

LE
SALON
SCIENTIFIQUE

CONVERSATION
SUR



les multivers

Mondes possibles de l'astrophysique,
de la philosophie et de l'imaginaire

avec

Aurélien Barrau • Patrick Gyger
Max Kistler • Jean-Philippe Uzan

Champs sciences

Conversation sur...

LE SALON
SCIENTIFIQUE

Un sujet, un modérateur, quatre invités: dans notre Salon, les plus grands chercheurs débattent des enjeux scientifiques d'aujourd'hui et de demain. N'est-ce pas ceux qui font la science qui l'expliquent le mieux?

...les multivers

Et si notre Univers n'était qu'un parmi d'autres? Cette idée d'univers multiples, envisagée pourtant depuis l'Antiquité, n'est entrée que récemment – et avec fracas – dans le champ de la science. L'hypothèse fascine, mais elle n'en est pas moins dérangeante: comment se formeraient ces mondes invisibles? Peut-on tester et réfuter leur existence? Une telle hypothèse est-elle vraiment scientifique? Ouvrir la porte aux mondes possibles de l'astrophysique, de la philosophie et de l'imaginaire, c'est montrer qu'il y a une multiplicité de «manières de faire des mondes»...

Sous la conduite d'Isabelle Joncour, cette conversation réunit les astrophysiciens **Aurélien Barrau** et **Jean-Philippe Uzan**, l'historien **Patrick Gyger** et le philosophe **Max Kistler**.

En couverture: illustration d'après une image
© Vadim Sadovski / Shutterstock.

Flammarion

CONVERSATION SUR
LES MULTIVERS

MONDES POSSIBLES DE L'ASTROPHYSIQUE,
DE LA PHILOSOPHIE ET DE L'IMAGINAIRE

DANS LA MÊME COLLECTION

Conversation sur la physique, avec Francis Bernardeau,
Étienne Klein, Sandrine Laplace, Michel Spiro.

Conversation sur les mathématiques, avec Pierre Cartier, Jean
Dhombres, Gerhard Heinzmann, Cédric Villani.

LE SALON SCIENTIFIQUE

avec

Aurélien Barrau • Patrick Gyger
Max Kistler • Jean-Philippe Uzan

.....

CONVERSATION SUR

LES MULTIVERS

MONDES POSSIBLES DE L'ASTROPHYSIQUE,
DE LA PHILOSOPHIE ET DE L'IMAGINAIRE

menée par Isabelle Joncour

.....

Champs sciences

Édition originale publiée sous le titre :
*Multivers. Mondes possibles de l'astrophysique,
de la philosophie et de l'imaginaire*
aux éditions La Ville brûle dans la collection « 360 »
dirigée par Isabelle Joncour.

© La Ville brûle, 2010.

© Flammarion, « Champs », 2020, pour cette édition.

© Studio de création Flammarion, pour les portraits des auteurs.

ISBN : 978-2-0814-7887-9

AVANT-PROPOS

« Nous vivons dans un monde d'apparence qui n'est peut-être pas celui auquel nous croyons. » Toute la science pourrait sans doute se résumer à cette posture qui a conduit des générations de savants et d'intellectuels à élaborer des outils pour tenter de parvenir à une description objective du monde.

Que ce soit dans une perspective philosophique ou dans une démarche scientifique, la science ne peut pas prétendre absolument et sans conteste à une description « vraie » de ce qu'est le monde en soi. Tout au plus, l'aventure scientifique propose des cadres, des modèles et des théories parfois très sophistiquées et opératoires qui rendent compte d'un certain nombre de phénomènes.

Quelles sont alors les limites de la science ? Quelle en est sa valeur ? Quels critères de scientificité adopter ? Ces questions prennent une saveur particulière lorsque la vision d'un univers unique semble bouleversée par les derniers développements de la physique fondamentale pour tendre vers l'existence d'univers multiples. Si l'hypothèse fascine, elle n'en est pas moins dérangeante :

comment se formeraient ces mondes multiples ? Auraient-ils les mêmes lois physiques ? faut-il en rester aux critères traditionnels de scientificité ou ouvrir la porte aux mondes possibles de l'astrophysique, de la philosophie et de l'imaginaire ?

Ces multivers ne sont, selon certains, que des hypothèses non scientifiques car non réfutables. Pour d'autres, les multivers pourraient constituer une révolution de notre conception du monde...

Pour tenter d'en apprécier les termes scientifiques, Aurélien Barrau (cosmologiste) et Jean-Philippe Uzan (physicien théoricien) décryptent les arcanes scientifiques des multivers et nous invitent à nous immerger au cœur de la physique théorique. Touchons-nous enfin à une description physique des univers parallèles chers à la littérature de science-fiction et qui reculent les limites des possibles ? Patrick Gyger, historien et directeur du lieu unique, reconnaît-il dans ces multivers l'univers de la science-fiction ? Rien n'est moins sûr. Alors que sont ces multivers et quelle en est la portée épistémologique ? C'est ce à quoi nous invite à réfléchir Max Kistler (philosophe des sciences). Et c'est également le voyage auquel les auteurs nous invitent à travers un échange riche et dense.

