

# 4 • AURÉLIEN BARRAU : « Les lois de la physique mènent aux multivers »

**Entretien** Aussi spéculative et controversée soit-elle, l'idée d'une infinité d'univers est entrée dans le champ scientifique. Une évolution qui conduit à s'interroger sur les fondements et les frontières de la physique théorique.

## Aurélien Barrau

est enseignant-chercheur au laboratoire de physique subatomique et de cosmologie de Grenoble (UJF-INP-CNRS-IN2P3)  
barrau@in2p3.fr

**LA RECHERCHE :** Comment l'hypothèse des univers multiples est-elle entrée dans le champ scientifique ?

**AURÉLIEN BARRAU :** Aujourd'hui ce n'est plus seulement une spéculation métaphysique. Si cette idée traverse toute l'histoire de la philosophie, depuis les Grecs jusqu'aux philosophes contemporains, elle n'est entrée dans les champs des sciences dures que récemment. Et ce, parce qu'un certain nombre de théories développées pour répondre à des questions bien définies de physique des particules ou de gravitation conduisent à l'existence d'univers multiples, de nature variée. De plus, cerise sur le gâteau, cette multitude d'univers, quel que soit leur type, permet de résoudre un sérieux problème de la physique théorique contemporaine. En effet, les constantes fondamentales\* intervenant dans les modèles qui décrivent l'Univers semblent avoir des valeurs extrêmement particulières qui, comme par hasard, sont favorables à l'apparition de la complexité et de la vie. Or, si les valeurs observées de

ces constantes ne correspondent qu'à une réalisation parmi une infinité d'autres ayant lieu dans le multivers, une explication à ces valeurs si particulières s'impose naturellement.

**L'édifice théorique sur lequel reposent les multivers n'en reste pas moins spéculatif.**

**A.B.** Par définition, les propositions scientifiques sont sujettes à débat et finiront par être réfutées. Les multivers n'échappent pas à la règle. Si cette hypothèse avait été élaborée de toutes pièces pour répondre à la question de l'ajustement fin des constantes, elle demeurerait assez arbitraire. Ce qui fait sa force et sa crédibilité, c'est qu'elle découle directement d'autres modèles. Certes, parmi eux, certains restent très spéculatifs. Mais il est assez remarquable que la plupart des théories physiques, orthodoxes comme hétérodoxes, conduisent d'une certaine manière à l'existence d'univers multiples ! Les éconduire, a priori, tiendrait donc un peu de l'aveuglement. Ce serait se priver d'une solution naturelle à un problème fondamental qui fait l'économie d'hypothèses supplémentaires.

\* **CONSTANTE FONDAMENTALE :** grandeur invariante qui intervient dans un modèle physique mais dont la valeur numérique n'est pas prédite par ce modèle.

## L'essentiel

> L'HYPOTHÈSE DES MULTIVERS n'a pas été construite de toutes pièces pour répondre à une question précise : elle découle de modèles de physique théorique qui cherchent à décrire le cosmos et les forces qui y sont à l'œuvre.

> LE CONCEPT EST BIEN SCIENTIFIQUE dans sa constitution. Mais on est encore loin d'un test quantitatif. Il faut donc le considérer avec beaucoup de précaution mais ce n'est pas une raison pour en avoir peur.

**Qu'entendez-vous par modèles orthodoxes ?**

**A.B.** Ceux qui se fondent sur une physique éprouvée. Par exemple, le plus élémentaire des multivers, qui désigne une multitude d'univers dans un espace infini, est prédit, dans certaines conditions, par la relativité générale au moins dans la topologie la plus simple (lire « Les scénarios des mondes parallèles », p. 40). Des univers parallèles, mondes qui coexistent « ici et maintenant », si l'on peut dire, découlent aussi d'une théorie très orthodoxe, la mécanique quantique. Même s'il faut souligner



**L'Univers a d'abord été centré sur notre planète, puis sur notre étoile, puis sur notre galaxie, enfin sur notre cosmos. Pour Aurélien Barrau, l'hypothèse des multivers propose aujourd'hui un monde dénué de centre.**

que c'est dans le cadre d'une interprétation particulière, celle de l'Américain Hugh Everett, qui n'est évidemment pas la plus habituelle... Avec un brin de provocation, certains rangent également dans cette catégorie les « univers trous noirs » de Lee Smolin du Perimeter Institute au Canada, nés de l'application de la gravité quantique à boucles\*, théorie qu'il a développée avec Carlo Rovelli de l'université de la Méditerranée.

