

# Astrophysique



## LES MULTIVERS

→ *Bien qu'elle traverse toute l'histoire de la pensée, l'idée d'univers multiples a vu son statut évoluer considérablement depuis quelques années : d'une position métaphysique ou d'une image mythologique, elle s'est muée en hypothèse scientifique ou, plus exactement, en conséquence d'hypothèses scientifiques émises pour répondre à des questions bien déterminées de physique des particules ou de gravitation. De façon remarquable, l'émergence d'univers multiples, naturelle dans la plupart des théories – établies ou spéculatives – dont nous disposons à l'heure actuelle, permet de résoudre certains paradoxes fondamentaux de la physique contemporaine. La proposition est vertigineuse : notre Univers tout entier réinterprété comme un îlot dérisoire dans un immense méta-monde infiniment vaste et infiniment diversifié. Les lois réapparaissent comme des phénomènes, la nécessité se meut en contingence. L'étrangeté de notre monde s'explique par un effet de sélection : nous nous trouverions dans une zone du multivers qui est évidemment hospitalière. L'idée demeure-t-elle scientifique ? Peut-elle être testée ? Si certaines précautions de rigueur et de prudence sont observées, le multivers s'inscrit bien dans la mouvance scientifique la plus orthodoxe. Mais il invite aussi à des développements philosophiques profonds, et c'est une part de son intérêt.*

Aurélien Barrau  
enseignant-chercheur  
à l'université Grenoble-I  
et au laboratoire de  
physique subatomique  
et de cosmologie  
de Grenoble

### → UNE BRÈVE HISTOIRE DES MULTIVERS

L'idée d'univers multiples se rencontre chez différents auteurs à travers l'histoire. C'est sans doute chez Anaximandre (VI<sup>e</sup> siècle avant J.-C.) qu'elle apparaît en premier, au détour d'une réflexion sur le concept d'*apeiron*, littéralement « l'illimité ». Anaximandre pense une multitude de mondes successifs définis par leurs rapports à la qualité, à l'espace et au temps. La proposition, sous une autre forme, se trouve également chez les grandes figures de l'atomisme ancien : Démocrite, par exemple (V<sup>e</sup> siècle avant J.-C.), considère que les mondes sont en nombre infini, naissent et se forment.

Au Moyen Âge et à l'âge classique, les mondes multiples fleurissent à nouveau. Au début du XV<sup>e</sup> siècle, Nicolas de Cues – contemporain de la redécouverte de l'ouvrage de Lucrèce *De la nature* – imagine une pluralité de mondes dont les habitants se distingueraient par leur caractère propre. Giordano Bruno (1548-1600) évoque, dans des textes d'une extraordinaire audace et clairvoyance, les « grands et spacieux mondes infinis » tandis que son frère de pensée français, François Rabelais (1483 ?-1553), imagine des mondes co-existants, magiques ou mystiques, et inspirés des cent quatre-vingt-trois mondes du philosophe présocratique Petron d'Himère. En un sens très différent, Leibniz (1646-1716) pense des mondes multiples qui permettent de comprendre le nôtre comme le « meilleur » et d'introduire une forme de contingence au cœur de la définition des possibles.

La philosophie contemporaine recourt aux univers pluriels suivant deux axes disjoints. Le premier, celui de David Kellogg Lewis (1941-2001), consiste à considérer que tout ce qui est possible est effectivement réel dans un certain monde. Contrairement à son

