

Le cosmos avant Einstein

Pourquoi a-t-il fallu attendre Einstein pour élaborer une cosmologie scientifique ? Qu'est-ce qui bloquait les plus grands savants des siècles précédents ? Dans cette fresque historique à rebondissements, le XIX^e siècle a une position ambiguë entre rejet et anticipation.

Michel Paty
Directeur de recherche émérite au CNRS

Einstein

l'homme qui a
inventé l'Univers

septembre 2004, 29-35

CIEL &
espace
HORS-SÉRIE



Chris Peters

Aux avant-postes du ciel profond

Explorer profondément l'Univers à l'aide de télescopes géants : telle était l'idée insolite pour l'époque de William Herschel (1738-1822), portée par l'intention de percer "*la constitution des cieux*".

Le cosmos avant Einstein

Pourquoi a-t-il fallu attendre Einstein pour élaborer une cosmologie scientifique ? Qu'est-ce qui bloquait les plus grands savants des siècles précédents ? Dans cette fresque historique à rebondissements, le XIX^e siècle a une position ambiguë entre rejet et anticipation.

Michel Paty

Directeur de recherche émérite au CNRS

EN ce début du XXI^e siècle, la science cosmologique, bien que récente, possède une grande cohérence et exerce un indéniable pouvoir de fascination en se proposant non seulement comme la science de l'Univers dans sa totalité, mais aussi dans son évolution, c'est-à-dire dans son histoire, malgré des questions fondamentales qui restent encore sans réponse. Mais il n'en fut pas toujours ainsi, et il semblait plutôt, avant ces développements, que la cosmologie ne pourrait jamais devenir un jour une science comme les autres, à

considérer les canons admis de la science moderne depuis le XVII^e siècle, et en particulier de la physique. Comment a-t-elle pu le devenir, tout en respectant l'exigence d'exactitude théorique et d'accord à l'observation la plus précise ?

L'idée d'une *cosmologie*, ou pensée du cosmos, se retrouve dans toutes les civi-

Comment la cosmologie a-t-elle pu devenir une science comme les autres ?

lisations, écrites et non écrites, tout au long de l'histoire humaine. Elle s'y conjugue généralement avec des récits mythologiques sur la formation du monde, les cosmogonies (comme le mythe de l'Atlantide, narré par Platon dans son *Timée*). Si l'on considère l'histoire des sciences de l'Antiquité à nos jours, on peut distinguer des périodes différentes en fonction de la place qu'y occupe ou non l'idée de cosmos (ou Univers) physique comme objet (matériel) dont il est possible de parler en termes de connaissance.

Jacques Merleau-Ponty, en particulier, a bien caractérisé, dans ses ouvrages d'histoire et d'épistémologie de la cosmologie, les différences de conceptions cosmologiques scientifiques selon trois périodes⁽¹⁾. La première s'étend de l'Antiquité au Moyen Âge et jusqu'à la fin de la Renaissance, avec une pensée physique des **qualités substantielles**, celles-ci étant soumises à une idée de la



Des yeux de géant

Alors que les canons de son époque prônaient la puissance de résolution, Herschel fait construire des télescopes de grande puissance de pénétration, comme celui-ci avec un miroir de 122 cm de diamètre.

Qualités substantielles

Chez Aristote, l'unité, l'unicité, la finitude du cosmos et son organisation hiérarchisée sont inscrites par nature dans les propriétés de chaque élément (eau, air, feu, terre) qui composent tous les corps.



Le système du monde

Pierre Duhem, éditions Hermann
Une étude savante, qui expose en dix volumes l'histoire des doctrines cosmologiques de Platon à Copernic.

