

Jacques Paul

Jean-Luc Robert-Esil

Le  
Beau Livre  
de l'Univers

Du Big Bang au Big Crunch

DUNOD

Toutes les marques citées dans cet ouvrage sont  
des marques déposées par leurs propriétaires respectifs.

Illustration de couverture :  
Observatoire Griffith de Los Angeles,  
© Welcomia-Dreamstime.com  
Maquette de couverture d'après Elizabeth Mihaltse

© Dunod, 2011, 2013, 2016 pour cette nouvelle édition  
11, rue Paul Bert, 92240 Malakoff  
ISBN 978-2-10-074732-0

Le Code de la propriété intellectuelle n'autorisant, aux termes de l'article L. 122-5, 2° et 3° a), d'une part, que les « copies ou reproductions strictement réservées à l'usage privé du copiste et non destinées à une utilisation collective » et, d'autre part, que les analyses et les courtes citations dans un but d'exemple et d'illustration, « toute représentation ou reproduction intégrale ou partielle faite sans le consentement de l'auteur ou de ses ayants droit ou ayants cause est illicite » (art. L. 122-4).

Cette représentation ou reproduction, par quelque procédé que ce soit, constituerait donc une contrefaçon sanctionnée par les articles L. 335-2 et suivants du Code de la propriété intellectuelle.

# Sommaire

Multivers **12**

## ÈRES PREMIÈRES DE L'UNIVERS

Big Bang **14**

Paradoxe d'Olbers **16**

Gravitation quantique **18**

Ère de Planck **20**

Inflation **22**

Particules noires **24**

Soupe primordiale **26**

Matière baryonique **28**

Hélium **30**

Deutérium **32**

Fond cosmologique **34**

Âges sombres **36**

Grandes structures **38**

Premières étoiles **40**

Étoile fossile **42**

Sursaut gamma **44**

Lointaine galaxie **46**

Premiers amas de galaxies **48**

Formation de Messier 13 **50**

Un univers de galaxies **52**

Température de l'Univers jeune **54**

Pic de formation d'étoiles **56**

Constantes fondamentales **58**

Disque galactique **60**

Voie lactée **62**

Univers-îles **64**

Sursaut à l'œil nu **66**

Laniakea, le superamas local **68**

Collision dans

le Groupe local **70**

Énergie sombre **72**

## AVÈNEMENT DU SYSTÈME SOLAIRE

Naissance du Soleil **74**

Énergie nucléaire **76**

Formation des planètes **78**

Ceinture d'astéroïdes **80**

Lune **82**

Anneaux de Saturne **84**

Nuage d'Oort **86**

Grand Bombardement **88**

Triton **90**

Olympus Mons **92**

Ceinture d'Edgeworth-Kuiper **94**

Apparition de la vie **96**

Matière invisible **98**

Grande Oxygénation **100**

Amas de galaxies **12**

Réacteur nucléaire naturel **14**

Terre boule de neige **16**

Grande Ourse **18**

Masse manquante **20**

Populations stellaires **22**

Trous noirs en couple **24**

La plongée de M32 **26**

Particules extrêmes **28**

Expansion universelle **30**

Choc d'astéroïdes **32**  
Éruption volcanique sur Mars **34**  
Amas d'étoiles bleues **36**  
Impact sur la Lune **38**

## UNIVERS AU PRÉSENT

Impact sur la Terre **40**  
Une flambée d'étoiles s'éteint **42**  
Rayons cosmiques **44**  
Galaxie à noyau actif **46**  
Comète de Halley **48**  
Naine Brune **50**  
Trou noir cannibale **52**  
On marche sur la Terre **54**  
Course folle d'un pulsar **56**  
Neutrinos **58**  
Onde de choc **60**  
Magnétar **62**  
Impact au Pléistocène **64**  
Plus vite que la lumière ? **66**  
Antimatière **68**  
Trou noir ultra massif **70**  
Pré-supernova **72**  
Binaire à trou noir **74**  
Éta de la Carène en éruption **76**  
Supernova **78**  
Pulsar **80**  
Nébuleuse de la Lagune **82**