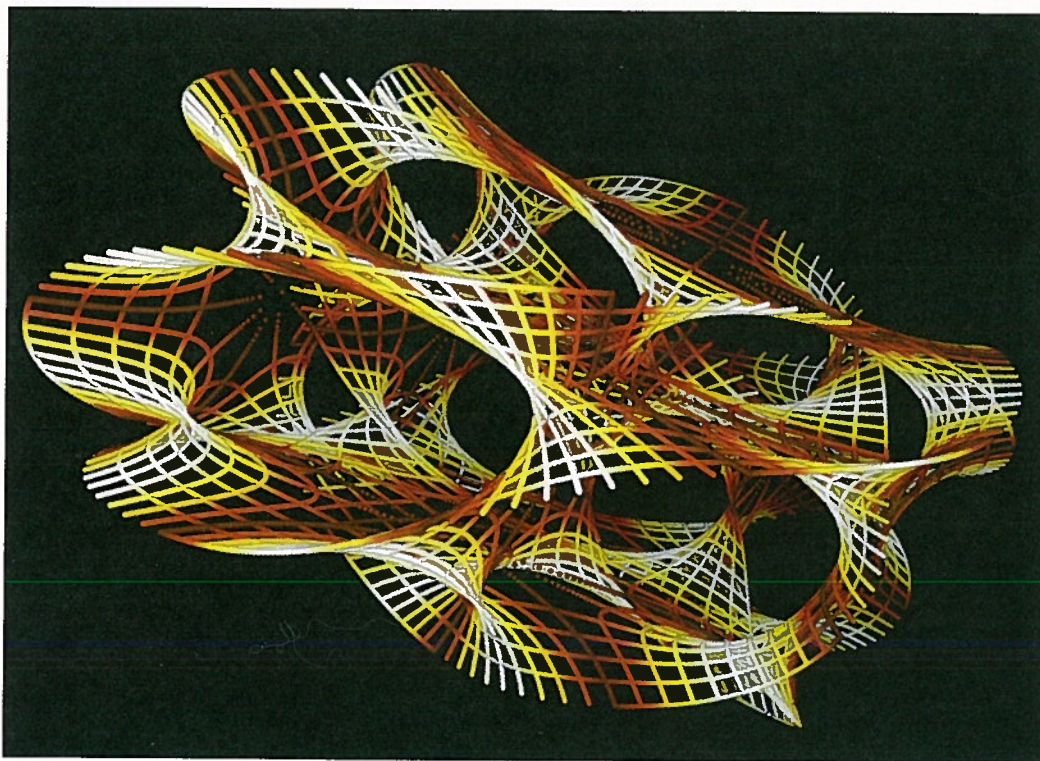
re a confirmé la capacité  
risation gamma. Integral  
ant cette capacité.

rons isolées dotées d'un  
isant, de l'ordre de 10<sup>9</sup> à  
de 30 à 60 microteslas),  
*netic star*). Le 27 décem-  
s fort flux gamma jamais  
ême détecter la réflexion  
nsable de cette émission  
2018-2024), un magné-  
ous, de l'autre côté de la  
libérée lors d'une fracture  
trons. Ce résultat amène  
pourraient être dus à des

écembre 2003, était parti-  
: sursaut gamma prenant  
ent proche. Cette décou-  
amma très peu lumineux,  
maux et les supernovae.  
es d'événements, qui se  
a épuisé son combustible  
ner un trou noir ou une  
tron gamma émise peut  
ion d'émission est petite  
érent. Il était donc essen-  
olarisation de l'émission  
a réalisé avec la première  
14 – d'une émission polari-  
a. Il s'agit de GRB 041219A,  
tés par Integral et présen-  
ère. De façon étonnante,  
du temps : inexistant dans  
ns le second. Ce résultat  
on des sursauts gamma.  
pouillement des données  
reuses surprises attendent

, p. 43.

ers haute énergie », p. 47 ;  
ies », p. 104.



« 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 » (A. Barrau). Ces spéculations sont également sources d'étranges beautés, comme en témoigne cette représentation tridimensionnelle d'une variété quadridimensionnelle dite de Calabi-Yau, qui décrit la géométrie des dimensions supplémentaires internes de la théorie M unifiant les cinq théories des supercordes, et liée à certains scénarios de multivers. (J.-F. Colonna/ CMAP/ École polytechnique, www.lactamme.polytechnique.fr)

apparence échevelée, cette proposition permet de faire face à des questions techniques de philosophie analytique, en particulier concernant les énoncés contrefactuels (du type : « A est la cause de B » signifiant « Si A ne s'était pas produit, B ne se serait pas produit »). Le second, développé par Nelson Goodman (1906-1998), étudie la possibilité de mondes « faits à partir de rien par l'usage de symboles » et réinterprète nos positions et propositions comme autant de manière de « faire des mondes ».

