorable dans 0^{16}. Il s'en faut de peu qu'un tel niveau se présente, puisqu'il y a effectivement un niveau de 0^{16} correspondant à une énergie juste inférieure à la somme des énergies de masse de C^{12} et de He^4! La production de 0^{16} à partir de C^{12} a bel et bien lieu, dans les étoiles, mais à un taux suffisamment faible pour que tout le carbone ne soit pas épuisé.

En résumé, nous devons notre carbone et notre oxygène à trois heureuses coïncidences:

a) L'instabilité du Be^8, qui garantit une synthèse lente du C.
b) Le niveau excité du C^{12} à 7.65 MeV, qui autorise la synthèse du C^{12} malgré l'instabilité du Be^8 (effet de compensation).
c) Le niveau d'énergie du 0^{16} situé juste trop bas, permettant la synthèse lente d'oxygène sans pour autant épuiser le carbone.

3.3.4. Pourquoi de grosses planètes?

Jusqu'ici, nous avons exploré les fondements même de l'univers et de la matière, dans leur relation avec l'existence de la vie et de l'homme. Mais certains aspects de notre environnement immédiat, apparemment beaucoup plus contingents, semblent avoir en réalité une raison d'être qui relève également du principe anthropique. C'est ainsi que nous pouvons nous interroger sur la raison d'être des grosses planètes comme Jupiter et Saturne.

Notre système solaire comprend les planètes «telluriques» (rocheuses, comme la Terre), les planètes géantes (essentiellement fluides), les astéroïdes et les comètes. On pense que les planètes se sont formées par accrétion de poussières et de morceaux de roches et de glace qui gravitaient autour du soleil en formant un disque. Or l'influence gravitationnelle de Jupiter et de Saturne sur les trajectoires des comètes est telle que beaucoup d'entre elles sont finalement éjectées du système solaire, et que la probabilité d'impact d'une comète sur la Terre est très faible.

Dans l'histoire de la Terre, il y a eu en moyenne un impact important tous les 100 millions d'années. On suppose qu'un tel impact a provoqué la disparition des dinosaures il y a 65 millions d'années.

Mais, dans une simulation numérique où la masse de Jupiter et de Saturne était réduite à 15 masses terrestres (au lieu de 318 et 95 respectivement), soit une masse comparable à celles d'Uranus et de Neptune, G. Wetherhill (cité par Croswell, 1992) a trouvé que les impacts cométaires sur la Terre étaient mille fois plus fréquents! Si Jupiter et Saturne avaient été 10 fois plus petits, la Terre aurait donc été bombardée tous les 100000 ans au lieu de tous les 100 millions d'années. Une vie suffisamment complexe n'aurait peut-être jamais eu le temps de s'y développer! Cette spéculation demande à être confirmée, mais elle me paraît digne d'intérêt.

3.3.5. Pourquoi la Lune?

Selon la Genèse, les luminaires (essentiellement le Soleil et la Lune) ont été créés par Dieu «pour fixer les temps et les époques» et les fêtes juives étaient en effet fixées d'après un calendrier lunaire.

On a déjà remarqué la singularité du système Terre-Lune, cette espèce de planète double, presque unique dans le système solaire (seul le couple Pluton – Charon lui est comparable). Une curiosité supplémentaire est la quasi égalité des diamètres apparents de la Lune et du Soleil vus de la surface de la Terre, égalité qui rend les éclipses de Soleil si remarquables.

Mais d'après des travaux tout récents de mécanique céleste (Laskar et Robutel 1993, Laskar et al. 1993), la Lune présente un intérêt non seulement pour l'esthétique ou pour le calendrier (intérêt qu'elle a d'ailleurs largement perdu), mais aussi pour notre existence même.

La Terre, comme toutes les planètes, a son axe incliné sur la perpendiculaire à son orbite, d'un angle appelé obliquité. L'obliquité de la Terre est actuellement 23.5° en moyenne, mais elle varie à long terme de ± 1.3° autour d'une valeur moyenne de 23.3°. Les effets de marée dus au Soleil et aux autres planètes peuvent modifier substantiellement l'obliquité, s'ils agissent avec une fréquence comparable à la fréquence de précession, provoquant un phénomène de résonnance: par exemple, l'obliquité de Vénus aurait pu être initialement 0°, alors qu'elle est actuellement 178° (rotation rétrograde).