#### Et qu'appellez-vous modèles hétérodoxes ?

**A.B.** Je pense au multivers le plus riche et le plus fascinant, né de la rencontre de l'inflation cosmique\* avec la théorie des cordes\*. Il est vrai que l'édifice est très spéculatif. Mais l'inflation fait désormais partie du paradigme cosmologique. Elle en est presque l'élément constitutif essentiel. Cela ne prouve évidemment pas qu'elle soit juste, mais elle est la meilleure description de l'Univers primordial donc nous disposons. Bien que très attrayante, la théorie des cordes n'en est pas au même niveau : elle souffre d'une absence quasi totale de vérification expérimentale et ne parvient à l'unification tant espérée qu'au prix de dimensions supplémentaires et de l'existence de nouvelles particules qui n'ont encore jamais été observées. Il n'en demeure pas moins que ces

modèles sont actuellement parmi les plus efficaces. Cette piste mérite donc d'être explorée, à condition bien sûr de ne pas être la seule.

#### On considère souvent qu'une théorie est scientifique quand on peut la réfuter. L'hypothèse des mondes multiples satisfait-elle ce critère ?

**A.B.** Vous évoquez là le critère de démarcation entre science et non-science proposé par Karl Popper. Il a le mérite d'être clair. Selon lui, la proposition « Dieu existe » n'est pas scientifique parce qu'on ne peut pas prouver qu'il n'existe pas. En revanche, la proposition « Tous les cygnes sont blancs » est une proposition scientifique car si on trouve un seul cygne noir, on aura démontré qu'elle est fautive. Ce critère est presque unanimement accepté dans la communauté scientifique. Je pense pourtant qu'il est très discuté et qu'il doit être dépassé. Dans le champ de la philosophie des sciences, d'autres visions souvent beaucoup plus riches l'ont précédé et d'autres l'ont suivi. L'apport des sociologues comme Bloor, Collins ou Latour, qui conçoivent la physique comme une construction humaine parmi d'autres, est également important et, à mon sens, ne dévalorise en rien la pensée rationnelle. Qui plus est, les champs disciplinaires se définissent de l'intérieur : les abstractions >>>

**\*GRAVITÉ QUANTIQUE À BOUCLES :** théorie tentant de concilier relativité générale et mécanique quantique.

**\*INFLATION COSMIQUE :** augmentation considérable de la « taille » de l'Univers durant ses premiers instants.

**\*THÉORIE DES CORDES :** modèle spéculatif permettant d'unifier toutes les interactions en supposant que les objets fondamentaux sont des cordes.

## Les lois de la physique mènent aux multivers

Entretien avec Aurélien Barrau

>>> de Kandinsky n'auraient pas été considérées comme de l'art par un théoricien de l'esthétique du XIX<sup>e</sup> siècle. Si, aujourd'hui, la physique venait à redéfinir, voire à brouiller, les limites de sa propre pratique, il serait présomptueux de le lui reprocher.

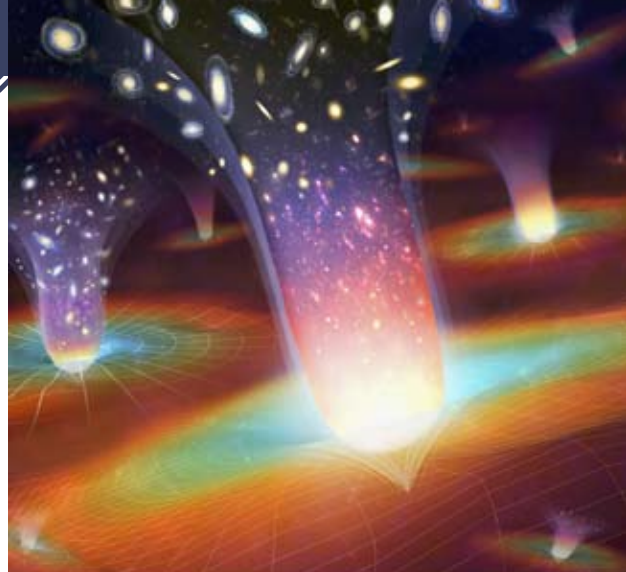
### Peut-on tout de même tester l'existence de ces univers multiples ?