## TEMPS HISTORIQUES

Calendriers **84**  
Stonehenge **86**  
Disque de Phaistos **88**  
Astronomie égyptienne **90**

Archivage des observations **92**  
Bâton de Jacob **94**  
Théorème de Thalès **96**  
Anaximandre et le modèle  
du monde **98**  
Harmonie des sphères **100**  
Cosmologie bouddhiste **102**  
Atomisme d'Anaxagore **104**  
Héliocentrisme **106**  
Académie **198**  
Traité du ciel d'Aristote **200**  
Distances de la Lune  
et du Soleil **202**  
Ératosthène mesure la Terre **204**  
Théorie des éclipses **206**  
Précession des équinoxes **208**  
Astrolabe **210**  
Machine d'Anticythère **212**  
La Comète de César **214**  
L'Almageste de Ptolémée **216**  
Mort d'Hypatie **218**  
Catalogue stellaire chinois **220**  
Constellations **222**  
Calendrier maya **224**  
Astronomie islamique **226**  
Étoile nouvelle **228**  
Tapisserie de Bayeux **230**  
Adoration des Mages **232**  
Vers l'infini **234**  
Perspective à l'italienne **236**

## TEMPS MODERNES

Révolution copernicienne **238**  
Uraniborg **240**  
Calendrier grégorien **242**

Univers infini **244**  
Lunette de Galilée **246**  
La nouvelle astronomie  
de Kepler **248**  
Nébuleuse d'Orion **250**  
Taches solaires **252**  
Cogito, ergo sum **254**  
Cyclone jovien **256**  
Astronomie d'État **258**  
Les savants  
du Grand Siècle **260**  
Pensées de Pascal **262**  
Traité d'optique de Newton **264**  
Télescope **266**  
Observatoire de Greenwich **268**  
Célérité de la lumière **270**  
Pluralité des mondes **272**  
Rationalisme **274**  
Observatoire astrologique **276**  
Invention du sextant **278**  
Gravitation **280**  
Loi de Titius-Bode **282**  
Points d'équilibre **284**  
Prix de la longitude **286**  
Conquête du ciel **288**  
Astres obscurs **290**  
Méridien de Paris **292**  
Mécanique céleste **294**  
Tempête solaire **296**  
De la Terre à la Lune **298**  
Astrophysique **300**  
Canaux de Mars **302**  
Astronomie amateur **304**  
Guerre des mondes **306**  
Astronautique **308**

## ÉVÈNEMENTS CONTEMPORAINS

$E = mc^2$  **310**  
Toungouska **312**  
Échelle de distance **314**  
Rayon limite **316**  
Le Grand Débat **318**  
Compton contre Millikan **320**  
Conquête de l'espace **322**  
Programme SETI **324**  
Vol habité **326**  
Parasites cosmologiques **328**  
Science-fiction **330**  
Trou noir **332**  
Découverte des pulsars **334**  
On marche sur la Lune **336**  
Premier survol d'une comète **338**  
Télescope spatial **340**  
Radiosource superluminique **342**  
Première détection  
d'une exoplanète **344**  
Multi-longueurs d'onde **346**  
Anomalie Pioneer **348**  
Astroparticule **350**  
Pavane pour une planète déchue **352**  
Philae se pose sur Tchouri **354**  
De l'eau coule sur Mars **356**  
Une nouvelle fenêtre s'ouvre  
sur l'Univers **358**

## FUTURS POSSIBLES

Voyager 2 dans le milieu  
interstellaire **360**  
Apophis frôle la Terre **362**

Détecter les ondes gravitationnelles  
dans l'espace **364**  
Vie extraterrestre **366**  
Mission vers Mars **368**  
Ascenseur spatial **370**  
La panne du millénaire **372**  
Étoile du Nord **374**  
Message livré ? **376**  
Voyager 2, ambassadeur  
de l'humanité **378**  
Forces de marée **380**  
Fin du Kali Yuga **382**  
Colonisation de la Galaxie **384**  
Coalescence d'étoiles à neutrons **386**  
Dernière éclipse totale **388**  
Fin de la vie sur Terre **390**  
Collision avec M31 **392**