Isabelle JONCOUR, maître de conférences en astrophysique et chargée de mission « Médiation des sciences » à l'université Joseph Fourier (Grenoble). Directrice de la collection 360 pour les éditions La Ville brûle.



LES AUTEURS





**AURÉLIEN
BARRAU**

Enseignant-chercheur au Laboratoire de physique subatomique et de cosmologie (LPSC) de Grenoble et à l'université Grenoble-Alpes ; responsable du master Physique subatomique et cosmologie. Membre honoraire de l'Institut universitaire de France. Lauréat de plusieurs prix scientifiques et membre du Comité national de la recherche scientifique. Invité à l'Institut des hautes études scientifiques (IHES) et à l'Institute for Advanced Study (IAS Princeton). Également docteur en philosophie.

« Je travaille sur l'Univers primordial. Essentiellement donc sur la physique au voisinage du big bang. Nous calculons la manière dont différentes théories de gravitation quantiques peuvent influencer sur les observables cosmologiques. En particulier, je m'attelle à chercher des traces d'effets possibles d'un rebond qui pourrait, en réalité, s'être produit en lieu et place du big bang lui-même. Cela me conduit également à aborder les trous noirs et les ondes gravitationnelles.

Nous essayons de comprendre comment les modèles « au-delà de la relativité générale » enrichissent ou infléchissent les propriétés de ces objets fascinants. J'ai proposé quelques pistes pour chercher des effets quantiques dans le comportement des trous noirs.

En parallèle, je garde un pied dans deux expériences. D'abord le détecteur AMS qui recherche de l'antimatière dans l'espace. Ensuite le télescope LSST qui tente de mesurer l'accélération de l'expansion cosmologique.

J'enseigne également à l'université, avec beaucoup de plaisir. Je suis responsable d'un Master de physique théorique.

J'ai développé un intérêt profond pour la philosophie et collaboré avec Jean-Luc Nancy. En particulier, je tente de voir comment le geste déconstructeur derridien peut-être poussé plus avant en tentant de questionner l'hégémonie de l'un et de l'ordre.

Il m'arrive d'écrire un peu de poésie et j'ai eu la joie de côtoyer la réalisatrice Claire Denis sur le film *High Life*. J'aimerais travailler autour de l'œuvre, très subversive et géniale, de Jean Genet.

Enfin, je me suis un peu impliqué dans le combat écologique contre l'effondrement de la vie sur Terre. Je l'aborde dans une visée résolument sociale et décoloniale. Ce qui ne me vaut pas que des amis...

Il m'arrive également de participer à quelques travaux de divulgation scientifique.

Tout cela dans une éthique de porte-à-faux et de combat permanent avec moi-même. Dans un retrait constant et inassumé.



◀◀ **PATRICK
GYGER** ▶▶

Historien, directeur du lieu unique, centre de culture contemporaine de Nantes, ancien directeur de la Maison d'Ailleurs à Yverdon-les-Bains en Suisse, et commissaire de l'exposition « Into the Unknown : a Journey through Science Fiction » au Barbican Centre à Londres (2017).

« Historien de formation et spécialiste de science-fiction, j'ai dirigé pendant dix ans la Maison d'Ailleurs, Musée de la Science-fiction, de l'Utopie, et des Voyages extraordinaires, qui est le plus grand centre de recherche et de documentation sur la science-fiction en Europe, avec deux axes principaux : une collection documentaire de science-fiction (la plus importante d'Europe) qui regroupe 100 000 documents et images du XVI^e siècle à nos jours (tous les pulps américains de science-fiction, l'une des plus grandes collections documentaires sur Jules Verne, un superbe fonds iconographique de visions du futur entre 1850 et 1950, ainsi

que la collection de 15 000 volumes de l'écrivain britannique Brian Stableford. D'autre part, la Maison d'Ailleurs accueille de nombreuses expositions temporaires sur les grandes thématiques de la science-fiction que sont l'homme transformé, la ville du futur, l'utopie..., ainsi que des expositions sur des artistes (dessinateurs, illustrateurs...).

Par ailleurs, je viens de réaliser la grande exposition itinérante « Into the Unknown : a Journey through Science Fiction » au Barbican Centre à Londres, destinée à l'itinérance internationale (Grèce, Danemark, Pays-Bas...). De plus, au lieu unique à Nantes, je présente fréquemment des projets à la croisée des arts et des sciences, dont une série d'expositions autour de la physique quantique et son appropriation par les artistes.

