

Dernières nouvelles du cosmos

Hubert Reeves

Dernières nouvelles du cosmos

Ce livre résulte de la fusion en un seul ouvrage
de *Dernières nouvelles du cosmos* (1994) et *La Première Seconde* (1995).
Allégé de sa partie la plus technique, le texte a été entièrement
réactualisé à l'occasion de cette nouvelle édition.

Éditions du Seuil

ISBN 978-2-75-783773-3

Dernières nouvelles du cosmos

ISBN édition brochée : 2-02-020571-8

ISBN édition reliée : 2-02-022831-9

ISBN poche 1^{re} publication : 2-02-036495-6

La Première Seconde

ISBN édition brochée : 2-02-022588-3

ISBN édition reliée : 2-02-026012-3

ISBN poche 1^{re} publication : 2-02-038196-6

© Éditions du Seuil, 1994, 1995
et octobre 2002 pour la présente édition.

Le Code de la propriété intellectuelle interdit les copies ou reproductions destinées à une utilisation collective. Toute représentation ou reproduction intégrale ou partielle faite par quelque procédé que ce soit, sans le consentement de l'auteur ou de ses ayants cause, est illicite et constitue une contrefaçon sanctionnée par les articles L. 335-2 et suivants du Code de la propriété intellectuelle.

www.seuil.com

Table

Préface	9
1. La quête des origines	13
2. Cosmologies religieuses et cosmologies scientifiques	21
3. Explorateurs, préhistoriens et détectives	31
4. Les malaises de l'univers statique	43

PREMIÈRE SECTION : VERS LA PREMIÈRE SECONDE

<i>Introduction</i>	53
5. La fuite des galaxies	55
6. La plus vieille image du monde	89
7. Particules et forces dans l'univers	111
8. L'origine des éléments légers	125
9. Le problème de l'origine des galaxies	143
10. Les propriétés du cosmos primordial	153

DEUXIÈME SECTION : LA PREMIÈRE SECONDE

<i>Introduction</i>	171
11. La première seconde	173
12. Où est passée l'antimatière ?	183
13. Le monde des quarks	197
14. Unifications des forces	213
15. L'énigme de la constante cosmologique	233

16. L'ère de Planck	241
17. Inflation cosmologique	255
18. Les défauts des champs scalaires	269
19. L'astronomie des ondes gravitationnelles	279
20. Cosmos et complexité : le principe anthropique	289
Annexes	297
<i>Notes</i>	299
<i>Lexique</i>	313

Préface

Si j'entreprends de remettre à jour les manuscrits de mes deux livres *Dernières nouvelles du cosmos* et *La Première Seconde*, ce n'est pas seulement dans le souci de présenter aux lecteurs les toutes dernières nouvelles, version 2002, et des informations tout à fait à jour. C'est aussi et surtout pour décrire le véritable bouleversement qui a eu lieu ces dernières années dans le domaine de la cosmologie.

En peu de mots on peut dire ceci : l'univers nous paraît aujourd'hui beaucoup, beaucoup plus étrange qu'il ne nous semblait l'être il y a une dizaine d'années.

La cosmologie vivait depuis quelques décennies une période relativement confortable. On avait l'impression de comprendre, au moins dans ses grandes lignes, l'évolution de l'univers depuis le Big Bang*. À partir de l'abondante moisson de résultats apportés par les grandes campagnes d'observations, on déchiffrait de mieux en mieux les modalités de la structuration de la matière au cours des milliards d'années passées.

Bien sûr les interrogations étaient encore nombreuses. Il y avait, en particulier, ces problèmes de « masses sombres » de nature totalement mystérieuse, dont on savait déjà qu'elles avaient plusieurs composantes.

De l'expansion de l'univers on prévoyait que, par l'effet de l'attraction mutuelle des galaxies, elle allait se poursuivre en se ralentissant, sans pourtant jamais freiner complètement, sans jamais s'inverser en une contraction accompagnée d'un réchauffement. Pas de scénario apocalyptique prévu, donc, pas de « Big Crunch » annoncé.