Géant rouge **394**  
Fin du Soleil **396**  
Big Rip **398**  
Big Crunch **400**  
Fusion du Groupe Local **402**  
Le ciel se vide **404**  
Dernières étoiles **406**  
Désintégration  
des protons **408**  
Évaporation des derniers  
trous noirs **410**

Bibliographie **412**  
Index **415**  
Crédits des illustrations **419**

# Avant-propos

Nous, pauvres humains, sommes comme un nourrisson perdu dans un berceau beaucoup trop grand, et qui s'endormirait recroquevillé dans un coin du lit à la recherche du contact rassurant des bornes de son petit monde. Tout comme cet enfant, nous n'avons de cesse que d'effleurer les limites de l'Univers ! C'est bien pourquoi l'astronomie est beaucoup plus qu'une science : c'est notre lien génétique avec l'Univers, cette entité d'où provient toutes choses, jusqu'à notre substance même. Un jour, nous devrons y replonger, lorsqu'un Soleil trop brûlant aura rendu inhabitable notre petite planète.

Depuis que nous avons conscience de nous-mêmes et du monde, nos regards sont tournés vers le ciel. Et voici qu'il y a cinquante ans, le vieux rêve d'Icare est devenu réalité quand un jeune pilote de l'armée de l'air soviétique atteignit l'espace à bord d'un vaisseau spatial rudimentaire. Mais pour approcher le ciel d'encore plus près, c'est à l'astronomie qu'il faut s'en remettre. À son service, des yeux électroniques scrutent le ciel avec un formidable pouvoir de perception, si bien que l'Univers est devenu, comme le disait Fontenelle : « un grand spectacle qui ressemble à celui de l'opéra ».

C'est cette joie de faire connaître ce patrimoine incomparable qui nous a incités à rédiger Le Beau Livre de l'Univers. Notre ouvrage aurait pu tout aussi bien s'appeler Le Livre du bel Univers, tant les observations astronomiques nous fournissent désormais des images à couper le souffle, au point qu'on se demande parfois quel artiste contemporain pourrait en être l'auteur ! Mais au-delà de la beauté des images, il s'agissait aussi de rendre hommage à toutes ces femmes et tous ces hommes habités par la même passion et la même fascination pour ce spectacle incomparable que nous offre le ciel. C'est grâce à tous ces visionnaires, savants comme artistes, que nous discernons maintenant les *Deus ex machina* qui œuvrent en coulisse...

Depuis la première édition de cet ouvrage, notre connaissance de l'Univers s'est encore élargie. Nous proposons dans cette nouvelle édition actualisée de balayer l'histoire de l'Univers au fil de deux cents entrées classées suivant un ordre chronologique, de son début attesté (le Big Bang), jusqu'à ses fins possibles. Vous pourrez ainsi découvrir de nouvelles images captées par les observatoires astronomiques qui scrutent désormais tout l'Univers, des portraits de savants qui ont tenté d'en démêler les nœuds, ou encore des œuvres d'artistes qui l'ont révélé... Notre ambition est de broser un portrait pointilliste qui vous révélera au fil des découvertes les plus grands mystères de l'Univers.

Pour identifier chaque entrée, nous avons adopté une double chronologie : nous mentionnons en bas à gauche la date de l'événement dans un calendrier dont l'origine est le Big Bang ; en bas à droite, la date dans notre calendrier usuel, celle des événements survenus avant notre ère étant notée négativement. Mais attention ! En posant que la lumière se déplace toujours à la même vitesse universelle, Einstein a fait perdre au temps le caractère absolu que lui assignaient les savants du xix<sup>e</sup> siècle et limite la notion de simultanéité aux seuls événements repérés dans un même référentiel. La chronologie que nous avons adoptée ne convient donc qu'aux seuls terriens et ne doit pas accréditer l'idée d'un temps absolu. Si d'aventure notre ouvrage était édité ailleurs dans l'Univers, il faudrait adopter une autre chronologie...

Certains des événements que nous relatons ont été sélectionnés en raison de leur caractère universel, tels ceux se déroulant au tout début de l'Univers ou au cours de ses fins possibles. D'autres tiennent plus à notre situation particulière au sein du système solaire, de la formation de notre étoile à sa fin programmée. Enfin, beaucoup s'inscrivent dans un laps infiniment plus bref, celui des temps historiques, où depuis moins de quatre siècles, les événements marquants s'enchaînent de plus en plus vite.