Ce qui m'intéresse principalement dans la thématique du multivers, ce sont les rapports entre l'imaginaire et le réel. C'est pourquoi j'ai travaillé pour l'Agence spatiale européenne sur un projet baptisé ITSF (*Innovative Technologies from Science Fiction for Space Applications*, « les technologies de la science-fiction appliquées au domaine spatial ») qui consistait à regarder dans la science-fiction s'il y avait des technologies susceptibles d'inspirer les ingénieurs du secteur spatial.

Mais bien évidemment, dans le débat scientifique, je serai le béotien, le candide – voire l'idiot ! À mes yeux, la science, et en particulier ses aspects liés aux

univers multiples, apparaissent souvent bien plus délirants que la science-fiction. Je relisais encore hier dans le train *La Physique de l'impossible* de Michio Kaku, dans lequel l'auteur fait le point sur la recherche de l'invisibilité, la téléportation, les robots... et je dois avouer que je trouve ces aspects fictionnels beaucoup moins délirants que les aspects décrits dans la théorie-M ou l'interprétation des univers parallèles de Hugh Everett. Il est finalement plus difficile d'adhérer à ces hypothèses strictement scientifiques que d'adhérer à des élucubrations de science-fiction. Car il y a une chose qui est très importante en science-fiction, c'est ce que l'on appelle la *suspension of disbelief*, c'est-à-dire la suspension d'incrédulité qui fait que le public adhère à l'histoire sans se poser la question de la véracité des faits présentés dans l'œuvre. Et la mise en place de cette suspension d'incrédulité est un point essentiel de la science-fiction. Je pense que c'est l'un des problèmes de la physique théorique actuelle : comment faire adhérer le grand public à des hypothèses spéculatives extrêmement complexes ? »



MAX
KISTLER

Professeur de philosophie à l'université Paris 1 Panthéon-Sorbonne, membre de l'Institut d'histoire et de philosophie des sciences et des techniques (IHPST).

« Après une formation en physique et en philosophie, je me suis spécialisé, en philosophie des sciences, sur des concepts généraux comme la causalité, les lois de la nature, la réduction, ou l'émergence. Certains philosophes contestent l'utilité de quelques-uns de ces concepts, et notamment celui de causalité, au prétexte qu'ils n'admettent aucune définition scientifique précise. Selon ces critiques, les théories scientifiques sophistiquées ne contiennent ni le concept de causalité ni des concepts qui permettraient d'en fournir une analyse. Par conséquent, un philosophe qui juge que la meilleure conception du monde est conforme aux meilleures théories scientifiques devrait bannir la causalité de toute conception sérieuse du monde.

Cette critique me semble fondamentalement erronée. Certains concepts, sans être explicitement exprimés à l'intérieur d'une théorie scientifique, sont néanmoins indispensables pour interpréter les théories scientifiques, et en particulier pour concevoir des conséquences expérimentalement testables de ces théories. Les concepts philosophiques mentionnés plus haut relèvent de cette catégorie : on ne peut comprendre aucune expérience scientifique sans avoir recours au concept de causalité, même si cette expérience porte sur une théorie qui ne contient pas elle-même le concept de causalité.

Les concepts modaux de possibilité, de contingence et de nécessité¹ appartiennent eux aussi à la catégorie de concepts philosophiques indispensables pour interpréter les théories scientifiques. Considérons le concept de loi de la nature. Les lois ne sont pas simplement des régularités universelles.

Pour prendre un célèbre exemple proposé par Nelson Goodman dans *Faits, Fictions et Prédictions* (Éditions de Minuit, 1985), disons que toutes les pièces dans ma poche à l'instant présent sont des centimes. C'est une régularité universelle dans la mesure où il n'y a aucune exception : aucune pièce d'euro ne se trouve actuellement dans ma poche. Mais bien sûr cela ne suffit pas pour en faire une loi de la nature : il s'agit d'une coïncidence, ou d'une régularité universelle accidentelle. Or le moyen le plus clair d'exprimer la différence entre une

1. Voir le glossaire en fin d'ouvrage pour de plus amples précisions sur ces différents concepts.

régularité accidentelle et une loi consiste à faire appel à la notion modale de possibilité : la régularité des pièces dans ma poche n'est pas une loi dans la mesure où il aurait été possible qu'il y ait une pièce d'euro dans ma poche en ce moment. Les notions modales de possibilité et de nécessité permettent aussi de mieux comprendre la signification de certains énoncés conditionnels qu'on appelle des "contrefactuels". Prenons l'énoncé : "Si le personnel de l'aéroport avait été en grève hier, je ne serais pas rentré en avion hier." Selon Robert Stalnaker et David Lewis, cet énoncé est vrai si et seulement si, parmi tous les mondes possibles dans lesquels le personnel était en grève hier, le monde le plus semblable du monde réel est celui où je ne suis pas rentré en avion hier.