Depuis quelques décennies, la physique et l'astrophysique s'intéressent également à l'existence d'univers multiples.

### → MANIÈRES DE FAIRE DES MONDES : UN MULTIVERS GIGOGNE

Curieusement, la plupart des théories aujourd'hui utilisées en cosmologie conduisent, d'une manière ou d'une autre, à l'existence de mondes multiples.

La relativité générale, description relativiste de la gravitation, joue un rôle central dans la compréhension globale de l'Univers. Elle conduit à penser une géométrie dynamique dont l'évolution est dictée par les corps qui s'y meuvent. Plus profondément, elle montre en fait que l'espace et le champ gravitationnel sont une seule et même entité et que la physique doit être pensée de manière indépendante du fond sur lequel elle se déploie.

Or deux des trois géométries logiques conduisent à un des plus simples). Notre Univers est connecté – autrement dit – à des dizaines de milliards d'autres univers de ce méga-monde. Tout particulièrement, l'existence de quelque part.

Cette même relativité générale – lorsqu'elle est appliquée à des hypothèses – conduit à l'existence d'univers multiples – lorsque l'on suppose l'existence d'une charge électrique.

La mécanique quantique, elle aussi, conduit à l'existence d'univers multiples – lorsqu'elle est appliquée à la description d'un système physique.

Enfin, la théorie des cordes – qui n'est que l'immense avantage de ne pas avoir à supposer l'existence d'univers multiples – conduit à l'existence d'univers multiples.

La théorie des cordes – qui n'est que l'immense avantage de ne pas avoir à supposer l'existence d'univers multiples – conduit à l'existence d'univers multiples.

La théorie des cordes – qui n'est que l'immense avantage de ne pas avoir à supposer l'existence d'univers multiples – conduit à l'existence d'univers multiples.

La théorie des cordes – qui n'est que l'immense avantage de ne pas avoir à supposer l'existence d'univers multiples – conduit à l'existence d'univers multiples.

La théorie des cordes – qui n'est que l'immense avantage de ne pas avoir à supposer l'existence d'univers multiples – conduit à l'existence d'univers multiples.

La théorie des cordes – qui n'est que l'immense avantage de ne pas avoir à supposer l'existence d'univers multiples – conduit à l'existence d'univers multiples.

La théorie des cordes – qui n'est que l'immense avantage de ne pas avoir à supposer l'existence d'univers multiples – conduit à l'existence d'univers multiples.

La théorie des cordes – qui n'est que l'immense avantage de ne pas avoir à supposer l'existence d'univers multiples – conduit à l'existence d'univers multiples.

La théorie des cordes – qui n'est que l'immense avantage de ne pas avoir à supposer l'existence d'univers multiples – conduit à l'existence d'univers multiples.

La théorie des cordes – qui n'est que l'immense avantage de ne pas avoir à supposer l'existence d'univers multiples – conduit à l'existence d'univers multiples.

La théorie des cordes – qui n'est que l'immense avantage de ne pas avoir à supposer l'existence d'univers multiples – conduit à l'existence d'univers multiples.

La théorie des cordes – qui n'est que l'immense avantage de ne pas avoir à supposer l'existence d'univers multiples – conduit à l'existence d'univers multiples.

La théorie des cordes – qui n'est que l'immense avantage de ne pas avoir à supposer l'existence d'univers multiples – conduit à l'existence d'univers multiples.

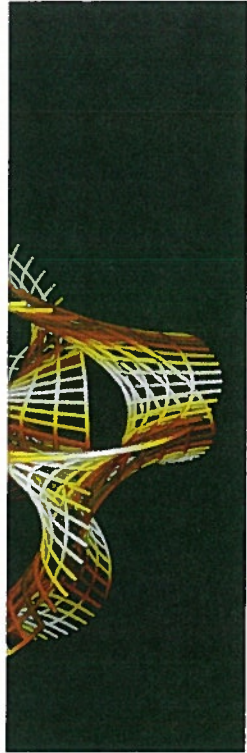
La théorie des cordes – qui n'est que l'immense avantage de ne pas avoir à supposer l'existence d'univers multiples – conduit à l'existence d'univers multiples.