La nouvelle la plus extraordinaire de ces dernières années, celle qui a ébranlé nos prévisions, fut la découverte d'une nouvelle composante du cosmos, à laquelle on a donné le nom d'« énergie sombre ». Contrairement aux composantes déjà connues (lumineuses ou sombres) qui exercent dans le cosmos un effet attractif (attraction gravitationnelle), cette composante exerce un effet répulsif (répulsion gravitationnelle). C'est cette découverte qui remet en cause nos prédictions sur le futur de l'univers. En ce sens, l'avenir du cosmos est maintenant marqué d'un grand point d'interrogation.

Cette découverte, empressons-nous de l'ajouter, ne remet nullement en cause les éléments essentiels de la théorie du Big Bang, dont plusieurs observations récentes ont encore affirmé la crédibilité. Simplement, l'histoire de l'univers semble plus compliquée que prévu. Mais ne fallait-il pas s'y attendre ?

Message aux enseignants

L'enseignement scolaire et universitaire ne s'intéresse trop souvent qu'à l'aspect formel des sciences. On lui reproche d'en ignorer l'histoire, de négliger les implications philosophiques des connaissances scientifiques. De ne pas chercher à les intégrer dans la réalité du monde, de la vie et du moi. De ne pas promouvoir la réflexion sur leur impact sociologique. En un mot, de les avoir coupées de la culture.

Les enseignants des lycées et collèges se plaignent généralement du manque d'intérêt des jeunes pour les sciences. Comment faire, demandent-ils, pour les motiver ?

Il suffit souvent de leur montrer que les sciences leur parlent d'eux-mêmes. Que, dans le cadre de la cosmologie, la physique, la chimie, la biochimie, la biologie sont autant de chapitres de l'histoire du cosmos. Que cette histoire raconte, entre autres, les événements qui, après quinze milliards d'années d'évolution, sont responsables de leur propre venue au monde. Que leur histoire s'insère dans un cosmos qui s'étend sur une quinzaine de milliards d'années-lumière et dans lequel des collisions de galaxies, des explosions d'étoiles et des chocs

d'astéroïdes ont joué des rôles fondamentaux. Que le cerveau avec lequel ils prennent conscience de leur existence est fait d'atomes formés à l'intérieur d'étoiles depuis longtemps défuntes. Ces informations, établies sur des connaissances scientifiques rigoureuses, sont souvent de nature à éveiller une grande passion pour la science et la recherche.

Les pierres d'achoppement

Je présente souvent, en cours ou en conférences, les données nouvelles de la cosmologie. Les questions des auditeurs sont révélatrices des pierres d'achoppement qui jalonnent le parcours de cet enseignement. J'ai répertorié un certain nombre de passages délicats où les risques de confusion sont élevés. Cette expérience, accumulée au long des années, me permet de prévoir les difficultés et d'aller au-devant d'elles. Elle m'a beaucoup servi dans la rédaction de ce livre. Je m'attarde quelquefois longuement sur des points qui paraîtront évidents au lecteur averti.

De nombreux obstacles se situent plus au niveau de l'imagination que de l'intellect. « Dans quoi l'univers s'étend-il ? » ; « Où en est le centre ? » ; « Comment un univers infini pourrait-il être en expansion ? » ; « Qu'est-ce qu'il y avait avant ? »

Il est normal que, dans un domaine aussi éloigné de notre monde habituel, l'imagination ne soit pas toujours à l'aise. Elle doit s'adapter à de nouvelles échelles, à des notions géométriques différentes. Elle doit se créer de nouvelles familiarités. Avec le temps, bon nombre de difficultés finissent par s'aplanir. Mais pas toutes...

Le champ de l'intellect est plus vaste que celui de l'imagination. On peut comprendre ce qu'on ne peut imaginer. La courbure de l'espace-temps à quatre dimensions n'est pas « imaginable » mais elle ne pose aucun problème conceptuel. Les calculs s'y font aussi sûrement qu'en géométrie euclidienne de nos bancs d'école.

La quête des origines

Pourquoi le mot « origine » nous fascine-t-il tellement ? Quelle corde fait-il vibrer ? D'où lui vient l'attrait qu'il exerce sur nous ? Comment expliquer l'affluence aux colloques sur les origines ?