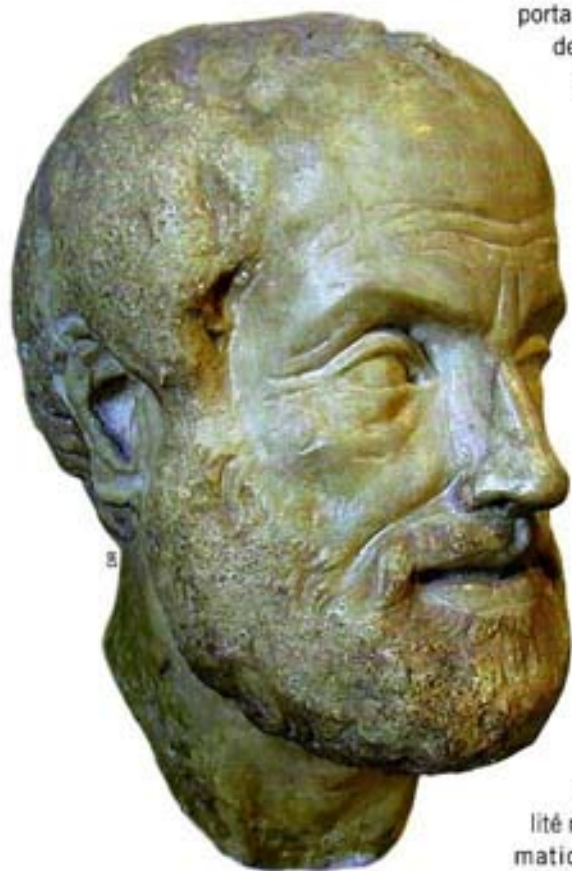


Figure tutéaire

Aristote nous légua une représentation d'un Univers fermé et structuré selon des sphères concentriques emboîtées. Il inaugure la séparation entre astronomie mathématique et physique.

Epicyle

Petit cercle qui tourne avec un mouvement uniforme autour d'un point décrivant un deuxième cercle, plus vaste.

totalité, et réglées au sein d'un cosmos ordonné. La seconde est celle de la science classique, du XVII^e siècle au début du XX^e siècle, où l'idée d'une science de l'Univers disparaît pratiquement des perspectives admises, avec toutefois quelques exceptions (comme l'astronome britannique William Herschel), mais où la permanence d'une idée cosmologique peut être décelée, portant ses effets sur divers domaines des sciences. La troisième période est celle de la cosmologie contemporaine, conçue comme une science au sens plein.

La cosmologie géocentrique d'Aristote et de Ptolémée, théorie de l'astronomie antique, se représentait l'Univers comme fermé et structuré selon des sphères concentriques emboîtées (les sphères d'Eudoxe de Cnide, compliquées par les épicycles de Ptolémée et de ses successeurs, notamment de langue arabe)⁽²⁾. La physique, ou science de la nature (*phusis*), dans cette conception héritée d'Aristote, était placée sous la subordination de la métaphysique, et les êtres qui

constituent le monde y étaient menés par leur finalité naturelle. Les mathématiques n'y avaient qu'un rôle circonscrit à l'astronomie et à quelques sciences "mathématiques mixtes" telles que l'optique géométrique, l'acoustique, la statique ; et la cosmologie, science de la totalité, y était la seule à être totalement mathématique (les sphères étaient animées, sous l'impulsion du Premier Moteur, d'un mouvement circulaire uniforme, le seul mouvement parfait, formulé par la géométrie). Toutefois, les astronomes anciens furent amenés, à

partir de Ptolémée, avec l'introduction des épicycles et la substitution, au centre d'un cercle, d'un autre point intérieur — l'équant — autour duquel s'effectuait le mouvement uniforme, à dissocier l'astronomie physique et l'astronomie mathématique. En effet, dans la conception de l'époque, seul le mouvement circulaire uniforme correspondait à une explication physique acceptable, en termes d'orbites ou de sphères corporels. L'astronomie ancienne, qui était une cosmologie, fut ainsi amenée à se dissocier de la physique de l'époque, c'est-à-dire d'une pensée explicative en termes de propriétés de corps matériels. Cette dissociation de l'astronomie mathématique et de la physique devait se perpétuer jusqu'à Copernic et Kepler. Avec Galilée et Newton, l'astronomie retrouverait pleinement son lien avec la physique, mais selon une conception nouvelle de cette dernière.