Les calculs de Laskar montrent que, en l'absence de la Lune, l'obliquité de la Terre pourrait subir des variations chaotiques quelle que soit pratiquement sa valeur initiale (comprise entre 0° et 85°) : elle pourrait varier de plus de 50° en quelques millions d'années!

Par contre, en présence de la Lune, il aurait fallu que l'obliquité initiale fût comprise entre 60° et 90° pour qu'un tel comportement chaotique eût lieu. L'axe de la Terre aurait donc dû être presque couché sur le plan de l'orbite dès le début de l'existence du système Terre – Lune. Ce n'était pas le cas, et l'on peut dire que la Lune, en agissant comme stabilisateur de l'obliquité, a du même coup préservé la Terre – avec les êtres vivant à sa surface – de changements climatiques violents et fatals!

4. LA FINALITÉ,OU COMMENT S'EN DÉBARASSER

Inévitablement, les considérations qui précèdent suggèrent une sorte de finalité à l'oeuvre dans l'univers. La notion de finalité semble étroitement liée à, ou même impliquée par, le principe anthropique. Ce n'est pourtant pas nécessairement le cas selon la stricte logique: d'ingénieux esprits ont proposé diverses solutions pour évacuer cette visiteuse, ressentie comme aussi envahissante que l'Amédée de la pièce de Ionesco.

4.1. La cosmologie de l'état stationnaire

Un préliminaire important au principe anthropique est la constatation que l'univers a évolué et qu'il ne l'a pas fait de manière aléatoire. Si l'univers était éternel (y compris dans le passé), notre existence y paraîtrait sans doute moins remarquable.

L'idée de l'Etat Stationnaire, proposée dans les années 50 par Bondi, Gold et Hoyle, est une tentative d'échapper au problème de la singularité originelle. On postule que l'univers est certes en expansion, mais que de la matière est créée de manière continue au taux qui convient pour remplir le vide laissé par l'expansion. Avec la découverte des quasars, puis du rayonnement «fossile» à 3° K, cette cosmologie a été abandonnée.

4.2. Les univers multiples

Imaginons que notre univers ne soit pas unique, mais qu'il ne soit qu'un élément d'un ensemble infini d'univers disjoints (sans communication entre eux). Chaque «univers» ou plutôt partie d'univers, évolue à sa façon, avec des valeurs différentes des constantes physiques. Dans cet ensemble d'univers, la plupart ne pourront pas abriter la vie. Seul le nôtre (avec peut-être quelques autres) aura, par hasard, les bonnes valeurs des constantes physiques pour que la vie puisse y apparaître et s'y maintenir. Dès lors, notre existence reste accidentelle, aussi accidentelle que notre univers, et le principe anthropique s'aplatit en une banalité.

Une version beaucoup plus audacieuse encore de cette idée, consiste à dire qu'il existe une infinité de réalités superposées mais différentes, où toutes les possibilités sont réalisées, mais que nous n'avons conscience que d'une seule de ces réalités. Cette idée est une extrapolation à grande échelle de situations que l'on rencontre en mécanique quantique pour certains systèmes microscopiques, mais elle est hautement spéculative et invérifiable.

4.3. L'univers oscillant

Si l'univers est «fermé» (bien que les observations suggèrent plutôt le contraire, pour l'instant), alors la phase actuelle d'expansion sera suivie d'une phase de contraction, après laquelle il y aura, peut-être, «rebondissement», nouvelle expansion, etc.

On peut imaginer que d'un rebond à l'autre, les constantes de la physique changent, et qu'il soit donné à l'univers une nouvelle chance d'être fécond. Cette espèce de réincarnation à l'échelle cosmique réduirait aussi le principe anthropique à l'effet d'une simple fluctuation statistique, mais elle n'a pas plus de fondement expérimental que la doctrine de la réincarnation proprement dite. De plus, des études théoriques montrent qu'un rebond est extrêmement improbable, voire impossible (Guth & Sher, 1983).

Au fond, l'argument de l'univers oscillant revient au même que celui des univers multiples: seulement, la multiplicité s'échelonne dans le temps au lieu d'être simultanée.