Leibniz a inventé le concept de monde possible dans un contexte théologique. Mais les mondes possibles se sont avérés être un moyen conceptuel puissant d'une grande utilité dans bien des domaines en dehors de la théologie. Ils nous aident à comprendre de nombreux énoncés scientifiques ou de sens commun, par exemple les énoncés contrefactuels, les énoncés de loi et les énoncés causaux. Les mondes possibles peuvent aussi servir à interpréter un événement de mesure sur un système quantique qui se trouve dans un état de superposition d'états propres. Selon l'interprétation dite "des mondes multiples", chacun des résultats de mesure possibles est réalisé dans un monde possible différent, de sorte que chaque événement de mesure de ce genre donne lieu à une bifurcation (ou "multifurcation") où l'histoire d'un monde donné se divise

en autant de branches qu'il y a de résultats possibles de mesures.

Pour résumer, les mondes multiples sont d'abord des outils conceptuels qui nous aident à comprendre un certain nombre d'énoncés scientifiques et de sens commun. Cela n'empêche pas qu'il puisse y avoir des hypothèses proprement scientifiques donnant aux concepts de mondes possibles ou de multivers un sens nouveau. »



JEAN-PHILIPPE UZAN

Directeur de recherche au CNRS, chercheur en physique théorique à l'Institut d'astrophysique de Paris de l'université Pierre-et-Marie-Curie. Il a enseigné au M2 de physique théorique (École normale supérieure de Paris) et à l'École des Mines de Paris ainsi qu'en Afrique dans le cadre du réseau AIMS (African Institute for Mathematical Sciences). Il a reçu les prix Langevin (2010) et Lemaître (2015). Auteur de plusieurs monographies et ouvrages de diffusion des connaissances, il travaille aussi avec plusieurs artistes.

« Je suis physicien théoricien, directeur de recherche au CNRS, et je travaille à l'Institut d'astrophysique de Paris. Mes deux principaux sujets d'étude sont la cosmologie et la gravitation. J'ai beaucoup travaillé sur la théorie de la relativité générale, qui est notre théorie de référence de la gravitation. Elle est aujourd'hui testée avec une grande précision, principalement dans le Système solaire où les déviations par rapport à ses prédictions n'excèdent 0,1 %.

On a ainsi tendance à l'utiliser comme théorie de la gravitation de façon quasiment universelle. Ainsi, on a un domaine de validité observationnel qui est assez restreint et l'on postule cependant que cette théorie, pour différentes raisons théoriques, est valable pour décrire l'Univers dans son ensemble. La question est alors de savoir comment on construit des modèles d'univers dans ce cadre théorique.

J'ai ainsi beaucoup travaillé sur la cosmologie, dont l'un des piliers consiste à supposer que cette théorie de la gravitation est valide pour décrire l'Univers ; on peut alors définir un espace-temps qui a certaines propriétés et dont la dynamique est justement déterminée par cette théorie. C'est un programme qui a commencé il y a maintenant près d'un siècle avec beaucoup – et peut-être même trop – de succès. On a construit un modèle cosmologique reproduisant toutes les observations existantes, et aujourd'hui, on est face à un dilemme : il y a d'une part ce modèle cosmologique standard, et, d'autre part, il y a un certain nombre de questions auxquelles on ne sait pas répondre. En particulier, il semble que l'on ait besoin, pour reproduire ces observations, d'une matière que l'on n'a encore jamais vue dans les accélérateurs de particules ou en laboratoire : les fameuses matière noire et énergie sombre.

Face à ce constat, deux attitudes sont possibles : soit on se dit qu'il existe de la matière que l'on n'a jamais vue, que l'on vient de découvrir grâce à la cosmologie et que l'on doit caractériser ; soit on se dit qu'il faut

peut-être revoir l'une des hypothèses qui amène à cette conclusion, et en particulier la validité de la théorie de la relativité générale dans ce régime (c'est-à-dire en champ faible et sur des échelles spatiales grandes devant la taille du Système solaire).

Pour moi, un modèle cosmologique n'est pas une théorie. Un tel modèle est construit en se basant sur les lois de la nature formulées par la physique théorique et décrivant les constituants et les interactions connues. Cependant, ce n'est pas suffisant car d'une part on doit extrapoler ces théories et d'autre part on ne sait pas résoudre les équations fournies par ces théories dans leur pleine généralité. Il faut donc trouver des solutions simplifiées qui sont de bonnes descriptions de notre Univers. Pour cela, on doit faire des hypothèses supplémentaires sur la structure de notre Univers : est-ce que l'Univers est homogène et isotrope, comme nous le supposons actuellement ?... On a des indications observationnelles soutenant ces hypothèses, mais à quel point sont-elles valables ?