Ce mot plonge des racines profondes dans notre tissu psychique. Il nous parle de nous. Il atteint cette région opaque du passé d'où nous avons émergé. Il touche aussi, nous disent les psychanalystes, à l'espoir d'exorciser la mort. Comme si « savoir d'où nous venons » pouvait nous apprendre « où nous allons ». Que cet espoir soit perçu comme illusoire ou non ne change rien à l'affaire. L'intellect ici n'est pas seul en jeu !

Aux êtres humains, la nature a donné la conscience, qui s'éveille lentement chez l'enfant. Qui peut retracer, dans sa mémoire, les premiers éclairs de sa lucidité ? La première prise de conscience du moi, du monde, de la naissance et de la mort ? Comment la quête anxieuse des origines plante-t-elle progressivement ses assises ?

Qu'en est-il de nos ancêtres préhistoriques ? À quel moment la conscience apparaît-elle dans l'évolution biologique ? Sous quelle forme embryonnaire la question du moi et de son devenir se manifeste-t-elle dans le monde animal ?

Autant de questions auxquelles il serait bien difficile d'apporter des réponses. Pourtant les étapes de cette ascension jusqu'à « l'angoisse de l'homme moderne face à son destin » ne nous sont pas complètement inaccessibles. Nous ne manquons pas de témoignages. Les innombrables récits d'origine, répertoriés par les anthropologues, nous le prouvent, ces interrogations ont toujours préoccupé les êtres humains. Toutes les sociétés, grandes ou petites, perdues sur un îlot rocheux ou

isolées dans un désert inhospitalier, ont une « histoire du monde ». La variété et la richesse de ces récits sont époustouflantes. Leurs origines sont à jamais perdues. Il n'en reste que la mémoire collective, transmise oralement de génération en génération.

La source de cette activité créatrice n'est pas tarie. Se relier à son passé, trouver ses racines sont des phases importantes de l'élaboration du moi, disent encore les psychanalystes. Ce besoin est particulièrement ressenti par les êtres fragiles. Les asiles psychiatriques sont des hauts lieux de la cosmologie. J'en ai la preuve par les épais manuscrits émaillés d'équations compliquées qui m'arrivent par courrier... (Faut-il en conclure que les cosmologistes sont tous fragiles et un peu fous ?)

« Chaque époque a toujours su trouver le moyen d'expliquer, à défaut de comprendre. » Cette phrase, qui serait d'Oscar Wilde, nous invite à la prudence. Nous sourions avec condescendance à l'écoute des cosmologies traditionnelles et nous nous apitoyons devant celles des paranoïaques. Mais qu'en est-il de notre cosmologie scientifique ? Est-elle vraiment plus crédible ? Jusqu'à quel point sommes-nous, à notre tour, obnubilés par notre « besoin de comprendre » ?

Un gros morceau à avaler

Reconnaissons d'emblée que le Big Bang est une théorie bien étrange. Un « gros morceau à avaler », qui se présente à nous avec des airs de mythologie archaïque. Un récit d'origine comme on en trouve dans tant de cultures. Comment prendre ce conte de fées au sérieux ?

Mon but, dans ce livre, est d'établir un bilan de la situation telle qu'elle se présente en 2002. J'énoncerai d'abord les arguments en faveur de cette théorie ; les raisons pour lesquelles, malgré son allure fantasmagorique, elle est prise au sérieux par la grande majorité des astrophysiciens et physiciens contemporains.

Plus une théorie est extravagante et plus elle s'éloigne des sentiers battus, plus il convient d'être exigeant à son égard.

Expliquer simplement un ensemble de faits observables est un minimum requis. Mais le vrai test de la crédibilité est la prédiction réussie de faits non encore soumis à l'observation. Une bonne théorie va au-delà des explications satisfaisantes. Elle « se mouille ». Elle dit, dans son langage : « Si j'ai raison, alors je peux prévoir le résultat de telle ou telle expérimentation. » Dans les premiers chapitres de ce livre, je relate en détail les prédictions vérifiées de la théorie du Big Bang. Le bilan est assez impressionnant...

