

L'invité de la rédaction

CIEL & ESPACE

Numéro 456

mai 2008

Brandon Carter

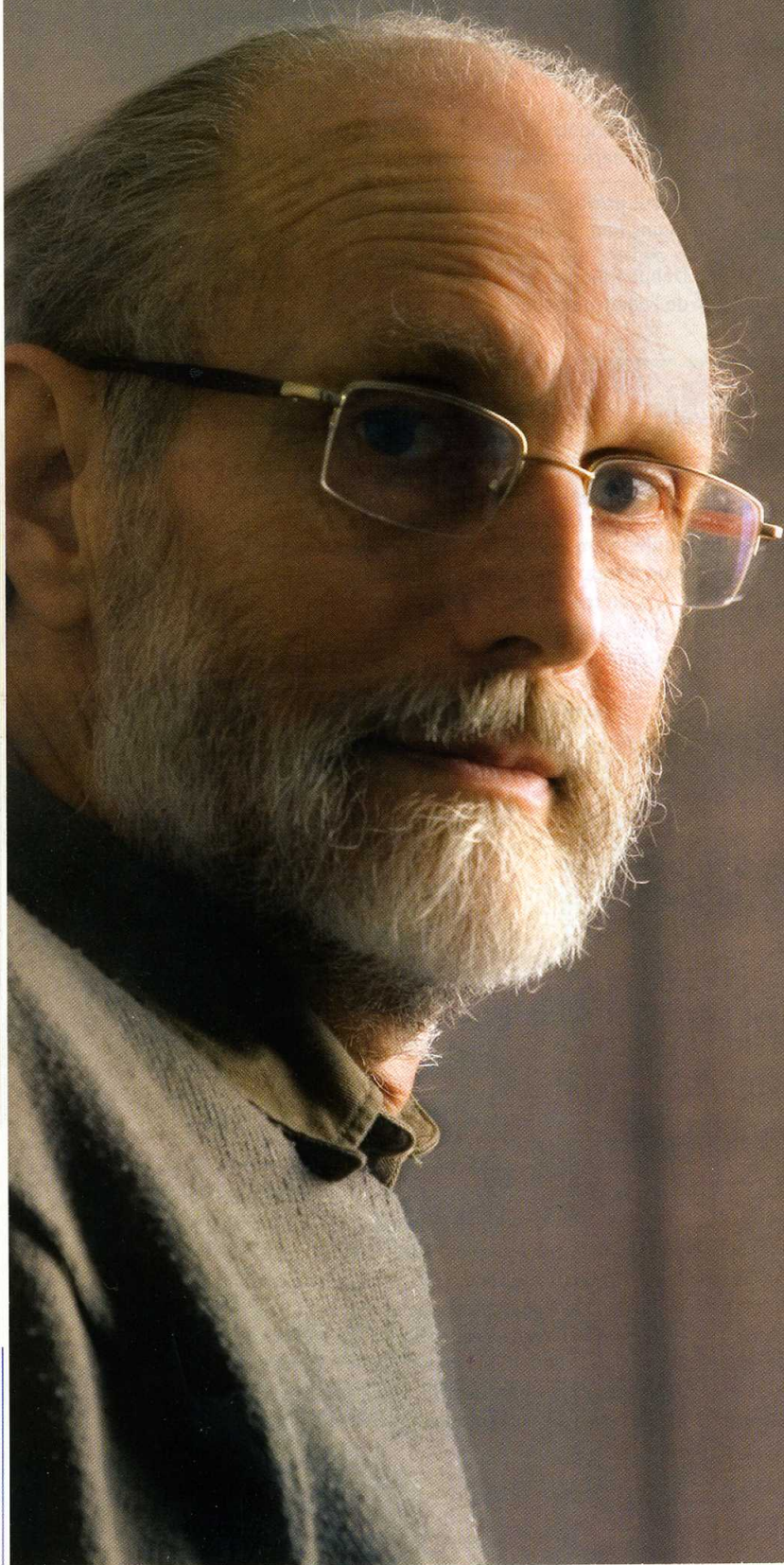
et le principe anthropique

# "Nous pensons donc l'Univers est"

Quelle est la place de l'homme dans l'Univers ? Depuis Copernic, la cause semble entendue : l'humanité ne compte pour rien dans l'évolution cosmique. Pourtant, voici plus de trente ans que l'astrophysicien britannique Brandon Carter défend un autre point de vue : notre existence, en tant qu'espèce pensante, impose des contraintes sur les propriétés de l'Univers. Explications.