Ce "système du monde", soutenu par la géométrie et l'astronomie classiques, et qui se présentait comme une connaissance scientifique, avec théorie et observation, régna dans le monde euro-méditerranéen entre le IX^e siècle av. J.-C. et le XVI^e siècle de notre ère. L'ouverture des cieux par Nicolas Copernic mit ensuite à bas cette cosmologie scienti-

La science moderne n'a pas besoin d'élaborer une théorie de l'Univers

fique au sens ancien, qui céda progressivement la place à l'idée "que l'idéal de la science n'est pas, au fond, celui d'un système du monde, [...] que la science nouvelle n'a pas besoin de l'Univers et que la théorie de l'Univers est à la fois inaccessible et indifférente". Dès le XVII^e siècle, qui voit la naissance de la science moderne, l'approche du monde physique se fait plus locale et limitée, avec la constitution de la mécanique puis de la physique classiques. Celles-ci s'expriment par des lois comme celles du "mouvement local" et de la chute des corps (Galilée), formulées

ensuite à l'aide du calcul différentiel ou infinitésimal, pour exprimer une causalité instantanée et locale, avec Isaac Newton, Leonhard Euler, Joseph-Louis Lagrange, Jean d'Alembert, etc.

Ce faisant, un renversement s'était opéré : au lieu de comprendre la partie par le tout, on se proposait de comprendre des totalités (par intégration ou synthèse) à partir des éléments (par différenciation ou analyse). En même temps, il était possible de concevoir une unité de la matière dans toute l'étendue infinie de l'Univers. Le cosmos, tout en étant admis dans son infinité, disparaissait de l'horizon de la science : il était, pour ainsi dire, le lieu (ou plutôt, les lieux) de la science, mais non son objet. Pour la pensée de la science moderne classique, la notion même de cosmologie changeait de nature, signifiant désormais les propriétés générales et universelles de la matière dans l'espace (dans tous les lieux de l'Univers) et dans le temps, en raison de son unité.

D'un autre côté, l'observation précise put, dès le XVII^e siècle, s'ouvrir à des domaines d'objets de dimensions jusqu'alors hors d'atteinte de la perception directe, avec les inventions à peu près concomitantes du microscope (par Cassegrain) et du télescope (par Galilée, puis Newton). Ces objets pouvaient être ramenés à une commune mesure de l'intelligibilité, qui ne cessait pas d'être la même que celle de la connaissance des objets à notre échelle, moyen terme entre les "deux infinis", l'infiniment grand et l'infiniment petit dont parle Blaise Pascal, témoin à cet égard des nouvelles voies de la connaissance de son temps.

D'Alembert donne, dans son article "Cosmologie" de *L'Encyclopédie*, la définition suivante : "La cosmologie est la science du monde ou de l'Univers considéré en général, en tant qu'il est un être composé, et pourtant simple par l'union et l'harmonie de ses parties..." Il insiste surtout sur "les lois générales par

lesquelles l'Univers est gouverné" et sur "la chaîne continue qui lie les êtres" et que nous n'apercevons que très partiellement. Ces lois sont en premier lieu celles du mouvement, qui fondent la causalité différentielle constituant alors la forme idéale de la liaison des mouvements des corps et des êtres dans le monde telle que peut la formuler l'approche scientifique. Dès qu'il est question de davantage, et par exemple, de "cosmogonie" (autre article de d'Alembert), on quitte le domaine de la science pour celui de la métaphysique ou de la théologie.

Et de fait, dans le mouvement de mathématisation qui établit au XVIII^e siècle la mécanique rationnelle et analytique, et qui se portera, au siècle suivant, sur l'ensemble de la physique, l'idée d'une représentation de l'Univers s'éloigne des perspectives pensables. Si l'on voit, notamment au XVIII^e siècle, fleurir de nombreuses tentatives d'explications globales du monde, ou cosmogonies, c'est généralement dans le courant contraire, en voie de marginalisation, des auteurs non spécialistes et non "géomètres", qui veulent garder la "vraie physique" loin des abstraction mathématiques, et continuer de l'aborder dans une perspective "métaphysique", qualitative et substantialiste, proche de l'empirisme du quotidien.

Dans le courant scientifique, les exceptions au frein mis à l'approche cosmologique furent rares, déjà au XVIII^e siècle et



Les révolutionnaires

Copernic (à droite) puis Kepler (à gauche) délogent la Terre du centre de l'Univers par le traitement géométrique des apparences.



Entre deux infinis

Pascal (1623-1662) s'interroge sur le sens des "deux infinis" : "Car enfin qu'est-ce que l'homme dans la nature ? Un néant à l'égard de l'infini, un tout à l'égard du néant, un milieu entre rien et tout."