De cette théorie, je présenterai aussi les difficultés, les points faibles et les crises dont on a beaucoup parlé récemment. À plusieurs reprises, des rumeurs ont circulé selon lesquelles la théorie serait « morte », et à mettre dans le « cimetière des théories défuntées ». J'essaierai de montrer pourquoi ce verdict est pour le moins prématuré. Comme toute théorie scientifique, le Big Bang n'est pas un discours terminé et définitif. Les vérités statiques et éternelles ne sont pas du domaine de la science. Il s'agit d'un modèle en élaboration qui progresse lentement au travers de ses succès et de ses tâtonnements.

Je m'attarderai sur certaines énigmes particulièrement difficiles mais potentiellement fructueuses. Leurs solutions pourraient bouleverser nos idées présentes et relancer la cosmologie sur des voies nouvelles. La physique elle-même pourrait y trouver son profit.

En résumé, j'essaierai de circonscrire les domaines de crédibilité de la cosmologie contemporaine, d'identifier ce qui semble solidement établi, ce qui l'est moins et ce qui est encore largement spéculatif. Je tenterai de montrer ce que recouvre – et ne recouvre pas – le scénario du Big Bang. Ce que la science peut dire – et ne peut pas dire – sur le passé lointain du cosmos.

Une ascèse indispensable

L'histoire des sciences regorge d'exemples instructifs où les passions ont retardé le développement des connaissances. Il est difficile aujourd'hui de comprendre les résistances his-

toriques du monde scientifique face à certaines idées nouvelles. Par exemple l'acharnement, au début du xx^e siècle, à refuser l'idée que l'Afrique ait pu dans le passé être « collée » à l'Amérique. Aujourd'hui cette hypothèse est devenue une évidence pour tous. Elle s'intègre dans une théorie savamment appelée la « tectonique des plaques continentales ». Et l'on se demande pourquoi Anton Wegener, son auteur, fut tourné en ridicule.

Plus que toute autre, les théories d'origine sont traditionnellement litigieuses. Elles ont souvent des implications sociales à longue portée. Ce qu'on sait (ou croit savoir...) des origines (du monde, de la vie, de l'humanité) influence les attitudes et les comportements. Les débats deviennent passionnés et les prises de position se radicalisent. On connaît le procès de Galilée et les tensions qui ont accueilli les idées de Darwin à la fin du siècle dernier. Les goûts et tendances personnels altèrent parfois les jugements au point de provoquer des résistances durables, voire des rejets inconditionnels.

« Chacun voit midi à sa porte », dit le proverbe. Mon courrier me le confirme abondamment. Un lecteur m'écrit : « L'histoire du cosmos, telle que vous la racontez dans *Patience dans l'azur*, prouve l'existence de Dieu. Pourquoi ne pas le reconnaître ? » Un militant d'une ligue pour la défense de l'athéisme me demande la permission de citer tel passage qui lui apparaît « comme un argument massue contre l'existence de Dieu ». Un journal maoïste se réjouit du soutien que mes livres apportent à la dialectique matérialiste, me reprochant seulement de ne pas citer Marx, Lénine et Mao ! Selon le regard qu'on y porte, les mêmes textes peuvent s'interpréter de façons fort différentes !

Face aux menaces que les sensibilités, les goûts et les émotivités de chacun font peser sur l'issue des enjeux d'origine (de l'univers, de la vie, etc.), le scientifique doit chercher à développer sa propre lucidité. Se questionner sur son attitude face à ses recherches. Veiller à ce que ses choix idéologiques ou politiques n'influencent pas ses jugements.

Pourquoi défend-il si volontiers telle hypothèse plutôt que telle autre ? Pourquoi tel point de vue lui est-il si désagréable ? Pourquoi répugne-t-il à reconnaître qu'untel pourrait avoir raison ? Atteindre la sérénité que réclame l'objectivité exige sou-

vent une véritable ascèse. « Par une douce torture, la psychanalyse doit faire avouer au savant ses mobiles inavouables », écrit fort justement Gaston Bachelard dans *La Psychanalyse du feu*.