Propos recueillis par David Fossé et Philippe Henarejos

Avec le principe anthropique, l'astrophysicien Brandon Carter rappelle aux scientifiques une chose essentielle : ils font partie de l'Univers qu'ils observent. Et cela a des implications sur les théories qu'ils peuvent élaborer.





**D** EPUIS que Brandon Carter l'a inventé en 1974, tout et son contraire ont été dits sur le principe anthropique. Pour Joe Silk, l'un des pionniers de la cosmologie, c'est "l'une des plus grandes escroqueries intellectuelles de la physique". Stephen Hawking a pourtant été le premier à l'appliquer aux théories de l'Univers. Le célèbre paléontologue Stephen Jay Gould l'a moqué comme une arme de guerre créationniste. Mais le Prix Nobel de physique Steven Weinberg y voit un argument décisif contre l'idée d'un créateur divin. L'astrophysicien Michael Rowan-Robinson<sup>(1)</sup> le qualifie d'"affirmation triviale", quand le physicien Leonard Susskind en fait un indispensable complément à la théorie des cordes dont il est l'un des pères... Alors ? Il semble clair que

Brandon Carter a forgé un concept important, voire révolutionnaire. Tandis que de nombreux cosmologistes s'en emparent désormais, lui continue d'explorer de nouvelles voies. Comment le principe anthropique nous situe-t-il dans l'Univers et parmi les autres espèces pensantes ? Peut-il aider à la délicate interprétation de la physique quantique ? Quelles sont ses prédictions sur l'origine de la vie ? Brandon Carter, qui fut aussi l'un des pionniers du renouveau de la relativité générale, coauteur avec Stephen Hawking de certains des plus importants théorèmes de la physique des trous noirs, nous a reçus à l'observatoire de Meudon.

DF

(1) Le président de la Royal Astronomical Society.

**Physique théorique, astrophysique, biologie... Après une longue éclipse, votre principe anthropique semble plus que jamais d'actualité en science. Comment expliquez-vous ce retour en grâce ?**

**Brandon Carter :** Je pense que le principe anthropique bénéficie d'une conjonction de trois facteurs : la résurgence en cosmologie de l'hypothèse d'univers multiples — notamment grâce à la théorie des supercordes [qui cherche à expliquer les particules et forces fondamentales de la nature en les modélisant comme les vibrations de minuscules cordes supersymétriques- Ndlr] —, la découverte des exoplanètes — qui repose la question de l'origine de la vie et de l'existence des extraterrestres —, et enfin, l'inquiétude montante à propos de la crise écologique. Pour ne citer que ce dernier point, le principe anthropique prédit par exemple que la survie de notre espèce à travers les siècles est très improbable...

**Comment le principe anthropique peut-il prédire la fin prochaine de notre espèce ?**

**B. C. :** En gros, le principe anthropique dit que tout raisonnement scientifique dans

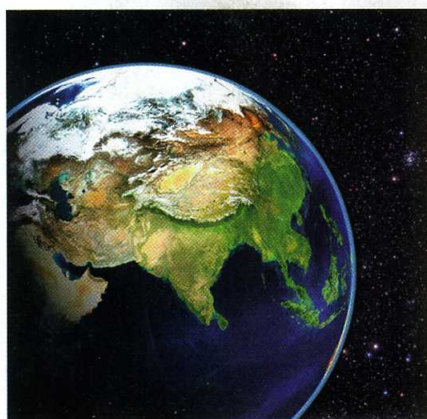
lequel un observateur est impliqué doit tenir compte de l'existence d'observateurs. Mathématiquement, cela se traduit par un biais statistique favorisant les conditions qui permettent le plus grand nombre d'observateurs. Appliqué à notre évolution démographique, le raisonnement est le suivant : puisque nous ne connaissons pas notre rang de naissance relatif parmi l'ensemble des êtres humains ayant jamais vécu et qui vivront jamais (un chiffre qui nous est bien sûr inconnu d'avance), nous pouvons faire l'hypothèse *a priori* qu'il y a 90% de chances pour que nous soyons nés parmi les derniers 90% de l'humanité. C'est une hypothèse raisonnable pour un scientifique, elle suppose juste qu'il y a peu de chances *a priori* pour que nous fassions partie des premiers hommes de l'histoire de l'humanité. Penchons-nous maintenant sur notre courbe de croissance démographique : nous constatons (cette fois *a posteriori*) que quelques dizaines de milliards d'humains ont déjà vécu sur Terre, c'est notre rang de naissance absolu. Si l'on utilise cette valeur dans le cas le plus favorable de notre hypothèse de départ (celui où seulement 10% de l'humanité