Prudence rationnelle

L'encyclopédiste d'Alembert exprime l'impossibilité, à l'époque de la mécanique analytique, de penser l'idée d'une représentation de l'Univers.



Visionnaire des trous noirs

Le mathématicien et philosophe Jean-Henri Lambert proposa au XVIII^e siècle une organisation hiérarchique des assemblages de corps célestes préfigurant les trous noirs situés aux centres des galaxies.



Hypothèse nécessaire

Pierre Simon Laplace (1749-1827) est l'un des rares — avec Kant — à proposer un mécanisme de formation des planètes du Système solaire à partir d'une nébuleuse de poussière initiale.

plus encore au XIX^e siècle. Il faut tout d'abord mentionner l'ouvrage *Lettres cosmologiques sur l'organisation de l'Univers*, du mathématicien et philosophe Jean-Henri Lambert, où est proposée une organisation hiérarchique des assemblages de corps célestes tournant autour d'un "régent" (sorte de préfiguration des trous noirs situés aux centres des galaxies), et l'essai de cosmogonie naturelle publié en 1755 par le philosophe Emmanuel Kant sous le titre *Histoire générale de la nature et théorie du ciel*, qui suggère un mécanisme de formation, par attraction gravitationnelle, des planètes du Système solaire à partir d'une nébuleuse de poussières initiale. La même idée fut reprise indépendamment quelques années plus tard, par Pierre Simon Laplace, dans son *Exposition du système du monde* (1796), et développée de manière plus quantitative dans sa *Mécanique céleste* (quatre volumes parus de 1799 à 1825).

L'œuvre de William Herschel constitue une autre exception remarquable à l'absence de préoccupation cosmologique de son époque. Il s'agit cette fois de cosmologie observationnelle, et de l'Univers lui-même, au-delà du Système solaire. L'astronomie observationnelle d'Herschel était dirigée vers l'exploration profonde de l'Univers, à l'aide de télescopes de grande puissance de pénétration (en opposition aux canons de son époque, qui prônaient au contraire la puissance de résolution), et ouvrait la voie de la connaissance de la "constitution des cieux". Herschel poursuivait un projet explicitement cosmologique, conçu en relation avec ses observa-

tions, et porté par une perspective théorique sur "la construction des cieux", selon l'heureuse expression du titre de l'un de ses mémoires, qui visait à établir l'existence et les propriétés de l'Univers profond (pour lequel il proposa l'hypothèse de l'uniformité, qui reste la base de la pensée cosmologique actuelle, comme "principe cosmologique").

L'intérêt de cette cosmologie, non spéculative et s'appuyant sur l'observation, échappa aux contemporains d'Herschel

et à ses successeurs du XIX^e siècle, et ne fut vraiment comprise que par les protagonistes de la cosmologie contemporaine dont elle contribuait à préparer l'avènement. Des données de plus en plus précises sur les distances astrono-

miques (avec l'observation, longtemps attendue, des parallaxes stellaires par Bessel) et sur la constitution des objets célestes (notamment par la spectroscopie avec les systèmes d'étoiles, les galaxies univers-îles, les travaux d'astronomes comme Olbers...) fournissaient une autre base factuelle qui assurerait la légitimité de parler de l'Univers.

L'astronomie du XIX^e siècle, soucieuse de précision numérique, abandonna la préoccupation cosmologique en se repliant sur une "docte ignorance", analysée par Jacques Merleau-Ponty. L'idée d'une cosmologie comme science paraissait impensable à la plupart des savants et des philosophes du XIX^e siècle, tant en raison de la prégnance des idées positivistes avec leur conception étroite de la science, que par l'importance très grande donnée à l'observation, à l'expérimentation et à la précision des mesures réalisées à l'aide d'instruments de plus en plus perfectionnés. Aussi grande cette précision fût-elle, pensait-on, jamais elle ne pourrait atteindre ce qui serait requis pour mesurer l'Univers, c'est-à-dire, proprement, l'infini. Du point de vue conceptuel, la permanence