Mythologiser

La tentation de « mythologiser » est toujours présente chez les êtres humains. Il est naturel de chercher à faire coller les schémas traditionnels de la pensée mythique aux nouvelles connaissances issues des recherches scientifiques. « Les idées anciennes traversent les âges, dit encore Bachelard, elles reviennent toujours dans les rêveries plus ou moins savantes avec leur charge de naïveté première. »

Les succès accumulés de la théorie du Big Bang ont amené dans son sillage l'idée que l'astrophysique contemporaine aurait quelque chose à dire sur l'origine ou le début du cosmos. Nous aurions maintenant identifié la « création du monde ». Cette création aurait eu lieu au temps « zéro » de l'horloge cosmique, sur laquelle nous lisons l'âge de l'univers : quinze milliards d'années. Le pape Pie XII n'a pas hésité à identifier cet événement avec le « Fiat lux ! » biblique.

On comprend facilement comment l'imagination toujours galopante a pu associer une théorie physique à un mythe intemporel et par là séduisant (ou peut-être vaudrait-il mieux dire : séduisant et par là intemporel). Le physicien se doit de jeter sur la question un regard impartial, empreint d'une rigueur sans complaisance essentielle à l'efficacité de la démarche scientifique. Que reste-t-il de cette mythologie et de ces prétentions métaphysiques quand le sens critique est passé par là ? Sommes-nous autorisés à garder dans notre langage des expressions comme « naissance de l'univers » ou « premiers instants de l'univers » ? Par quoi faut-il les remplacer ? Quels termes préserveraient l'essence de nouvelles connaissances sans y associer des éléments d'origine douteuse ? Les acquis de la science doivent être dégagés de leur gangue mythologique ou idéologique.

Le mot « création » est particulièrement visé ici. Au sens littéral du terme, « créer » veut dire « faire sortir quelque chose de rien ». Par exemple : un univers. Expliquer la création du cosmos voudrait dire : savoir comment il est « sorti » du « néant ». La science ne manque pas de pouvoirs explicatifs. Mais on explique toujours « quelque chose » par « autre chose ». Pourquoi *ceci* ? Parce que *cela*. Cette réponse, à son tour, entraîne une nouvelle question : pourquoi *cela* ? Résultat : une séquence de « pourquoi emboîtés » toujours passibles d'une nouvelle interrogation. Pourquoi les pommes tombent-elles ? Parce que la Terre les attire (Newton). Mais pourquoi la Terre les attire-t-elle ? Parce que sa masse courbe l'espace environnant (Einstein). Mais pourquoi ? Etc.

Prétendre posséder une théorie de la création signifierait pouvoir relier *quelque chose* (l'univers) à *rien*. Un tel exploit n'est pas dans les cordes de la démarche scientifique. Le mot « création » recouvre une réalité mystérieuse et fascinante. Les interrogations que ce mot suscite se situent au niveau métaphysique. Elles sont étrangères à la science. Contrairement à une opinion répandue, nous n'avons pas expliqué la création de l'univers. Nos prétentions sont beaucoup plus modestes.

Génération spontanée

Puisque nous sommes sur un terrain philosophique, profitons-en pour explorer d'autres aspects du problème de la création.

Les métaphysiciens distinguent soigneusement deux sens au mot « création ». Il peut s'agir d'une *action située à un moment précis du temps* : le temps zéro de l'univers. Il peut également s'agir d'un *acte intemporel* situé « au-dessus du temps », qui « garderait le monde dans l'existence » (pour employer la terminologie de saint Thomas d'Aquin). Ce second sens s'appliquerait aussi bien à un univers qui aurait eu un début (univers historique) qu'à un univers qui existerait depuis un temps infini dans le passé et pour un temps infini dans l'avenir (univers éternel).

Cette distinction peut éclairer certains chapitres récents de la cosmologie contemporaine. Plusieurs auteurs ont publié des « recettes d'univers ». Comment faire émerger des mondes multiples à partir de rien ? Bien que largement spéculatives, ces idées sont fondées sur une physique correcte et ne manquent pas d'intérêt. Peut-être ont-elles joué un rôle dans la naissance du seul cosmos que nous connaissions : le nôtre.

Pourtant une remarque s'impose. Ces recettes dépendent essentiellement de l'existence préalable des lois de la physique telles que les expériences de laboratoire nous ont permis de les formuler. Elles impliquent que ces lois « existent » avant et « au-dessus » de ces univers. On pense ici aux « idées » de Platon qui sous-tendent l'apparence des êtres réels.