C'est pourquoi je me suis intéressé depuis une vingtaine d'années aux hypothèses sur lesquelles repose le modèle cosmologique standard et sur la façon dont on pouvait les tester une à une. Au-delà de la cosmologie de précision (qui est née avec les grands relevés cosmologiques de dernières décennies), j'ai lancé l'idée qu'il fallait développer une cosmologie de justesse, ce qui demande de pouvoir affirmer que notre modèle est réaliste, et d'en tester les hypothèses. En suivant cette ligne, j'ai proposé plusieurs tests (de la relativité

générale, du principe copernicien, de l'isotropie de l'expansion cosmique, de la topologie de l'univers, de la limite fluide, en particulier) dont certains sont aujourd'hui au cœur de plusieurs projets observationnels. Ces questions sont centrales car les paramètres mesurés par les expériences sont définis dans un cadre théorique, qui intervient à de nombreux niveaux, et les hypothèses sur la nature de l'espace-temps sont au cœur même de l'analyse des données, par exemple à travers la façon dont la lumière se propage dans l'univers.

En 2008, j'ai ainsi proposé, avec George Ellis et Chris Clarkson, de l'université de Cape Town (Afrique du Sud), un test du principe copernicien (qui postule que notre Univers est spatialement homogène et isotrope, c'est-à-dire que notre position dans l'Univers est quelconque ; ainsi l'Univers n'aurait pas de centre). Jusqu'en 2007, on pouvait lire partout que ce principe copernicien ne pouvait pas être testé observationnellement, parce que l'on n'observe l'Univers que depuis un seul point de l'espace-temps (ici et aujourd'hui) – ce qui est vrai. Mais en fait je me suis rendu compte qu'avec le développement des technologies, en particulier l'avènement des très grands télescopes et de la spectroscopie de très haute précision, on pouvait tester ce principe. De manière générale, ma démarche consiste à utiliser l'Univers comme laboratoire pour mettre des contraintes sur les théories de la physique.

Je travaille aussi depuis une dizaine d'années au développement de tests de la relativité générale à partir

des grandes structures de l'Univers (la distribution des galaxies, des amas, etc.). Lorsqu'il y a dix ans, Francis Bernardeau et moi avons proposé de tester la relativité générale en utilisant les grands catalogues de galaxies et les effets de lentilles gravitationnelles, on nous a répondu que c'était très joli... mais que c'était irréalisable. Pourtant aujourd'hui l'Agence spatiale européenne développe le satellite nommé Euclid pour faire ce genre de tests ! Il sera lancé en 2022.

Ainsi, en cosmologie, les spéculations sont importantes parce qu'elles stimulent de futures observations et qu'elles nous forcent à réfléchir sur les façons de les falsifier¹ ou de vérifier leurs différentes prédictions. Ces allers-retours entre les spéculations du théoricien et les questions posées par l'observateur sont caractéristiques de la dynamique de la science, et forment le moteur du progrès de notre connaissance.

C'est dans ce cadre que le rôle des constantes de la physique nous renvoie directement aux multivers : tout d'abord, est-ce que les constantes sont constantes ? Dans beaucoup de théories, on sait que ce que l'on appelle "constantes" en physique classique ne sont pas constantes, parce que la théorie considérée n'est qu'une version basse énergie d'une théorie de niveau supérieur

1. La falsifiabilité, ou réfutabilité, est un concept forgé par Karl Popper pour démontrer la fausseté d'une affirmation par des preuves observationnelles ou par l'expérience. Par exemple, l'affirmation « tous les cygnes sont blancs » peut être réfutée en observant un cygne noir. Une proposition non falsifiable, ou non réfutable n'est pas considérée comme scientifique.

dans laquelle il y a d'autres constantes. Peut-on seulement vérifier observationnellement que certaines constantes ne sont pas constantes ? Cela serait une avancée majeure et une preuve de la nécessité d'une nouvelle physique. Ensuite vient la question de savoir combien il y a de constantes ? Et quel lien pourrait exister entre elles ? Répondre à ces questions nous permettrait de quantifier la contingence de notre théorie. Il me faut souligner aussi que ces réflexions de fond, de nature purement théorique et sans recherche d'application à court terme, sur la nature des constantes ont accompagné l'évolution du Système international d'unités et sa nouvelle définition votée le 16 novembre 2018 à Versailles, et donc à une révolution sur la façon de concevoir la métrologie. Quand on fait un modèle théorique, celui-ci n'a qu'une portée limitée, il a toujours un domaine de validité. Or, dans un cadre théorique donné, il y a des structures que l'on impose comme des groupes de symétries – par exemple pour les interactions des particules –, il y a aussi des constantes et des conditions initiales, qui ne peuvent pas être déterminées par la théorie elle-même. Le physicien théoricien a tendance à se concentrer sur la cohérence mathématique de la théorie – est-ce que la causalité est bien respectée, etc. – et à oublier qu'à la fin il doit chercher des solutions de ces théories et que ces solutions dépendent de conditions initiales sur lesquelles *a priori* on n'a aucune idée. Ce que l'on observe aujourd'hui est le résultat final d'une évolution cosmique. S'il est vrai que pour beaucoup de systèmes il

existe des mécanismes d'attracteur, offrant la possibilité d'avoir des conditions initiales très variées qui vont mener à un Univers observable très semblable, *a priori* rien ne nous dit qu'initialement on était suffisamment proches dans le bassin d'attraction.