Ainsi, ce n'est qu'à la fin du xvii<sup>e</sup> siècle que nos sociétés européennes, sûres d'elles et dominatrices, établissaient (à grand peine) la différence entre astrologie et astronomie et commençaient à admettre que l'Univers pourrait bien être infini, voire peuplé d'une infinité de mondes semblables au nôtre. Plus incroyable encore, pour la majorité des savants du xix<sup>e</sup> siècle, l'Univers tout entier se résumait à notre galaxie, la Voie lactée. Enfin, voici vingt ans seulement, nous ne savions rien de l'accélération de l'Univers et de l'énergie sombre qui en serait la cause. Aujourd'hui pourtant, tous les spécialistes sont persuadés que cette entité (encore mystérieuse) constitue les trois quarts de l'Univers...

Un mot sur nos choix scientifiques ou historiques. Dans certains cas, ils reflètent ce qu'il est convenu d'appeler un « consensus général » ; dans d'autres, nous avons été amenés à prendre parti entre plusieurs interprétations ou hypothèses, parfois aussi bien étayées l'une que l'autre. Les références bibliographiques que nous fournissons en fin de volume apporteront les justifications scientifiques de certains de ces choix.

# Remerciements

Nous tenons à remercier tout particulièrement Anne Bourguignon, Benjamin Peylet et Vanessa Beunèche pour leur soutien sans faille et leurs suggestions toujours judicieuses. Nous remercions Maroussia Henriet pour son opiniâtreté et son efficacité dans l'art difficile de la recherche iconographique.



# Les auteurs



© Mary Erhardy

**Jacques PAUL** est conseiller scientifique au Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives, Centre de Saclay.

**Jean-Luc ROBERT-ESIL** est ingénieur de recherche au CNRS (laboratoire Astroparticule et Cosmologie, université Paris Diderot).

# Multivers

Ensemble hypothétique de tous les univers possibles, chacun doté de ses propres lois de la physique. Le nôtre est l'un de ceux qui, par hasard, se seraient développés munis d'un jeu de constantes fondamentales favorable à l'apparition de la vie.

**L**ancé en 1895 par le philosophe américain William James, pionnier de la psychologie, le terme de multivers fait les beaux jours de la science-fiction du XX<sup>e</sup> siècle, avant son entrée remarquée dans le champ scientifique, aux frontières de la physique théorique.