Herschel fait l'hypothèse, toujours actuelle, d'un Univers uniforme

de l'idée cosmologique, même bridée, ferait à terme sentir ses effets dans les considérations qui permettraient la naissance d'une cosmologie comme théorie physique de l'Univers dans sa totalité. L'idée cosmologique, qui courait souterraine sous l'énoncé de principes généraux de la nature (ainsi qu'on le voit dans les définitions de d'Alembert et de Littré), réapparaît plus explicitement comme une désignation de l'Univers physique, quoique sur le mode du possible, vers la fin de la période "classique" de la physique. Il est question de l'Univers, d'une part à propos de la signification des deux principes de la thermodynamique, et surtout du second ; d'autre part à propos des rapports de l'espace et des géométries, euclidienne et non euclidienne (Riemann) et, en physique, de la nature des principes généraux (Poincaré) et de la critique des concepts absolus (Mach). Dès 1854, Bernard Riemann s'interroge, dans sa Dissertation inaugurale "Sur les hypothèses qui servent de fondement à la géométrie", sur la géométrie convenant aux propriétés de l'espace physique dans les dimensions "incommensurablement grandes", ce qui correspond à formuler l'idée d'une géométrie d'Univers. L'analyse du problème fut reprise par Hermann von Helmholtz aussi bien que par Henri Poincaré, en termes de rapport de la géométrie à l'expérience, sur la possibilité ou non de mettre en évidence le caractère euclidien ou non euclidien de l'espace physique, chacun y trouvant argument pour sa propre philosophie de la connaissance (empiriste pour Helmholtz, conventionnaliste en ce qui concerne la géométrie pour Poincaré). Cette question, qui devait se révéler centrale pour la signification de la théorie de la relativité générale et des théories cosmologiques relativistes,

On pensait ne jamais pouvoir mesurer le cosmos, c'est-à-dire l'infini

indiquait de manière prémonitrice le lien intrinsèque qui unit la physique, la géométrie et l'idée d'Univers.

S'agissant des principes généraux de la "physique mathématique", ils viennent, selon Poincaré, de l'expérience et sont généralisables par choix de convention ; ils ne seraient vrais en toute rigueur que pour l'Univers entier (ils se réduiraient, si on les envisageait pour celui-ci, à de simples tautologies). Ce qui fait leur force et leur intérêt pour la physique, c'est qu'on ne les applique, de fait, qu'à l'approximation de systèmes finis et séparés. Il en va ainsi, par exemple, du principe de relativité du mouvement, ou du principe de la conservation de l'énergie auquel Poincaré comparait volontiers le premier.

Pour Poincaré ⁽³⁾, l'objet de la géométrie n'était pas l'espace, en lequel il ne voyait quant à lui qu'une forme malléable, impensable sans les corps qu'il contient, mais le groupe des déplacements des corps solides naturels (idéalisés) dans l'espace. En conséquence, le principe de relativité des mouvements n'était, à ses yeux, que l'une des formes de la relativité de l'espace. Ce dernier pouvait être considéré soit comme invariance par translation, c'est-à-dire comme un simple changement de lieu pour les corps, soit comme relativité de similitude au sens de la géométrie, c'est-à-dire pour des transformations homothétiques sur les dimensions ou les distances, "qui doivent être considérées pour l'Univers entier".

Une autre forme de la relativité de l'espace, ajoute Poincaré en 1912, tenant compte de la dynamique relativiste (qu'il avait lui-même contribué à élaborer), et associant aux unités de distances spatiales la vitesse de la lumière (la constante d'espace-temps), est la "relativité dynamique" ou "principe de relativité physique". Poincaré fait encore

Second principe de la thermodynamique

Principe, dû au physicien allemand Rudolf Clausius, qui affirme que l'entropie — notion qui sert à mesurer le désordre — d'un système fermé ne peut que s'accroître.



DR

Relatif et universel

Henri Poincaré (1854-1912) fait valoir que l'idée de relativité de l'espace et du temps implique l'idée de lois universelles — autrement dit, l'idée cosmologique.



Sur la science cosmologique

Jacques Merleau-Ponty,
EDP Sciences

Recueil de textes analysant les relations profondes entre la cosmologie moderne et la philosophie.