Il y a donc une discussion sur les conditions initiales de l'Univers. On sait que c'est quelque chose d'important, puisque quand on fait nos prédictions cosmologiques, on utilise ce modèle d'inflation, dans lequel on a des conditions initiales aléatoires parce qu'héritées de phénomènes quantiques. Dans toutes les prédictions faites aujourd'hui, telles que pour les anisotropies de température du fond diffus cosmologique, on fait l'hypothèse d'une distribution de conditions initiales. On peut alors faire une moyenne d'ensemble pour savoir quelle est la valeur la plus probable des observations, et l'on sait même quelles sont les barres d'erreur théoriques sur la distribution de ces valeurs. Ensuite, le problème c'est que l'on ne peut faire qu'une seule mesure, car on n'a qu'un seul ciel observable. Donc la question posée est la suivante : "Comment comparer des théories quand on n'a qu'une seule observation ?" On ne peut pas "relancer" l'Univers plusieurs fois, comme on le ferait avec un dé. C'est là que l'hypothèse du multivers devient intéressante dans la discussion cosmologique, car elle introduit une collection d'univers auxquels on peut comparer le nôtre. Aujourd'hui ce qui m'intéresse beaucoup, mais ma réflexion n'est pas encore aboutie sur le sujet, c'est que l'on a d'un côté des théories de type "univers où tout serait

fixé”, et de l’autre des théories de type “multivers” plus ou moins larges. Comment compare-t-on ces deux approches ? Sur quelles bases en matière de théorie des probabilités ? Qu’est-ce qu’une probabilité ? Quels sont les principes que je dois ajouter ? Un certain nombre de principes ont été postulés, mais ce sont des “principes de foi” qui, d’une certaine façon, nous renseignent surtout sur ce que nous croyons être notre statut et notre place dans l’Univers, en tant qu’observateurs. »



LE DÉBAT SCIENTIFIQUE

L'espace du débat

Isabelle

L'hypothèse des *multivers*¹ ne constitue pas un nouveau cadre théorique ; elle semble découler naturellement de l'interprétation d'un ensemble de théories physiques élaborées dans le but de décrire le monde dans lequel nous vivons et les forces qui y sont à l'œuvre. Que ce soit à petite échelle, notamment avec la mécanique quantique et l'interprétation de la fonction d'onde ou encore en physique des particules avec la *théorie des cordes* – visant à unifier l'ensemble des quatre interactions physiques – ou à grande échelle, avec la cosmologie inflationnaire, chère au *modèle standard du big bang*, l'idée de multivers semble pouvoir se décliner :

– en univers parallèles existant tous en même temps et au même endroit (interprétation de Hugh Everett issue de la mécanique quantique) ;

1. Les mots en italiques sont définis dans un glossaire situé en annexe. Seule la première occurrence de ces mots figure en italiques. [Note de l'éditeur]

- en espace infini dans lequel existent d'autres univers au-delà de l'horizon cosmologique observable
- tous ces univers ayant les mêmes lois de la physique (modèle issu de la relativité générale) ;
- en une infinité d'univers extérieurs et intérieurs aux trous noirs (modèle également issu de la relativité générale) ;
- en un espace constitué d'un ensemble infini d'univers bulles (modèle issu de la théorie des cordes et de l'inflation éternelle) ;
- en univers se succédant les uns aux autres une infinité de fois dans le temps par « rebonds » (modèle issu de la gravitation quantique à boucles).

Bien que l'idée de mondes multiples existe depuis l'Antiquité, elle n'est entrée dans le champ de la science actuelle que depuis très peu de temps. C'est que l'hypothèse dérange... Plongés depuis un siècle dans une dynamique visant à unifier les interactions fondamentales au sein d'un Univers unique qui a de plus l'extraordinaire bon goût de disposer d'un ensemble de constantes fondamentales spécifiques, les seules qui puissent autoriser l'émergence de la complexité et de la vie (principe anthropique), de nombreux scientifiques sont plus que circonspects par rapport à cette hypothèse de multiplicité : les constantes pourraient être différentes d'un monde à l'autre, les lois elles-mêmes pourraient ne pas être identiques. Certains d'entre eux soulignent le caractère très spéculatif de cette hypothèse résultant de paradigmes eux aussi spéculatifs (inflation, trous noirs, théorie des cordes...), et il faut bien

l'avouer, il n'existe à ce jour aucune conséquence testable. D'autres vont encore plus loin : la démarche même ne serait pas scientifique. Intellectuellement séduisante certes, mais propre à nourrir le champ romanesque de la littérature de science-fiction...