**A.B.** Le critère poppérien ne devrait pas devenir un dogme. Mais, si l'on souhaite malgré tout s'y tenir, je pense qu'en effet les multivers sont bel et bien falsifiables et donc scientifiques suivant cette acception.

Cela peut sembler paradoxal : comment mettre à l'épreuve des univers déconnectés du nôtre et donc inaccessibles ? Prenons l'exemple de la relativité générale, archétype d'une théorie réussie. Elle prédit, entre autres, la structure interne des trous noirs. Bien que celle-ci ne puisse pas être vérifiée il est légitime de l'étudier car la théorie a fait par ailleurs ses preuves. Si l'on disposait donc d'une théorie, bien vérifiée dans notre monde, qui prédise l'existence d'univers multiples, il serait tout aussi dommageable de réfuter cette prédiction que serait aujourd'hui le fait de ne pas utiliser la relativité générale dans les trous noirs. Ensuite, même si nous ne disposons que d'un seul échantillon, notre Univers, c'est déjà quelque chose ! Une seule expérience peut permettre de réfuter ou de corroborer un modèle à un certain niveau de confiance. Imaginez une théorie qui prédise un ensemble d'univers, tous dotés d'une gravité répulsive. La seule observation de notre Univers réfuterait cette théorie et ses multiples mondes.

### Quelles seraient les prédictions quantitatives possibles ?

**A.B.** Si l'on disposait d'une théorie physique capable de prédire la probabilité d'apparition de



chaque type d'univers et que l'on était en mesure de calculer la probabilité d'apparition d'observateurs dans chacun de ces univers, alors il serait possible de la mettre à l'épreuve quantitativement à partir de notre échantillon d'Univers [1]. Le fait est que ni l'une ni l'autre de ces conditions n'est aujourd'hui réunie. Le modèle est bien scientifique dans sa constitution. Mais on est encore loin d'un test quantitatif. Sans même évoquer des problèmes plus techniques liés au concept de mesure dans un multivers...

### Quel est le rôle de l'observateur dans le multivers ?

**A.B.** C'est toute la question du principe anthropique qui a provoqué d'interminables controverses, essentiellement dues à une incompréhension des termes. Soyons clairs : ce principe nous dit seulement que notre Univers, la partie dans laquelle nous évoluons, n'est pas nécessairement représentative de l'ensemble du multivers. Exactement de la même façon que notre planète, la Terre, n'est pas représentative – loin s'en faut ! – de l'ensemble de notre Univers. Quand on tente de reconstruire les caractéristiques globales à partir des observations locales, il faut simplement en tenir compte : nous nous trouvons dans les régions « hospitalières ». Cela ne signifie pas du tout que les lois de la

## Pour en savoir plus sur les univers multiples

### Livres et revues

> Bernard Carr (dir.), *Universe or Multiverse?* Cambridge University Press, 2007.

> Leonard Susskind, *Le Paysage cosmique*, Robert Laffont, 2007.

> Lee Smolin, *Rien ne va plus en physique ! L'échec de la théorie des cordes*, Dunod, 2007.

> Paul Davies, *The Goldilocks Enigma, Why Is the Universe Just*

*Right for Life?* Allen Lane, 2007.

> Jacques Demaret et Dominique Lambert, *Le Principe anthropique*, Armand Colin, 1997.

> Andrei Linde, « L'inflation éternelle de l'Univers-bulles », Les Dossiers de La Recherche, n° 35, p. 39, mai-juillet 2009.

> « La théorie des cordes dit-elle le vrai ? », *La Recherche*, septembre 2007, p. 30.

> « Mécanique quantique : l'erreur

d'Einstein », *La Recherche*, avril 2008, p. 30.

### Sur le Web

> [lpsc.in2p3.fr/ams/aurelien/aurelien/multivers\\_lpsc.pdf](http://lpsc.in2p3.fr/ams/aurelien/aurelien/multivers_lpsc.pdf)

Physique et philosophie des multivers : un document très fouillé sur le sujet par Aurélien Barrau.

> [space.mit.edu/home/tegmark/index.html](http://space.mit.edu/home/tegmark/index.html)

La page de Max Tegmark au MIT.

> [space.mit.edu/home/tegmark/everett/](http://space.mit.edu/home/tegmark/everett/)

Des éléments bibliographiques sur Hugh Everett

> [physicsworld.com/cws/article/print/39306](http://physicsworld.com/cws/article/print/39306)

> Un article récent de Lee Smolin (en anglais).