est née avant nous), le chiffre maximal de l'humanité doit être de quelques centaines de milliards d'individus. Dans le cas le plus défavorable, celui où nous sommes les derniers humains parmi tous ceux qui auraient pu naître, ce chiffre se confond évidemment avec le nombre d'humains déjà nés. Bref, en termes de probabilités, notre hypothèse de départ (*a priori*) conjuguée à l'observation de notre rang de naissance (*a posteriori*) implique qu'il y a 90% de chances pour que l'espèce humaine ne compte jamais plus de quelques centaines de milliards d'êtres humains — un chiffre que nous atteindrons dans quelques siècles si notre croissance démographique continue sur la même lancée !

**Est-ce cela que certains auteurs ont appelé "catastrophe de Carter" ?**

**B. C. :** En effet. Mais le raisonnement est surtout connu sous le nom que lui a donné le physicien et philosophe John Leslie : "Argument de l'apocalypse". Leslie voulait signaler que la fin de notre espèce pourrait être le résultat d'une véritable "catastrophe", comme une guerre thermonucléaire. Cependant, si nos

•••



C&E Photos

## Principes anthropiques : le fort et le faible

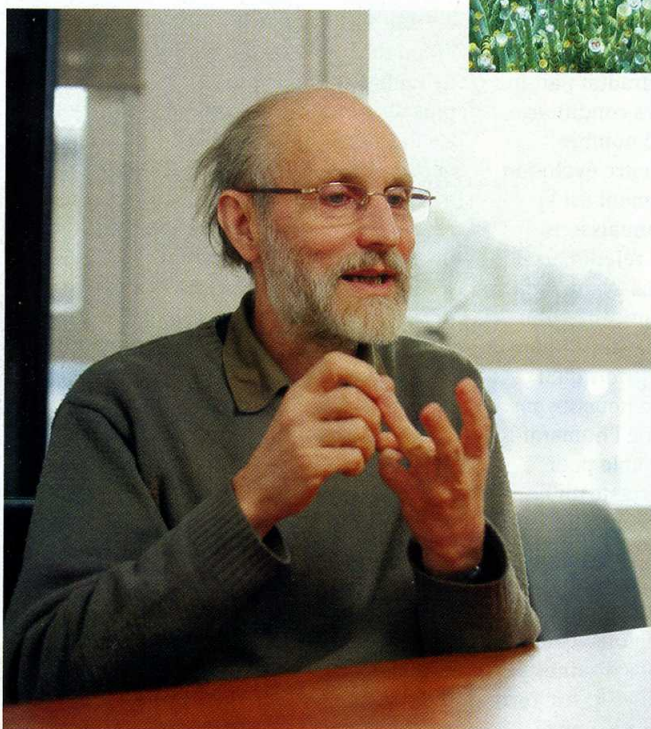
↳ **Brandon Carter** a énoncé deux versions du principe anthropique. Le principe "faible" stipule que "notre position dans l'Univers est nécessairement privilégiée en ce sens qu'elle doit être compatible avec notre existence en tant qu'observateurs". Le "fort" dit pour sa part que "l'Univers (et donc les paramètres fondamentaux dont celui-ci dépend), doit être tel qu'il permette la naissance d'observateurs en son sein, à un certain

stade de son développement". Tandis que le premier ne concerne que notre localisation temporelle dans l'Univers, le second englobe aussi ses propriétés physiques (constantes fondamentales et paramètres cosmologiques). En tant que principe de sélection dû à l'existence d'un observateur, le principe anthropique peut toutefois s'appliquer à des domaines éloignés de la cosmologie.