Géomètre révolutionnaire

Au début du XX^e siècle, la conception du mathématicien Bernhard Riemann du rapport de l'espace à la physique offre le cadre mathématique et conceptuel de la théorie de la relativité générale.

valoir à ce propos que l'idée de relativité de l'espace et du temps implique celle de lois pour le monde dans son entier — autrement dit, l'idée cosmologique —, puisque toutes les parties du monde sont en dépendance les unes vis-à-vis des autres. L'auteur des *Leçons sur les hypothèses cosmologiques* était ainsi proche de concevoir l'Univers comme objet, du moins à titre de référence pour la pensée physique, et dont il était cependant nécessaire de se distancier.

Quant à la critique des concepts absolus de la mécanique, elle est développée dans l'ouvrage d'Ernst Mach de 1883, *La mécanique*, et concerne avant tout le concept newtonien d'*espace absolu*. Newton l'avait invoqué pour justifier la mathématisation des grandeurs de sa mécanique : dans sa perspective (fondée sur

une philosophie néo-platonicienne), les grandeurs spatiales et le temps devaient être "*absolus et mathématiques*" pour exprimer des lois vraies et non pas simplement apparentes. Le principe d'inertie et la relativité des mouvements se seraient contentés d'un espace (et d'un temps) relatif. Mais la loi des changements de mouvement, qui implique une accélération, demandait, selon lui,

que cette dernière soit en prise contre un support stable, et ce support était à ses yeux l'espace absolu. Il en voulait pour preuve le mouvement de rotation d'un seau tournant autour de son axe, dans lequel l'eau prend une forme

concave. Il rapportait ce mouvement aux axes absolument fixes de l'Univers, à savoir le système des étoiles fixes.

Pour Mach, qui déniait l'idée d'espace absolu, car pour lui l'espace ne nous est donné que par les corps qu'il contient, l'expérience du seau de Newton montrait

**Pour Mach,
l'espace ne nous
est donné que
par les corps
qu'il contient**

non pas l'existence d'un espace absolu, mais l'effet de l'action sur le corps d'épreuve (que constitue l'eau dans le seau) des corps qui lui sont extérieurs et qui emplissent l'Univers. La masse d'inertie de l'eau du seau, coef-

ficient de l'accélération, est le résultat de ces interactions, donnant à l'eau la forme concave dans sa rotation (par effet centrifuge). Cette explication dynamique de la masse d'inertie dégageée de la notion d'espace absolu faisait donc intervenir la prise en considération de l'Univers dans sa totalité, en tant qu'il est constitué de corps physiques. "*Dire qu'un corps conserve sa vitesse et sa direction dans l'espace*, écrivait Mach, *est simplement une manière abrégée de s'en référer à l'Univers entier.*"⁽⁴⁾

Cette idée fut d'une importance considérable dans l'élaboration, par Einstein, aussi bien de la théorie de la relativité générale que de sa cosmologie. On peut considérer que l'idée cosmologique se trouve présente dans la pensée constitutive de la théorie de la relativité générale, avant même toute considération de l'Univers physique comme objet de la cosmologie. C'est en 1912, au moment de mettre définitivement en place les éléments qui lui permettraient de formuler sa théorie (obtenue à la fin de 1915), qu'Einstein reprit à son compte la remarque de Mach, qu'il désigna comme un "principe de la relativité de l'inertie" : elle l'amena à concevoir comment dépasser la limite de sa théorie de la relativité restreinte antérieure (1905), qui était de privilégier les systèmes d'inertie, dont le choix est anthropocen-



L'inventeur du Tout

Référence omniprésente dans les travaux d'Albert Einstein, le physicien allemand Ernst Mach est le premier à faire intervenir en physique la prise en considération de l'Univers dans sa totalité.

trique, alors que, du point de vue de l'Univers, aucun référentiel de cette nature ne peut être privilégié.

Une fois en possession de sa théorie de la relativité générale, avec laquelle il pensait avoir définitivement éradiqué le concept d'espace absolu, Einstein se demanda s'il ne restait pas, malgré tout, un moyen par lequel ce dernier pourrait encore se manifester. La théorie de la relativité générale était conçue comme une théorie locale, qui s'appliquait à des régions finies d'espace-temps, et mettait en relation la structure d'un tel espace-temps (sa métrique) et les champs gravitationnels engendrés par les masses des corps qu'il contient. Sans champ de matière, concluait-il, pas d'espace-temps. Mais alors, s'interrogea-t-il, qu'en était-il dans les régions de l'espace vides de champ ? On pouvait imaginer, dans un espace infini, que la matière n'occupait qu'une région, où s'appliquait la relativité générale. Mais dans la région extérieure, que faire de l'espace sans les champs, sinon à en revenir à l'espace absolu ?