Sans être un point de rupture, l'hypothèse du multivers d'une part interroge la science fondamentale, et d'autre part questionne la nature de la science et des critères de scientificité, imposant le recours à la philosophie et à l'épistémologie ; enfin, elle ouvre le champ à cette éternelle interrogation de l'origine des idées, donnant vie en littérature à tant de mondes *possibles* et peut-être en science à une infinité d'univers.

Aperçu historique

Retour aux sources

Isabelle

La première question pourrait être : « Pourquoi avoir besoin du multivers, si l'Univers est, par définition, tout ce qui existe ? »

Jean-Philippe

Tout d'abord, je pense qu'il ne faut jamais avoir peur de penser plus grand que ce que l'on connaît. L'homme a toujours décrit un Univers représentant ce qu'il était capable d'observer et de concevoir à une époque donnée. Au fil du temps, notre vision s'est élargie – de la planète Terre au Système solaire, puis à notre Galaxie... –, et l'on peut finalement penser, à chaque étape, que cette structure que nous appelons « Univers » n'est pas une structure finale mais plutôt un élément dans un ensemble plus grand. Parce que si l'on veut donner sens à cette structure, la seule façon

de le faire est de l'inclure dans quelque chose de plus large.

C'est une démarche intellectuelle tout à fait naturelle et qui permet de poser des questions sur la « naturalité » du système que l'on décrit (est-il commun ou bien très particulier dans l'ensemble des univers théoriques que l'on se permet d'imaginer ?), questions que l'on ne peut pas aborder avec un objet unique.

Aurélien

Il y a une *flèche du temps* dans cette démarche. Il y a eu une ère géocentrique, une ère héliocentrique, une ère que l'on pourrait appeler « galactocentrique » – même si elle n'était pas nommée comme telle –, une ère cosmocentrique et l'on va peut-être vers une ère d'acentrisme absolu. Cette dernière étape n'est pas neutre : elle résonne très intensément avec d'autres champs disciplinaires et impose une réflexion profonde sur le sens de notre science, sur ce que l'on attend de la physique. Ce qui souligne que l'idée parfois rencontrée selon laquelle l'hypothèse des multivers serait un retour à l'anthropocentrisme est plus que fausse : c'est un contresens absolu. L'évolution de ces conceptions cosmiques – jusqu'au multivers – va manifestement dans le sens de l'humilité : il s'agit de reconnaître un droit d'existence à ce qui n'est pas encore observé.

Jean-Philippe

Exactement, et pour faire un modèle de ces différentes structures, on va se baser sur les lois de la physique. Mais celles-ci ne sont pas suffisantes : il faut trouver les solutions des lois qui décrivent notre Univers, ce qui est plus ou moins facile. Historiquement, il y a eu pendant très longtemps un penchant presque aristotélicien à mettre l'homme au centre de l'Univers, au centre du Système solaire. Quand William Herschell fait la première carte de notre Galaxie – bien qu'il ne le formule pas comme ça –, il observe des étoiles et estime leur distance en fonction de leur luminosité, ce qui revient de façon pratique à mettre le Système solaire au centre de la Galaxie – c'est l'ère galactocentrique dont parlait Aurélien. Puis, d'autres modèles d'univers sont élaborés, car grâce aux travaux d'Edwin Hubble on comprend qu'il existe d'autres galaxies. À l'époque, dans les années 1920, c'est l'objet d'une grande controverse scientifique, « le Grand Débat », entre Harlow Shapley qui soutient que les nébuleuses spirales sont des nuages galactiques et Heber Curtis, pour qui ces nébuleuses sont des objets extra-galactiques, comme notre Galaxie, ce que prouvera finalement Hubble¹. Et finalement, on doit se poser la question de savoir si l'on peut décemment continuer à mettre notre Système solaire, ou même notre

1. Des références bibliographiques et les articles originaux liés à ce débat sont consultables à l'adresse suivante : antwrp.gsfc.nasa.gov/diamond_jubilee.

Galaxie, au centre de l'Univers ? À l'époque, il n'y a encore aucune preuve pour ou contre cette hypothèse. On va donc postuler que ce que l'on sait de la physique localement, et que l'on a déterminé et validé ici localement, est vrai globalement. Ce principe, dit *copernicien*, est une sorte de principe anti-aristotélien puisqu'il postule que nous ne sommes pas au centre de l'Univers : nous sommes quelconques et notre position dans l'univers n'a rien de particulier.