DF



**"J'ai forgé le principe anthropique en réaction à l'idée trop communément admise que l'Univers était partout identique, et que notre situation était tout à fait quelconque"**



C. Lebedevsky pour C&E



DR

La vie – ci-dessus des organismes extrémophiles développés au fond des failles marines, dans des conditions de vie mortelles pour la plupart des autres organismes – est-elle banale, ou unique ? Sur ce point, le principe anthropique répond qu'elle est rare. Mais l'Univers est vaste, ce qui laisse de nombreuses possibilités d'apparition.



••• décideurs font des choix plus raisonnables, l'humanité pourrait bien connaître une décroissance démographique lente et bien contrôlée, et donc atteindre le chiffre de quelques centaines de milliards en un temps relativement long. Cette application du principe anthropique a souvent suscité l'incompréhension et parfois même l'hostilité dans les colloques. Du coup, j'ai toujours hésité à la publier...

**Elle date pourtant du début des années 1980 ! Est-ce par crainte d'être mal perçu que vous avez cessé de travailler sur le principe anthropique pendant près de vingt ans ?**

**B. C. :** En partie, oui. Mais surtout parce qu'il est plus intéressant pour un scientifique de travailler sur des sujet variés ! Cela dit,

d'autres aspects du principe anthropique gênaient mes collègues... Selon sa version "faible", l'Univers n'est observable qu'à une époque particulière de son histoire. C'est une idée difficilement acceptable pour ceux qui veulent croire à un avenir sans limite pour les héritiers de notre civilisation, comme par exemple le physicien Freeman Dyson. Mais le principe "fort" a été encore plus mal reçu !

**Que dit le principe anthropique fort ?**

**B. C. :** Il propose une explication au fait que les constantes fondamentales de la physique semblent être parfaitement ajustées pour favoriser l'apparition de la vie. C'est quelque chose qui intrigue beaucoup les astrophysiciens : si telle ou telle constante avait été légèrement différente, les étoiles

ne se seraient pas formées, ou bien la synthèse des éléments chimiques qui nous composent n'aurait pas démarré, ou bien les supernovae qui les dispersent dans l'espace n'existeraient pas... Pourquoi un tel ajustement des constantes de la physique ? Certains esprits religieux répondent que c'est parce qu'un être divin les a ajustées afin que nous apparaissions – c'est l'intelligent design (théorie néocréationniste). La plupart des physiciens pensent que les valeurs des constantes découlent naturellement d'une théorie plus profonde de la physique, qui reste à découvrir. Le principe fort dit qu'il s'agit d'un effet de sélection. Nous existons dans un univers parmi une multitude d'autres où les paramètres de la physique font que la vie est impossible. Les valeurs des constantes fondamentales de notre Univers sont donc ce qu'elles sont parce que nous existons. Pour beaucoup de physiciens, ce raisonnement revient à abandonner la recherche d'une théorie plus profonde. Autrement dit, c'est trahir la cause de la science ! Je n'ai pourtant jamais proposé d'abandonner cette recherche. J'aimerais bien qu'il y ait une cause profonde, j'ai les mêmes goûts esthétiques que mes collègues. Je dis simplement que d'un point de vue logique, rien ne l'oblige. Il faut donc se préparer psychologiquement à échouer dans la quête d'une théorie "ultime".

**Enfin, le principe anthropique tourne autour de l'idée suivante : là et quand un observateur existe, les propriétés de l'Univers doivent être telles qu'elles permettent son apparition. Que répondez-vous à ceux qui estiment que c'est une évidence, une tautologie, et que le principe est donc parfaitement inutile ?**