> <http://tinyurl.com/6ufqb>

Un débat entre Lee Smolin et Leonard Susskind sur le principe anthropique.

**C'est peut-être l'un des multivers (vu ici par un artiste) les plus spéculatifs, et sans doute le plus fascinant, celui donnant lieu à une infinité d'univers, nés d'autant de big bang et où règnent des lois différentes de la physique.**

science sont expliquées par notre présence. Il faut l'affirmer, ce principe est totalement dénué de toute dimension théologique ou téléologique c'est-à-dire qu'il est ni déiste ni finaliste. Il n'a rien d'un quelconque retour à l'anthropocentrisme, bien au contraire. Le monde a été centré sur notre planète, puis sur notre étoile, puis sur notre galaxie, enfin sur notre cosmos. L'étape suivante est peut-être celle d'un acentrisme absolu.

**Si l'on pousse le raisonnement, pourra-t-on finalement accéder à des lois fondamentales : ne seront-elles toujours pas les lois locales d'une loi encore plus fondamentale ?**

**A.B.** C'est vrai, de ce point de vue le multivers de la théorie des cordes est un peu naïf. On considère ici que les lois de la physique telles qu'on les connaît sont des lois locales émergeant d'une théorie fondamentale, la théorie des cordes, la théorie-M ou une autre, disons une métathéorie. Or cette métathéorie pourrait très bien devenir elle-même la théorie locale d'une méta-méta-théorie. Et ainsi de suite. Mais cela n'invalide pas pour autant la démarche.

**Revenons aux lois locales. Selon vous, les multivers résolvent le problème de l'apparition de la vie ?**

**A.B.** Dans notre Univers, les lois semblent être spécifiquement adaptées au développement de la complexité. Il y a trois types d'explications. Soit nous avons eu une chance absolument farfouilleuse : dans l'immensité des lois possibles, la nature a sélectionné ces quelques lois, extrêmement improbables, compatibles avec l'existence de systèmes complexes et éventuellement vivants. Soit l'évolution cosmologique a été dirigée vers l'existence de l'homme par un « designer intelligent » que l'on nomme généralement Dieu. Soit, troisième solution, la plus simple et la plus modeste, celle que nous propose cette physique spéculative : les dés ont été tirés un grand nombre de fois et toutes les lois sont réalisées quelque part. Les lois que nous observons ici sont simplement favorables à la complexité parce que nous n'avons aucune chance de nous trouver dans l'un des univers ne permettant pas le développement de la vie.

**Y a-t-il un autre intérêt à supposer que ces univers multiples existent ?**

**A.B.** Pour la première fois je crois, c'est la rationalité qui semble conduire à l'existence de mondes invisibles. Autrement dit, cette proposition, que je considère comme scientifique au sens le plus orthodoxe du terme, mène à l'existence d'objets qui dépassent le strict cadre de cette pensée scientifique. Elle crée des ponts avec d'autres disciplines, ébauche une nouvelle mythologie, et de ce fait nous oblige à redéfinir ce que l'on attend de la physique. C'est aussi là le grand intérêt de cette idée : imposer une réflexion sur la science en tant que « manière de faire un monde ». Tout cela doit être pris avec beaucoup de précaution, de circonspection et de réserve, car il peut être dangereux de brouiller les frontières. Mais, tant que la rigueur n'est pas remise en question, il n'y a pas lieu d'avoir peur. Je crois que dans l'histoire des sciences, la timidité a été plus nuisible que l'excès d'enthousiasme et de prise de risque. Il faut veiller à ce que cette hypothèse ne soit pas récupérée à des fins détournées. Dès lors que la science s'ouvre sur des concepts non scientifiques, un danger existe. Mais le risque mérite d'être couru.

■ **Propos recueillis par Hélène Le Meur**

[1] A. Aguirre, in B. Carr (dir.) *Universe or Multiverse*, Cambridge University Press, 2007.

Les Editions Amalthée

Vous écrivez ?

Les Editions Amalthée  
recherchent  
de nouveaux auteurs



**Pour vos envois  
de manuscrits :**

Editions Amalthée  
2 rue Crucy  
44005 Nantes cedex 1  
Tél. 02 40 75 60 78  
[www.editions-amalthee.com](http://www.editions-amalthee.com)