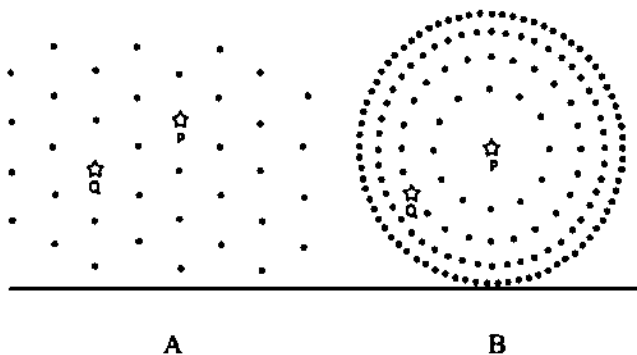
Aurélien

Tu sais que c'est à Emmanuel Kant que l'on doit l'intuition que certaines nébulosités observées sont en fait d'autres mondes, d'autres « univers-îles », ce que l'on nommerait aujourd'hui d'autres galaxies.

Jean-Philippe

Et avant Kant, Nicolas de Cues émettait en 1440, dans *De la docte ignorance*, l'hypothèse que la Terre n'occupait pas une position particulière dans l'Univers : « La machine du monde a pour ainsi dire son centre partout et sa circonférence nulle part. » Une telle idée sera reprise par exemple par Giordano Bruno : « L'Univers est une sphère infinie dont le centre est partout et la circonférence nulle part ¹ » (*De immenso*, 1591).

1. G. Bruno, « De l'infini, de l'univers et des mondes », *Œuvres complètes de Giordano Bruno*, vol. 4, Les Belles Lettres, 1995.



Principe copernicien

(A) Une distribution de points (de galaxies) spatialement homogène et isotrope. Les deux observateurs P et Q ont des positions équivalentes. Une telle distribution satisfait le principe copernicien.

(B) Une distribution de points ne satisfaisant pas le principe copernicien. En effet, l'observateur P observe un univers isotrope autour de lui, mais ce n'est pas le cas de tout autre observateur Q. Ainsi P occupe une position privilégiée géométriquement dans l'Univers. Dans ces deux exemples, P observe un univers isotrope autour de lui et il lui est difficile de choisir quel modèle d'univers adopter.

D'après P. Peter et J.-P. Uzan, *Cosmologie primordiale*, Belin, 2005.

Aurélien

En fait, il semble que la première occurrence du concept de mondes multiples soit apparue chez le penseur grec Anaximandre (610-546 av. J.-C.), même si la doxographie est très lacunaire et qu'il faut donc prendre tout cela avec beaucoup de précautions. Cet auteur est d'ailleurs intéressant parce que, justement, je pense qu'il invite à s'extraire de la mécanique bien huilée des schémas classiques. On aborde souvent les philosophes de l'Antiquité par une lecture hégélienne (évolutionniste) ou une lecture nietzschéenne (en matière de rupture). Mais on ne peut pas appliquer cela à Anaximandre. C'est fondamentalement quelqu'un qui oblige à démonter les topiques de l'exégèse habituelle. Il est le premier à utiliser la notion d'*arkhè*, c'est-à-dire de principe, dont il se sert pour fonder une multiplicité de mondes. Il suppose que des mondes apparaissent quand d'autres disparaissent et que ce mouvement est éternel « car sans mouvement, il ne peut y avoir ni génération ni destruction ». En ce qui concerne les sources, je pense aux lettres de Simplicius¹ et, pour ce qui est de la littérature secondaire, à un très bel article d'Ada Neschke² (philosophe allemande) intitulé « La question des mondes multiples

1. Simplicius, « Commentaire sur la physique d'Aristote » (1121, 5-9), in G. Colli, P. Gabellone, *La Sagesse grecque*, L'Éclat, 1991.

2. A. Neschke, « Philosophie ou Science : la question des mondes multiples chez Anaximandre », *Rech. philos. lang.*, 1996, n° 18, p. 189-200.

chez Anaximandre ». Bien sûr, on peut toujours rétrospectivement considérer qu'une autre solution était possible et critiquer la causalité proposée par l'auteur. Mais il n'en demeure pas moins que la solution d'Anaximandre est cohérente et élégante. Surtout si on ne cherche pas à l'enfermer dans la pure empirie. Elle est d'ailleurs très liée à la question de l'infini – qu'il n'est évidemment pas le seul à se poser. On la trouve, par exemple, également chez les atomistes : chez Démocrite et Épicure, il est explicitement proposé que non seulement les atomes mais aussi les mondes soient en nombre illimité !

Isabelle

Peut-on décrire en quelques mots ce à quoi ressemblent les différents mondes pensés par ces savants ?

Aurélien

Il n'y a pas de définition extrêmement rigide et systématique de ces choses-là. Nous sommes très dépendants de la manière de faire fonctionner et évoluer le concept de monde. Mais ce qui me semble important avec les atomistes grecs, pour notre problématique en tout cas, c'est qu'ils nous invitent à l'humilité. Nous les avons sans doute mal compris pendant des siècles. Si, en effet, on ne pense plus en termes de mécanique des solides, comme cela fut fait de façon récurrente, mais en termes de physique des fluides, on observe ici – avec l'introduction du *clinamen* ou *parenklisis*, c'est-à-dire la petite déviation aléatoire – les embryons