**B. C. :** Ce n'est pas une tautologie. Dire que deux et deux font quatre est une tautologie : personne ne peut baser un raisonnement sur le postulat que deux et deux font cinq. En revanche, on peut tout à fait raisonner en rejetant *a priori* le principe anthropique, même pour des raisons pas spécialement fondées. On peut, par exemple, bâtir une théorie de l'évolution de l'Univers sans tenir compte du fait que nous existons. C'est ce que la plupart des scientifiques font ! C'est d'ailleurs bien naturel puisque, dans la formation des scientifiques, on insiste beaucoup sur l'idée d'une observation objective, en quelque sorte "extérieure". Pourtant, s'agissant de l'Univers, ça ne tient pas : nous en faisons partie ! Donc, parmi toutes les théories cosmologiques possibles, il faut au minimum sélectionner celles



## L'invité de la rédaction

... qui permettent notre existence. Le principe anthropique peut servir à cela. Stephen Hawking a d'ailleurs été l'un des premiers à l'utiliser ainsi.

**Vous avez appliqué le principe anthropique à l'origine de la vie intelligente. Selon vous, le principe "faible" implique que l'humanité est le fruit d'une suite d'événements très improbables, en cinq ou six étapes. Pourquoi ?**

**B. C. :** D'abord, pour moi, le principe anthropique a toujours été un pont entre la physique et la biologie. D'ailleurs, lorsque Barrow et Tipler ont publié le premier grand livre de vulgarisation sur le sujet (*Le principe anthropique*, en 1994), je n'ai pas été très satisfait car ils donnaient l'impression que ça ne concernait que la cosmologie !

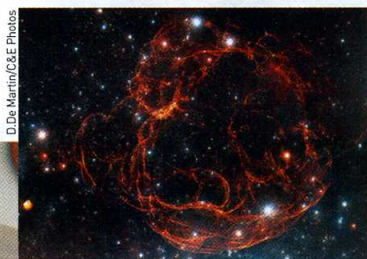
La question qui se pose à propos de l'origine de la vie intelligente est la suivante : pourquoi est-elle apparue sur Terre après 4,5 milliards d'années, c'est-à-dire dans un temps que nous, astrophysiciens, considérons comme sensiblement égal aux 10 milliards d'années de durée de vie du Soleil ? Après tout, l'évolution darwinienne n'a rien à voir avec la physique stellaire ! Comment expliquer que

toutes deux se déroulent sur des durées similaires ? Nous aurions pu apparaître beaucoup plus tôt, ou au contraire, à un petit facteur 2 près, trop tard... Je pense que cette apparente coïncidence signifie que l'instant d'apparition de notre espèce dépend d'événements rares. Sur une période de temps fixée, disons la durée de vie du Soleil, de tels événements n'ont généralement pas le temps de se produire. Et lorsqu'ils ont lieu, c'est typiquement après un temps comparable à la durée disponible. On peut utiliser une image : imaginez qu'une vis se détache à l'intérieur de votre ordinateur portable. La probabilité pour qu'elle retombe dans son pas de vis en remuant l'ordinateur est faible (disons que pour y parvenir à coup sûr il faudrait que vous y consacriez dix heures d'affilée). Si, à chaque fois que cette mésaventure vous arrive, vous ne pouvez consacrer que dix minutes à secouer votre ordinateur, dans la plupart des cas, la vis ne retrouve pas son logement. Et lorsqu'elle y parvient ? C'est plutôt après plusieurs minutes d'effort — un temps analogue à celui que vous vous étiez fixé — qu'après quelques secondes...