Dans ce contexte, la question métaphysique de Leibniz « Pourquoi y a-t-il quelque chose plutôt que rien ? » se ramènerait à la question « Pourquoi y a-t-il des lois plutôt que pas de lois ? ». Le problème de la création serait alors celui de l'origine intemporelle des lois qui régissent le cosmos et qui lui auraient « permis » d'apparaître il y a quinze milliards d'années. Sur cette origine, nous sommes dans l'ignorance la plus totale.

Cosmologies religieuses et cosmologies scientifiques

Le monde fut-il constitué en sept jours comme l'enseigne la Bible ou en quinze milliards d'années comme le prétend la théorie du Big Bang ? Cette question, souvent posée, va nous servir à délimiter les territoires propres des cosmologies religieuses et scientifiques.

Aux théologiens qui refusaient, pour des motifs bibliques, la rotation de la Terre, Galilée répondait : « Contentez-vous de nous dire “comment on va au ciel” et laissez-nous le soin de dire “comment va le ciel”. »

En termes plus contemporains, on dirait que la morale (religieuse, philosophique) est le domaine du « comment vivre dans le monde » tandis que la science est le domaine du « comment fonctionne le monde ». Quand les territoires sont bien balisés, les risques d'intrusion territoriale sont minimes.

Il est un domaine pourtant où les territoires semblent se joindre : celui du « d'où vient le ciel (le monde)? ». Dans les sociétés traditionnelles, les « histoires saintes » racontent le passé pour donner du sens au présent. Elles montrent l'intégration de la personne dans le cosmos. Elles donnent à chacun le sens de sa vie et définissent ses devoirs, « pour la bonne marche du monde ». Elles servent à fonder les objectifs de la société et la législation qu'elle se donne.

Jetons un coup d'œil rapide sur le répertoire ethnologique des cosmologies traditionnelles pour en dégager quelques grandes lignes. Cette rétrospective nous aidera à identifier les composantes mythologiques de notre imagerie moderne.

Cosmologies de création

L'idée que le monde n'a pas toujours existé s'y retrouve fréquemment. Le monde a été « créé ». Son état initial est sans forme. L'ordre y apparaît suite à l'intervention d'un élément organisateur qui le structure. Cet événement historique est fondateur de la « sagesse » d'une société, telle que l'exprime sa « vision du monde ». Les hommes doivent obéir aux lois pour empêcher le retour du chaos initial. Le récit mythologique est gardien de l'ordre.

« Au commencement était... » Le cosmos apparaît dans un passé lointain. Son début se raconte comme un conte. Il surgit du « néant ». Mais comment décrire le néant ? Une méthode traditionnelle consiste à accumuler les négations.

Dans la tradition indienne des Upanishad, on dit brièvement : « Au début l'univers n'existait pas. Il en vint à exister. » D'autres traditions insistent : « Il n'y avait ni Soleil, ni Lune, ni terrain, ni montagne ; tout était confusion », dit un texte polynésien. « Il n'y avait ni homme, ni bête, ni poule, ni chien, ni être vivant. Il n'y avait ni océan, ni eau douce. » Dans un récit égyptien, on affirme que « le ciel n'existait pas, la Terre n'existait pas. Les hommes non plus. Les dieux n'étaient pas nés. Il n'y avait pas la mort ».

Le chaos initial implique une absence de formes et de structures. Il se présente parfois comme une vaste étendue aquatique plongée dans l'obscurité profonde. L'eau est le prototype de la substance informe.

« L'univers était dans l'obscurité, avec de l'eau partout, sans aurore, sans clarté, sans lumière », dit un texte maori (Nouvelle-Zélande). Selon les Rig Veda (Indes) : « Il y avait au début l'obscurité. Tout était en eau. » Et selon le Popol Vuh (maya) : « Au début tout était calme, silencieux, et immobile. Rien n'existait sauf le ciel vide et la mer calme dans la nuit profonde. »

Voici maintenant une version huronne (Canada) : « Au début il n'y avait que l'eau : un vaste océan. » « À l'origine il n'y avait pas d'étoiles, pas de Lune, pas de Soleil. Tout était noir et partout il n'y avait que de l'eau », dit une légende maidu.