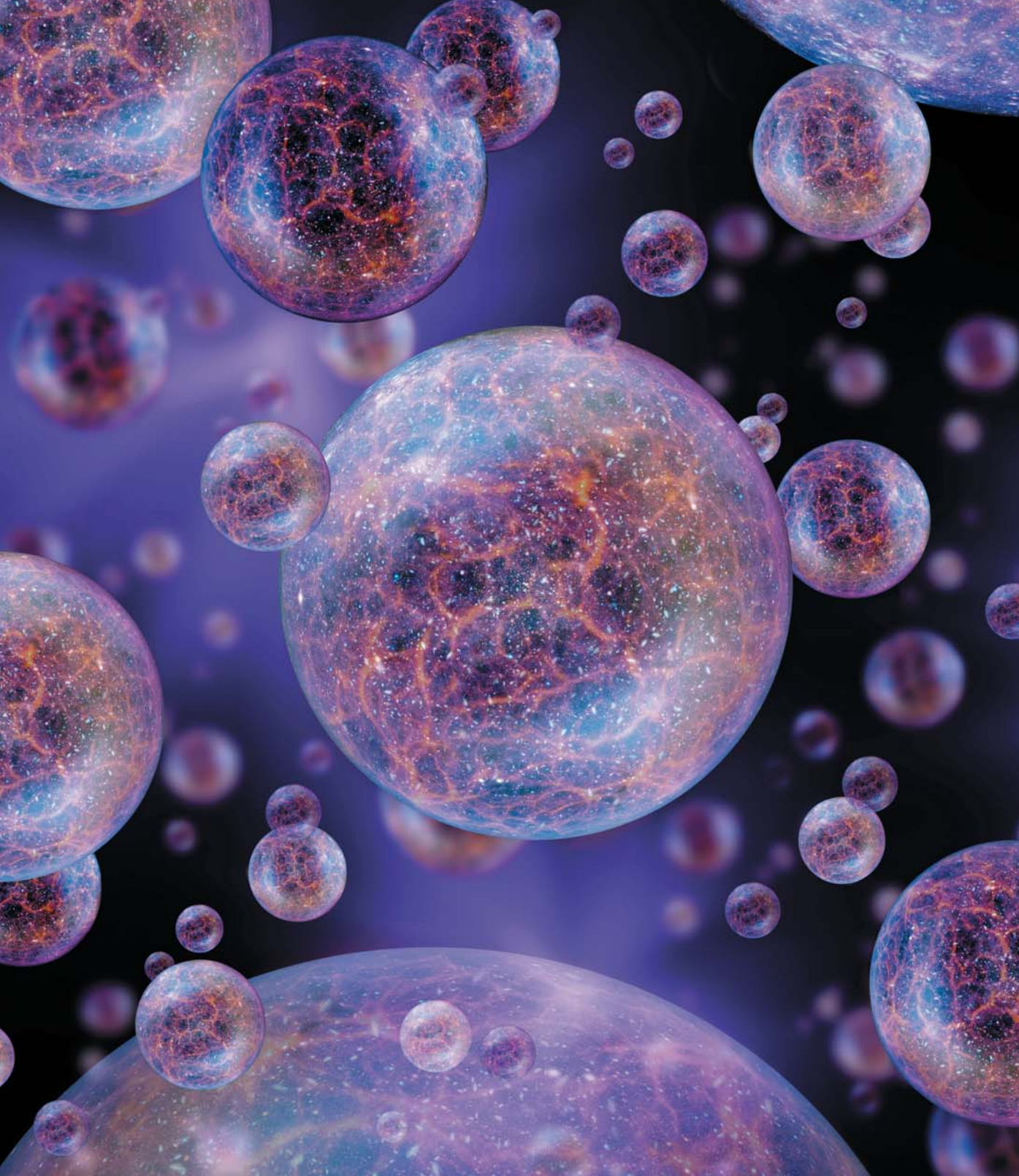
En effet, pour peu que l'espace soit infini, d'innombrables entités pourraient se situer au-delà de l'Univers observable et donc inaccessibles à nos yeux comme à nos instruments. Le concept de multivers se fonde sur une théorie physique éprouvée (la relativité générale). Une autre théorie, tout aussi orthodoxe (la mécanique quantique), peut amener à la même hypothèse en ouvrant la possibilité d'univers distincts où tous les états d'un objet quantique seraient effectivement réalisés.

Selon l'une des propositions les plus fascinantes de la physique théorique, le multivers serait une sorte de mousse quantique où chaque bulle consti-

tuerait un univers en devenir. Sous l'emprise de fluctuations d'énergie, une bulle connaîtrait une phase d'expansion qui déboucherait sur un univers, armé de ses propres lois physiques. Une telle spéculation échappe à toute vérification, elle se situe donc en dehors de la méthode scientifique proprement dite, mais elle permettrait de régler, avec élégance, une des questions les plus lancinantes de la physique : pourquoi les constantes fondamentales, telles que la constante de la gravitation ou la masse de l'électron, sont-elles ajustées de telle manière à ce que l'évolution de notre Univers aboutisse à la vie intelligente ? De fait, si la formation d'un univers était un événement banal du multivers, il n'y aurait guère de surprise à considérer que celui dans lequel nous nous trouvons soit doté des constantes de la physique permettant l'émergence des êtres pensants...

*Voir aussi* Big Bang p. 14, Inflation p. 22, Constantes fondamentales p. 58.

*Représentation numérique du concept de multivers qui, pour certains physiciens, prendrait l'aspect d'une mousse dont chaque bulle serait un univers en devenir. Sous l'emprise de fluctuation d'énergie, une bulle pourrait connaître une phase d'expansion, débouchant sur un univers armé d'une physique qui lui serait propre.*



# Big Bang

La théorie de la relativité générale d'Einstein permet de bâtir un modèle global de l'Univers qui se développe à partir d'un état extrêmement dense et chaud qu'attestent des observations incontestables. Sous le nom (impropre) de Big Bang, ce cadre théorique fait l'unanimité de presque tout le monde scientifique.