5. CONCLUSION

Le principe anthropique, on l'a vu, est une tentative de réponse à des questions qui sont aux limites de la science – sans doute même hors des limites de la science: pourquoi l'univers est-il construit ainsi, pourquoi les constantes de la physique ont-elles les valeurs que nous mesurons et pas d'autres? Certains considèrent même que non seulement les valeurs des constantes physiques ne sont pas arbitraires, mais aussi que la forme même des lois physiques, basée sur la logique, est faite pour être comprise par un cerveau humain. Einstein s'était déjà posé la question en disant «La chose la plus incompréhensible dans l'univers, c'est que l'univers soit compréhensible.»

La science au sens strict du terme «explique» beaucoup de choses, mais elle n'explique jamais une chose qu'en fonction d'une autre, l'autre chose étant finalement l'ensemble des lois physiques et, éventuellement, les «conditions initiales» de l'univers. Aux «pourquoi» incessants de nos jeunes enfants, qui forment une chaîne infinie, nous finissons par être obligés de répondre «parce que c'est comme ça» ou encore «parce que Dieu l'a voulu ainsi». La chaîne des réponses est plus courte que celle des questions et le principe anthropique n'est rien d'autre qu'un maillon supplémentaire de la chaîne des réponses, mais un maillon qui me paraît particulièrement intéressant, curieux, crucial même. Là réside peut-être le «chaînon manquant» entre la science et la philosophie, entre la science et la métaphysique, entre la science et la théologie, même si ce principe n'a ni la prétention, ni la vocation d'augmenter notre connaissance scientifique.

Nous sommes partis du constat de l'insignifiance de l'homme, résultant d'une conception philosophique qui réduit l'homme à ce qu'en peut dire une «science sans conscience», pour aboutir à la conclusion que, après tout,

notre présence dans l'univers pourrait bien être fondamentale et non accessoire. Cette conclusion, plutôt réjouissante, est le résultat d'une question enfantine, ce qui est encore plus réjouissant. Ce sont d'ailleurs souvent les questions les plus simples qui sont les plus fondamentales et les plus pertinentes.

La question que l'on peut se poser à présent est naturellement de savoir si le principe anthropique ne pourrait pas constituer un début de preuve de l'existence de Dieu, du Dieu créateur de la Bible, puisque ce principe tend à montrer que nous sommes le résultat d'une intention, d'un plan. Il est vrai que le principe anthropiquqe est accueilli avec intérêt, aussi bien par des athées comme Hawking ou Fang Lizhi, que par des croyants comme Allen Sandage ou Owen Gingerich.

Cependant, nous avons vu qu'il reste possible de contester l'idée de finalité, si l'on y tient, et comme le dit Paul Davies (1982), la réponse est une question de goût personnel ou, dirais-je plutôt, de foi.

Ainsi le cosmologiste chinois Fang Lizhi, tout en reconnaissant l'intérêt du principe anthropique, préfère s'en tenir à l'affirmation «en dehors de l'univers est le non-être», proposition qui nie d'ailleurs implicitement toute notion de Créateur: celui-ci, en effet, ne peut qu'être distinct de l'univers, tout en étant l'Etre par excellence («je suis Celui qui suis»).

Pour expliquer la genèse de l'univers, il nous reste donc à choisir entre ces deux conceptions:

- Celle de l'apôtre Paul, selon qui «... les perfections invisibles de Dieu, sa puissance éternelle et sa divinité, se voient comme à l'oeil, depuis la création du monde ...» (Romains 1,2).
- Celle de Fang Lizhi et de son épouse Li Shuxian (1990, pp. 210 et suivantes), de Hawking probablement, ou encore de Lao Tseu: «L'être est né du non-être», proposition qui, selon les auteurs, «se suffit à elle-même».

Bien que la seconde conception puisse paraître à première vue plus prudente (dans la mesure où elle se cantonne dans ce que l'esprit humain peut maîtriser), c'est la première qui a ma préférence, parce que la dignité humaine est alors garantie par une Transcendance. Dans la seconde conception, la valeur de l'humanité reste certes aussi grande que celle de l'univers tout entier, mais elle n'est *que* celle de l'univers. Si rien n'existe en dehors de l'univers, alors l'homme *est* sa propre transcendance, et il peut alors (et à juste titre) se considérer comme Dieu, étant la créature la plus accomplie, le point focal de l'univers. Le second terme de l'alternative me paraît finalement fort dangereux, mais rien par ailleurs ne nous contraint de choisir l'un ou l'autre terme. Ainsi, la notion d'un Dieu créateur reste du domaine de la foi, une foi d'ailleurs compatible avec la raison.