Einstein se refusait à une telle coexistence d'un monde gouverné par la relativité généralisée avec un autre dirigé par l'espace absolu : *"Dans une théorie consistante de la relativité, il ne peut y avoir d'inertie par rapport à l'espace, mais seulement l'inertie de masses relativement les unes aux autres"*, écrit-il en 1917 dans son article fondateur de la cosmologie théorique⁽⁵⁾. Il reprit l'idée de la relativité de l'inertie (il la rebaptisa peu après "principe de Mach"), adaptée à la masse comme source de champ. Pour annuler la condition aux limites de la matière, il fallait envisager l'Univers entier avec les masses qu'il contient, et le considérer comme fermé sur elles : il était donc nécessaire d'admettre qu'il ne peut y avoir d'espace au-delà des masses et de

La théorie de la relativité générale a été entraînée au-delà de son objet initial

leurs champs, et que l'Univers est fermé. L'idée d'un tel Univers était rendue possible par l'"espace fini et illimité" de la géométrie de Riemann. Par là, s'ouvrait l'ère de la cosmologie physique (relativiste) du point de vue théorique.

Ainsi, de la considération des conditions aux limites de la théorie de la relativité, tributaire de l'idée cosmologique, naissait l'énonciation de l'Univers comme objet de la théorie, rendu nécessaire par la cohérence de cette dernière. La théorie de la relativité générale était entraînée au-delà de son objet initial (de ses objets possibles, l'espace-temps structuré par les champs de gravitation, dans toutes les situations locales envisageables), pour formuler une cosmologie scientifique et déterminer en toute légitimité un objet physique considéré jusqu'alors comme impensable selon les canons de la physique moderne antérieure, et tout en se basant, comme celle-ci, sur des lois exprimées en équations différentielles.

Avec la physique relativiste, les deux idées, naguère incompatibles, de la totalité d'une part, et de l'élémentaire et du local d'autre part, se retrouvaient pour formuler la possibilité d'une cosmologie au sens scientifique, c'est-à-dire d'une science de l'Univers considéré dans sa totalité, unique et non reproductible. Ces caractères, paradoxaux pour l'idée que l'on se faisait traditionnellement des objets de science, étaient en fait implicitement contenus dans l'idée cosmologique.

(1) Voir les ouvrages de Jacques Merleau-Ponty, notamment : *Cosmologie du XX^e siècle (1965)*, *La science de l'Univers à l'âge du positivisme (1983)*, *Sur la science cosmologique (2003)*.

(2) Voir *La Terre immobile*, de Jean-Jacques Szczeciniarz (2003).

(3) Poincaré (1902), *La science et l'hypothèse*, éd. 1968.

(4) Mach (1883), chap. 2, § 6 (souligné par Mach).

(5) Einstein (1917).



51

Défier l'impensable

Le jeune Einstein est entraîné, à partir de sa théorie de la relativité générale, à formuler une cosmologie scientifique et à déterminer un objet physique considéré jusqu'alors comme impensable.



The Science of Mechanics

Ernst Mach, Open Court Publishing Company

Ce livre fait une critique en règle des concepts absolus de la mécanique newtonienne, en particulier l'espace absolu, et inspirera le jeune Einstein.

Géométrie de Riemann

C'est la géométrie sphérique étendue à trois dimensions. Poincaré l'explique ainsi : imaginez un monde sphérique uniquement peuplé d'êtres dénués d'épaisseur, qui soient tous sur cette même sphère sans pouvoir s'en écarter. Ce qu'ils appelleront l'espace, ce sera cette sphère d'où ils ne peuvent sortir : leur espace sera donc sans limites, puisqu'on peut sur une sphère aller toujours devant soi sans jamais être arrêté, et cependant il sera fini ; on n'en trouvera jamais le bout, mais on pourra en faire le tour.

CIEL & espace

HORS-SÉRIE

Einstein

l'homme qui a inventé l'Univers

Relativité

20 pages illustrées
pour tout comprendre



M 07266-2 H - F : 6,90 € - RD