La théorie des cordes – qui n'est que l'immense avantage de ne pas avoir à supposer l'existence d'univers multiples – conduit à l'existence d'univers multiples.

La théorie des cordes – qui n'est que l'immense avantage de ne pas avoir à supposer l'existence d'univers multiples – conduit à l'existence d'univers multiples.

La théorie des cordes – qui n'est que l'immense avantage de ne pas avoir à supposer l'existence d'univers multiples – conduit à l'existence d'univers multiples.

La théorie des cordes – qui n'est que l'immense avantage de ne pas avoir à supposer l'existence d'univers multiples – conduit à l'existence d'univers multiples.



is, conduisent d'une certaine  
euglement » (A. Barrau). Ces  
tion tridimensionnelle d'une  
plémentaires internes de la  
Colonna/ CMAP/ École polytechnique, www.

des questions techniques  
oncs contrefactuels (du  
roduit, B ne se serait pas  
1998), étudie la possibilité  
réinterprète nos positions  
ides ».  
s'intéressent également à

## MULTIVERS GIGOGNE

on cosmologie conduisent,  
ples.

joue un rôle central dans  
ne géométrie dynamique  
rofondément, elle montre  
et même entité et que la  
sur lequel elle se déploie.

Or deux des trois géométries prédites par la relativité générale dans le contexte cosmologique conduisent à un espace strictement infini (au moins dans le cas des topologies les plus simples). Notre Univers, défini comme l'ensemble de ce qui nous est causalement connecté – autrement dit comme une sphère, centrée sur la Terre, de quelques dizaines de milliards d'années-lumière de rayon –, ne serait alors qu'une infime parcelle de ce méga-monde. Tout ce qui peut se produire avec une probabilité non nulle (et en particulier l'existence de copies à l'identique de notre propre Univers) doit se produire quelque part.

Cette même relativité générale ouvre également la porte sur d'autres mondes – plus hypothétiques – lorsque l'on considère l'intérieur des trous noirs en rotation ou porteurs d'une charge électrique.

La mécanique quantique, l'autre grande révolution physique du  $xx^e$  siècle, peut elle aussi conduire à l'existence d'univers multiples. L'interprétation du physicien Hugh Everett, III (1930-1982) – qui n'est indiscutablement pas la plus orthodoxe mais qui présente l'immense avantage de ne nécessiter aucune hypothèse ad hoc supplémentaire – conduit naturellement à supposer que chaque mesure physique induit une décomposition de la fonction d'onde universelle en différentes branches et donc en différentes histoires et en différents mondes. Tout ce qui aurait pu se produire se produit effectivement dans l'un de ces mondes parallèles.

C'est pourtant lorsque mécanique quantique et relativité générale se réunissent que les multivers les plus étonnants et les plus importants semblent naître.

D'abord dans l'approche de la gravitation quantique à boucles, qui, sans prétendre à l'unification, offre un cadre cohérent et robuste de construction d'une théorie non perturbative et invariante de fond (autrement dit intégrant profondément et exhaustivement les leçons de la mécanique quantique et de la relativité d'Einstein). Celle-ci conduit à remplacer les singularités au cœur des trous noirs par des « rebonds » qui permettent d'imaginer chaque trou noir comme le géniteur d'un nouvel univers. La violence du rebond cause une légère variation des lois et un mécanisme « darwinien » de création d'univers peut alors être supposé. La sélection naturelle fait évoluer les lois de la physique vers l'état maximisant alors la création de trous noirs dans chaque univers.