BIBLIOGRAPHIE

(incluant quelques références d'intérêt général, en plus de celles citées explicitement dans le texte).

Balashov, Yu. V. 1990, *Comments on Astrophysics* 15, 29

Barrow, J.D., Tipler, F.J., 1988, «*The Anthropic Cosmological Principle*», Oxford university Press

Block, D.L., 1992, «*Our universe: Accident or Design?*», Starwatch, South Africa

Carter, B., *1974, in Confrontation of Cosmological Theories with Observations*, I.A.U. Symp. N° 63, ed. M.S. Longair, D. Reidel, Dordrecht

Crosswell, K., 1992, New Scientist, 24 octobre 1992, p. 18

Cyrano de Bergerac, «*L'Autre Monde I. Les Etats et Empires de la Lune*», p. 100 de l'édition du Club des Libraires de France, 1962

Davies, P.C.W., 1992, «*The Mind of God*», Simon & Schuster, p. 214

Dicke, R.H., 1961, Nature 192,440

Dyson, F. J., 1987, «*Les Dérangeurs d'univers*», Payot

Fang Lishi, Li Shuxian, 1990, «*La Naissance de l'univers*» Interéditions, Paris

Gribbin, J., Rees, M., 1989, «*Cosmic Coincidences*», Bantam Books, New York & Londres

Guth, A.H., Sher, M., 1983, Nature 302, 505

Guth, A.H., Steinhardt, P.J., 1984, Scientific American 250, 116 (May 1984)

Hawking, S.W., 1974, in «*Confrontation of Cosmological Theories with Observation*», ed. M.S. Longair, IAU Symp. N° 63 (Reidel, Dordrecht), p. 285

Hoyle, F., 1966, «*Galaxies, Noyaux et Quasars*», Buchet/Castel, p. 164; 1982, in «*Essays in nuclear astrophysics*», eds. C.A. Barnes, D.D. Clayton,

D.N. Schramm, Cambridge university Press, pp. 2-3

Laskar, J., Robutel, P., 1993, Nature 361, 608

Laskar, J., Joutel, F., Robutel, P., 1993, Nature 361, 615

Mayr, E., 1987, «*Extraterrestrials*», Cambridge university Press, p. 23; 1991, *Communication privée à D. Block,* cité par Block (1992)

Monod,J., 1970, «*Le Hasard et la Nécessité*», Le Seuil, Paris

Rostand, J. 1954, «*Pensées d'un biologiste*», Stock (1954, 1978), p. 100

Rozental, I.L., 1988, «*Big Bang, Big Bounce: How Particles and Fields Drive Cosmic Evolution*», Springer-Verlag

Trinh Xuan, 1988, «*La mélodie secrète*» Fayard, Le temps des Sciences (notamment p. 321)

Weinberg, S., 1978, «*Les trois premières minutes de l'univers*», Le Seuil, Paris

PIERRE NORTH
Institut d'astronomie de l'université de Lausanne
1290 Chavannes-des-Bois

An- und Verkauf / Achat et vente

Zu verkaufen

Refraktor Zeiss-Jena 80/1200 AS Objektiv, Säulenstativ, parallaktische Montierung, elektr.Antrieb, 3 Okulare und Farbglasrevolver. VB DM 2000.–. Cassegrain Zeiss-Jena 150/2250, Säulenstativ und parallaktische Montierung, elektr.Antrieb inkl. 4 Okulare und Farbrevolver. VB DM 2500.–. Nur an Selbstabholer.Info über Tel 0049/83 30 632 (Süddeutschland)

Zu verkaufen

Celestron 5 astro. Montierung, Stativ, 220 Volt Antrieb, Bedienungsanleitung. Gerades und abgewinkeltes Sucherfernrohr (5x24) Okulare OR.5/6/9 mm und K.12/25 mm. Winkel-Einblick und Porro Prisma. Sonnenfilter 2". Adapter für Contax Fotoapparat. 3 Bücher (DTV Atlas zur Astronomie, Kosmos Sternführer, Planetenlexikon von Stanek) 1 Ordner Kursunterlagen mit diversen Artikeln. 1 Transportkoffer. Offerte für Newcomer Fr.1400.– (Neupreis Fr. 4000.–) Info bei Friedl Paierl c/o Y.Lang, Seefeldstr.10, 6006 Luzern, Tel. G 041/44 01 59 – P 041/31 53 82