**A**fin de modéliser l'Univers en tant que système physique, les astrophysiciens s'en remettent à la théorie de la relativité générale formulée en 1915 par Albert Einstein. Dès 1924, Alexandre Friedmann en propose une solution qui implique l'expansion de l'Univers. Parvenu en 1927 à la même conclusion, l'abbé Georges Lemaître suggère que la récession des nébuleuses spiralées notée par Edwin Hubble en 1929 résulte de l'expansion de l'Univers.

14

Cette expansion implique un début. Pour le décrire, l'abbé Lemaître imagine dans les années 1930 que matière, espace et temps naissent d'un unique « atome » primordial, un modèle annonciateur de la théorie connue sous le nom de « Big Bang ». C'est l'astrophysicien Fred Hoyle qui lance ce terme en 1949. Partisan d'un univers stationnaire qui n'aurait ni début ni fin, il croit ainsi brocarder une théorie rivale en forgeant une expression devenue une « vedette » du vocabulaire astronomique. Elle est pourtant impropre : le Big Bang ne projette pas la matière tous azimuts pour emplir un espace vide au préalable. C'est l'espace lui-même qui se dilate avec le temps et qui accroît

ainsi les distances entre les objets qu'il entraîne dans son expansion.

L'expression désigne désormais une théorie acceptée par tous car elle explique trois séries d'observations incontestables :

- les galaxies distantes semblent s'éloigner d'autant plus rapidement de l'observateur qu'elles sont lointaines : à son début, l'Univers est donc plus dense et partant plus chaud ;
- partout dans l'Univers se retrouve la même proportion d'hélium : densité et température de l'Univers primordial sont assez élevées pour permettre la synthèse d'un tel élément ;
- le rayonnement du fond de ciel détecté dans la bande des micro-ondes témoigne aussi qu'à son début l'Univers est dense et chaud.

Bâtie sur ces trois piliers, la théorie du Big Bang inclut l'universalité des lois de la physique et admet qu'à très grande échelle, l'Univers est semblable à lui-même dans toutes les directions.

*Voir aussi* Hélium p. 30, Fond cosmologique p. 34, Expansion universelle p. 120.

*En s'accordant sur l'idée que l'Univers a surgi d'un événement prodigieux, le Big Bang, les astrophysiciens renouent avec les mythes cosmogoniques de nombreuses cultures ancestrales, tels ceux de la Bible des Hébreux où la création, décrite dans le livre de la Genèse, débute avec Dieu séparant la lumière des ténèbres, la première des neuf scènes centrales de la fresque du plafond de la chapelle Sixtine peint par Michel-Ange entre 1508 et 1512.*



# Paradoxe d'Olbers

La théorie du Big Bang impose de revisiter le célèbre paradoxe qu'Olbers formule en ces termes en 1826 : « dans un univers homogène et infini dans l'espace et dans le temps, chaque ligne de visée devrait rencontrer une étoile, alors pourquoi le ciel est-il noir la nuit ? »

Lorsqu'ils démantèlent le modèle aristotélicien en supposant que les étoiles ne sont pas solidaires de la sphère des « fixes » mais réparties dans un espace infini, les astronomes de la Renaissance enfantent un problème qui les hantera des siècles durant. En effet, en admettant qu'il existe un nombre infini d'étoiles, alors, même la nuit, toute la voûte céleste devrait briller d'un vif éclat...

16

Johannes Kepler est l'un des premiers à souligner cette contradiction. Il en tire argument pour critiquer la notion d'un univers infini qui ne manquera pas tout de même de s'imposer. Au XVIII<sup>e</sup> siècle, alors que le monde savant jongle avec les infinis, le mathématicien suisse Jean-Philippe Loys de Chéseaux mène la première analyse sérieuse d'un univers où brilleraient une infinité d'étoiles. Un médecin allemand, Heinrich Olbers, reformule le problème en 1826 d'une manière plus accessible en s'appuyant sur la notion de ligne de visée avec, toujours, la même conclusion en forme de paradoxe : pourquoi le ciel est-il noir la nuit ?