Ensuite, et peut-être même surtout, c'est lorsque sont conciliées l'inflation cosmique et théorie des cordes que le multivers le plus étudié aujourd'hui se profile. L'inflation, augmentation considérable du facteur d'échelle dans les premiers instants, est aujourd'hui partie intégrante du paradigme du big bang. Elle résout l'essentiel des paradoxes et génère naturellement les perturbations qui permettront de former les structures de l'Univers. Dans sa version éternelle, elle dessine un méta-univers en perpétuelle inflation constitué d'une myriade d'univers-bulles. La théorie des cordes ne jouit évidemment pas du même statut : spéculative et difficilement testable, il lui faut recourir à des hypothèses très lourdes – comme l'existence de dimensions supplémentaires – pour unifier les particules et les interactions. Elle n'en demeure pas moins l'une des voies les plus prometteuses de construction d'une théorie physique complète incluant la gravitation. Le développement de la théorie des cordes a connu plusieurs révolutions, dont la dernière constitue la découverte d'un « paysage » de lois : lorsque l'on tient compte des manières de recourir sur elles-mêmes les dimensions supplémentaires et des flux magnétiques généralisés, la théorie conduit à une quasi-infinité de lois physiques différentes ! L'inflation crée des



## SITES INTERNET

Aurélien Barrau : quelques documents  
« grand public » : <http://lpsc.in2p3.fr/ams/aurelien/aurelien/cours.html>

parmi lesquels « Quelques éléments de physique et de philosophie des multivers » : [http://lpsc.in2p3.fr/ams/aurelien/aurelien/multivers\\_lpsc.pdf](http://lpsc.in2p3.fr/ams/aurelien/aurelien/multivers_lpsc.pdf)

Biographicabl Sketch of Hugh Everett, III : <http://space.mit.edu/home/tegmark/everett/>

Smolin vs. Susskind : The Anthropic Principle : [http://www.edge.org/3rd\\_culture/smolin\\_susskind04/smolin\\_susskind.html](http://www.edge.org/3rd_culture/smolin_susskind04/smolin_susskind.html)



## BIBLIOGRAPHIE

- A. Barrau, « Les Lois de la physique mènent aux multivers », in *La Recherche*, n° 433, pp. 50-53, sept. 2009 / B. Carr dir., *Universe or Multiverse ?*, Cambridge University Press, Cambridge (G.-B.), 2007 ; « Dieu avait-il le choix en créant l'Univers ? », in *La Recherche*, n° 433, pp. 46-49, sept. 2009 / S. Chandrasekhar, *Truth and Beauty : Aesthetics and Motivations in Science*, University of Chicago Press, Chicago, 1987 / P. C. W. Davies, *The Goldilocks Enigma : Why Is the Universe Just Right for Life ?*, Allen Lane, Londres, 2006 / J. Demaret et D. Lambert, *Le Principe anthropique*, Armand Colin, Paris, 1997 / N. Goodman, *Ways of Worldmaking*, Harvester Press, Hassocks (West Sussex), 1978 (*Manières de faire des mondes*, trad. de l'angl. par M.-D. Popelard, J. Chambon, Nîmes, 1992, nouv. éd. coll. Folio Essais, Gallimard, Paris, 2006) / A. Linde, « L'Inflation éternelle de l'Univers-bulles », in *Les Dossiers de La Recherche*, n° 35, p. 39, 2009 / L. Smolin, *The Trouble with Physics : the Rise of String Theory, the Fall of a Science, and What Comes Next*, Houghton Mifflin, Boston, 2006 (*Rien ne va plus en physique ! L'échec de la théorie des cordes*, trad. de l'angl. par A. Grinbaum, Dunod, Paris, 2007) / L. Susskind, *Cosmic Landscape : String Theory and the Illusion of Intelligent Design*, Little, Brown and Co., New York, 2005 (*Le Paysage cosmique : notre Univers en cachera-t-il des millions d'autres ?*, trad. de l'angl. par B. Arman, Robert Laffont, Paris, 2007, nouvelle édition coll. Folio Essais, Gallimard, Paris, 2008).

mondes-bulles et la théorie des cordes les peuple de lois variées et imprévues. Dans ce multivers d'une extraordinaire diversité, il existe toutes sortes d'univers présentant, par exemple, différents nombres de dimensions ou différents types d'interactions. Un visage cosmique insoupçonné – et souvent indescriptible dans la langue de la physique connue – caractériserait chaque monde de ce gigantesque multivers.