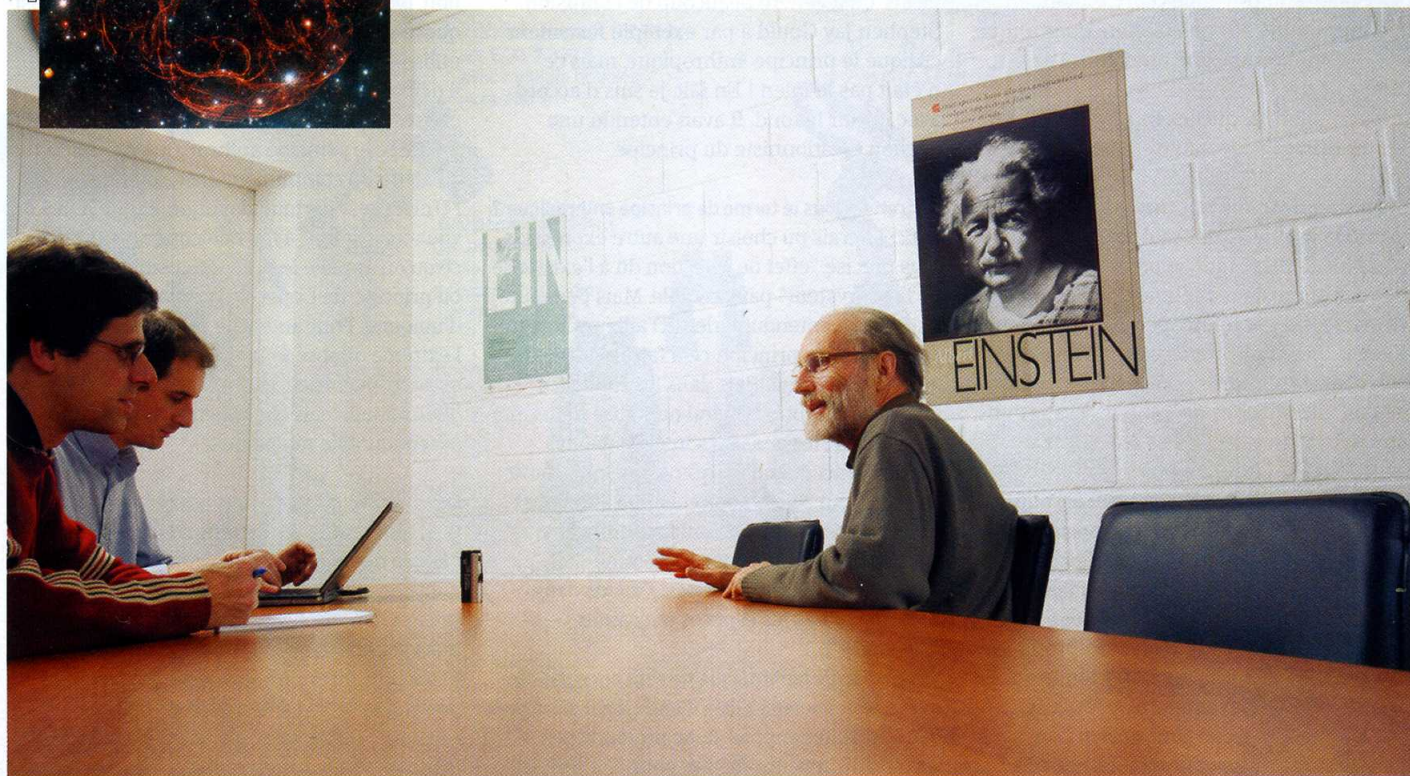
Dans le détail, lorsqu'on applique le principe anthropique à la durée pendant laquelle la vie est possible sur Terre (à peu près quatre milliards d'années dans le passé et un milliard dans le futur, à cause de l'augmentation de l'éclat du Soleil), les statistiques impliquent cinq ou six étapes critiques pour arriver à la vie intelligente. Ce qui colle assez bien avec les éons, ces grandes subdivisions sur l'échelle du temps géologique.

**Votre position est plus proche de celle des biologistes que de celle des astrophysiciens...**

**B. C. :** En effet, je pense que sur une planète choisie d'avance, l'apparition de la vie est un phénomène très improbable. Mais l'Univers semble posséder des milliards de milliards de planètes, ce qui permet beaucoup de sites habités ! Évidemment, si on sélectionne une planète, la Terre, et qu'on se demande quelle est la probabilité pour que la vie y apparaisse, on trouve un résultat si faible que cela ressemble à un miracle. Les biologistes raisonnent souvent ainsi. Mais il faut prendre le problème dans l'autre sens : d'abord se demander quelle est la probabilité pour que cinq ou six ...



La vie des étoiles (ci-contre, un vestige de supernova) est une contrainte forte sur les conditions d'apparition de la vie dans l'Univers. L'exemple de la Terre, autour du Soleil, permet de déterminer que, pour apparaître, celle-ci doit surmonter six étapes déterminantes. Aux scientifiques de les trouver...