Le fait, attesté depuis 1676, que la lumière se propage à une vitesse finie, reste très curieusement absent du débat. Il faut attendre 1848 et un écrivain et poète, Edgar Poe, qui avance le premier que si la lumière se propage à une vitesse finie et si l'Univers a un âge fini, seule une petite partie est accessible à l'observation, ce qui résout le problème.

En fixant un début à l'Univers, la théorie du Big Bang permet-elle de contourner le paradoxe d'Olbers ? Ce serait le cas dans un univers statique. Mais l'Univers est en expansion à partir d'un état très chaud : à l'époque de la recombinaison, le fond du ciel est bel et bien d'un éclat comparable à celui de notre Soleil ! Au cours de 13,8 milliards d'années d'expansion, il subit une perte d'éclat d'un facteur mille milliards et laisse ainsi place à l'obscurité nocturne familière.

*Voir aussi* Big Bang p. 14.

*Dans un univers infini où les étoiles sont éternelles, une quelconque ligne de visée, matérialisée ici par un rayon laser tiré à partir du VLT au Chili, devrait nécessairement rencontrer une étoile.*



# Gravitation quantique

Aux densités les plus extrêmes, celles des premiers instants de l'Univers, la physique implique que soient unifiées les descriptions de la relativité générale d'une part, qui décrit à grande échelle l'Univers dans son ensemble, et de la mécanique quantique d'autre part, qui règne aux échelles microscopiques.

Tous les phénomènes de l'Univers s'expliquent au moyen de quatre forces (ou interactions) fondamentales. Les plus familières, à longue portée, agissent dans la vie courante. Il s'agit de la force de gravité et de la force électromagnétique. Cette dernière exerce aussi son action dans le monde des particules, tout comme les deux interactions à très courte portée : la force « forte », qui assure la cohésion des noyaux atomique, la force « faible », qui gouverne de nombreuses désintégrations radioactives.

De son côté, la force de gravité est si faible qu'elle n'intervient pas au niveau des particules : il lui faut des masses bien plus colossales pour s'exprimer. La théorie de la gravitation la plus aboutie, la relativité générale, décrit donc bien le monde de l'infiniment grand, celui des planètes, étoiles et galaxies. Pour l'infiniment petit, il est nécessaire de s'en remettre à la mécanique quantique, qui corsette les trois forces fondamentales agissant aux échelles atomiques et subatomiques.

Les physiciens sont pour l'instant démunis quand il s'agit de pénétrer un monde où se rejoignent les deux infinis, et, avec eux, gravitation et mécanique quantique. Il y règne en effet des densités d'énergie difficiles à imaginer, qui pourtant existent au tout début de l'Univers. Mais, telles deux sœurs ennemies, relativité générale et mécanique quantique sont très difficiles à concilier. Ce n'est pourtant pas faute d'essayer ! En témoigne ce bouquet de théories qui se lancent dans l'aventure de cette grande réunification : supergravité, théorie des supercordes, gravitation quantique à boucles... Cependant, pour aboutir à une théorie quantique de la gravitation acceptée par la communauté scientifique, les échelles d'énergie et de distance à mettre en œuvre sont si peu compatibles avec tout arsenal expérimental, qu'une telle théorie pourrait être impossible à vérifier.

*Voir aussi* Ère de Planck p. 20.

*Représentation numérique du concept de supercorde, une des théories visant à unifier la force de gravitation avec les autres forces fondamentales et qui avance que les briques fondamentales de l'Univers (quarks, électrons) ne sont pas des particules ponctuelles mais des sortes de cordelettes vibrantes.*





# Ère de Planck

Densité et température sont tellement élevées durant cette très brève époque initiale de l'Univers que la théorie de la relativité générale cesse d'être valide au profit de la théorie de la gravitation quantique encore en devenir.