### ➔ PEUT-ON TESTER L'HYPOTHÈSE DU MULTIVERS ? QUEL EST SON INTÉRÊT ?

Ce dernier multivers permet de résoudre naturellement l'un des problèmes lancinants de la physique théorique : celui de la *naturalité*. Comment comprendre que la plupart des constantes fondamentales – parmi lesquelles la fameuse constante cosmologique, à l'origine de l'accélération de l'expansion de notre Univers – adoptent des valeurs souvent très particulières et particulièrement adaptées à l'existence de la complexité ? Le multivers permet d'échapper à la réponse théologico-téléologique : un monde créé *pour* l'existence de la vie et de l'homme ; il existerait tout simplement de multiples univers avec différentes valeurs de ces constantes et nous nous trouverions évidemment dans l'un de ceux qui sont favorables à l'apparition de la vie. De même que la Terre n'est pas du tout représentative de notre Univers, celui-ci n'a aucune raison d'être représentatif du multivers. Nouvelle blessure narcissique ! Il est intéressant de remarquer que le multivers résout simplement cette énigme sans avoir été créé pour cela : il ne s'agit que de l'heureuse conséquence de théories élaborées pour répondre à des questions claires de physique subatomique et de gravitation.

Contrairement à une idée reçue, même si ces mondes multiples sont inaccessibles, la théorie est bien réfutable. Cela tient simplement à ce que le multivers n'est pas, en lui-même, un modèle mais est une conséquence, parmi d'autres, de modèles. Or ces modèles peuvent être mis à l'épreuve. Nous ne disposons que d'un unique échantillon d'univers, le nôtre, mais c'est déjà quelque chose ! Si l'on connaît la distribution de probabilité des différents types d'univers prédits par une théorie et qu'on peut estimer la probabilité d'apparition d'observateurs dans ce type d'univers, il est possible d'estimer si notre existence au sein de notre Univers corrobore (à un certain degré de confiance) cette théorie. La démarche n'est aujourd'hui pas techniquement faisable – d'autant que la définition d'une mesure dans le multivers est un problème très complexe – mais la démarche est bien scienti-

fique au sens le plus orthodoxe du terme.

Bien qu'elle soit donc réfutable – au sens de Popper – et s'inscrive ainsi de droit dans le cadre de la physique « standard », cette proposition est également attrayante par ses ramifications extra-scientifiques. Elle impose un positionnement ontologique et une réflexion sur ce qui est attendu de la démarche scientifique. Les champs disciplinaires se transforment de l'intérieur : Wassily Kandinsky et Arnold Schönberg n'auraient sans doute pas été considérés comme des artistes par un théoricien de l'esthétique du XIX<sup>e</sup> siècle. Si, aujourd'hui, les physiciens ressentent le désir ou le besoin de brouiller les

délinéaments de leur discipline sans doute dangereux le risque est peut-être le

- ➔ *La Science au présent 20*
- ➔ *La Science au présent 20*
- ➔ *La Science au présent 20*
- ➔ *La Science au présent 20*
- ➔ *La Science au présent 20*
- ➔ *La Science au présent 20*
- ➔ *La Science au présent 20*
- ➔ *La Science au présent 20*

# Biologie

## L'ÉPIGÉNÉTIQUE

➔ *Le XX<sup>e</sup> siècle a été tuelles de ce domaine ne suffisent pas à expliquer au cours des dernières décennies » agissent sur l'espace et le temps de dysfonctionnements*

### ➔ AVANCÉES ET I

Rappelons que l'ADN et l'information qu'il contient véhiculés par les chromosomes des molécules d'ARN (protéines par le phénomène, selon les conditions de l'action de protéine ou ralentissent l'expression n'est pas systématique codants (cf. *Les phénomènes* par les revues scientifiques quasi-totalité des gènes). On pourrait croire qu'il y a un lien entre le développement du génome et