C. Lebedinsky pour C&E



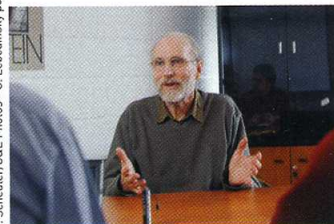
## "Ceux qui ont compris "anthropique"

comme faisant référence à l'homme uniquement se sont trompés. J'inclus toutes les espèces pensantes dans ce terme"



Le principe anthropique ne permet de tirer aucune conclusion sur l'existence ou non d'un Créateur. C'est juste un outil pour guider la réflexion et "y voir plus clair" dans l'agencement de l'Univers (ci-contre, un amas de galaxies).

J. Schedler/C&E Photos - C. Lebedinsky pour C&E



••• étapes improbables surviennent en un temps donné sur une planète quelconque, puis la comparer ensuite au nombre de planètes dans l'Univers. Et lorsqu'on fait cela, on s'aperçoit que les intelligences extraterrestres peuvent être nombreuses.

**Vous pensez donc que la recherche d'une civilisation extraterrestre peut porter ses fruits ?**

**B. C. :** Non. Malgré tout, je pense que Seti [le programme de recherche d'intelligence extraterrestre par télescope - Ndlr] est voué à l'échec. Les civilisations extraterrestres doivent être trop rares et dispersées pour que l'on ait la chance de tomber dessus dans notre voisinage galactique...

**Le principe anthropique a largement été utilisé par les mouvements issus du créationnisme, intelligent design en tête, voire par des scientifiques croyants cherchant à justifier l'existence de Dieu. Comment l'expliquez-vous ?**

**B. C. :** Je pense que c'est le mot "anthropique" qui a frappé les esprits. L'expression "principe anthropique" est devenue très populaire. Les créationnistes s'en sont saisi et l'ont détournée à des fins opposées à ce que je

disais. Ça a généré beaucoup de confusion. Stephen Jay Gould a par exemple fortement critiqué le principe anthropique, mais ce n'était pas le mien ! En fait, je suis d'accord avec lui sur le fond. Il avait entendu une version créationniste du principe.

**Regrettez-vous le terme de principe anthropique ?**

**B. C. :** J'aurais pu choisir une autre expression, plus précise, "effet de sélection dû à l'existence de l'observateur" par exemple. Mais personne n'en aurait entendu parler ! D'ailleurs, lorsque j'ai formulé ce principe, cela faisait plusieurs années que j'en parlais dans les colloques, sous un autre nom. Quand on utilise un terme trop anodin, les gens ne s'intéressent pas à l'idée. Mais quand on trouve quelque chose d'accrocheur, l'idée nous échappe... Toujours est-il que ceux qui ont compris "anthropique" comme faisant référence à l'homme uniquement se sont trompés. J'inclus dans ce terme toutes les espèces pensantes.

**Votre principe anthropique ne peut donc pas être utilisé pour soutenir l'idée d'une création divine ?**

**B. C. :** Absolument pas. Je ne prétends pas savoir si l'Univers a été fait pour l'homme ou

non, bien sûr, mais ce dont je suis certain, c'est que le principe anthropique ne peut pas être utilisé pour appuyer cette thèse. Au contraire, il démolit certains des faux raisonnements utilisés par les tenants de l'intelligent design. J'ai forgé le principe anthropique en réaction à l'idée trop communément admise que l'Univers est partout identique, et que notre situation est tout à fait quelconque — c'est ce qu'on appelle le principe cosmologique, ou principe de Copernic, ou encore principe d'ubiquité. Pour autant, je ne verse pas dans l'extrême opposé — le principe autocentrique, ou précopernicien. Notre situation n'est pas quelconque, mais elle n'est pas tout à fait exceptionnelle ni unique !

**Comment vous situez-vous par rapport à la foi ?**

**B. C. :** En tant que scientifique professionnel, j'essaie de ne pas me situer du tout. Je suis bien conscient que certaines questions de science sont proches de la métaphysique, mais je tiens à ne pas dépasser la frontière. Je n'ai pas formulé le principe anthropique pour attaquer ou défendre telle ou telle religion. J'essaie juste d'y voir plus clair dans le monde qui nous entoure. ●