**E**n 1899, Max Planck propose à l'Académie des sciences de Prusse un système d'unités naturelles, basé sur les constantes fondamentales de la physique. Le temps de Planck ( $t_p = 5,4 \times 10^{-44}$  s) est l'unité de temps de ce système. Il se détermine uniquement en fonction de la vitesse de la lumière (la constante fondamentale de la relativité), de la constante de Planck (la constante fondamentale de la mécanique quantique) et de la constante de gravitation. C'est la plus petite mesure temporelle dotée d'un sens physique.

20

Nommée en hommage au physicien allemand, l'ère de Planck désigne la période très brève (durée de l'ordre du temps de Planck) qui survient juste après la création de l'Univers. Il est impossible de la décrire, faute d'une théorie aboutie de la gravitation quantique. Tout juste pourrait-on évoquer l'image d'une « écume quantique », où les notions de temps et d'espace perdent leur sens. Dans ce flou initial, les quatre forces de la nature seraient unifiées en une seule interaction fondamentale.

Même si le mur de Planck se dresse pour rendre inaccessible cette époque primordiale, un éventuel témoignage en aurait filtré, sous forme d'un brouhaha d'ondes gravitationnelles. Les astrophysiciens comptent en trouver l'empreinte dans le fond cosmologique avant de pouvoir détecter ces ondes directement et obtenir ainsi des informations sur une époque inabordable autrement. À l'issue de l'ère de Planck, la gravité s'affranchit du flou quantique et les cosmologistes disposent donc des outils théoriques nécessaires à la physique pour décrire la manière dont l'Univers prend son élan originel.

*Voir aussi* Gravitation quantique p. 18, Fond cosmologique p. 34, Constantes fondamentales p. 58, Détecter les ondes gravitationnelles dans l'espace p. 364.

*Le terme d'écume (ou mousse) quantique a été proposé en 1955 par John Wheeler pour décrire qualitativement le comportement d'un milieu à l'échelle de Planck.*



# Inflation

En 1980, Alan Guth, cosmologiste américain, développe l'idée selon laquelle une expansion très violente aurait permis à l'Univers de se dilater dans des proportions considérables, expliquant ainsi la remarquable homogénéité de l'Univers observable, son isotropie et sa platitude.

Dès les années 1960, les cosmologistes constatent trois propriétés de l'Univers observable. Il est homogène (à très grande échelle, la densité de matière est partout la même), il est isotrope (aucune différence quelle que soit la direction visée), et il est plat (la somme des trois angles d'un triangle vaut  $180^\circ$ , ce qui n'est pas le cas dans un univers courbe, comme la surface d'une sphère).

22

Pour qu'il en soit ainsi dans le cadre de la théorie du Big Bang, il faut postuler que juste après l'ère de Planck, toutes les distances augmentent en une infime fraction de seconde d'un facteur énorme ( $10^{26}$  au moins, et peut-être immensément plus). Sous l'effet d'une telle inflation, une région minuscule (donc homogène) de l'Univers primordial prend des dimensions considérables, bien plus grandes que l'Univers observable qui, du coup, se retrouve lui aussi homogène. Étirant démesurément toute courbure de l'espace, ce formidable gonflement en gommerait également

toutes les anisotropies. En prime, les infimes fluctuations quantiques de la microscopique région inflationniste prennent lors de cette inflation des dimensions cosmiques, qui marquent à tout jamais le fond cosmologique de leurs empreintes et portent ainsi en germe les futures grandes structures de l'Univers.

Pour en arriver là, il est nécessaire que l'Univers primordial soit à ce moment dominé par une entité accélératrice semblable à l'énergie sombre, laquelle serait aussi responsable de l'expansion accélérée de l'Univers constatée au XX<sup>e</sup> siècle. L'entité accélératrice de l'Univers primordial, dont la densité d'énergie est considérable, se serait désintégrée ensuite en particules, marquant ainsi la fin de l'inflation et la naissance de la matière.

*Voir aussi* Big Bang p. 14, Ère de Planck p. 20, Fond cosmologique p. 34, Grandes structures p. 38, Énergie sombre p. 72.

*L'inflation cosmique provoque la « platitude » de l'Univers à l'instar d'une baudruche qui au départ présente une très nette courbure mais qui, si on la gonfle jusqu'à lui donner la taille de la Terre, verra sa courbure tendre vers zéro, tout comme la Terre paraît plate depuis sa surface.*