

Les commencements de la cosmologie moderne

Jean-Pierre Luminet

DANS **ÉTUDES** 2014/1 janvier , PAGES 67 À 74
ÉDITIONS **S.E.R.**

ISSN 0014-1941

DOI 10.3917/etu.4201.0067

Date de mise en ligne : 07/01/2014

Article disponible en ligne à l'adresse

<https://shs.cairn.info/revue-etudes-2014-1-page-67?lang=fr>



Découvrir le sommaire de ce numéro, suivre la revue par email, s'abonner...
Scannez ce QR Code pour accéder à la page de ce numéro sur Cairn.info.



Distribution électronique Cairn.info pour S.E.R..

Vous avez l'autorisation de reproduire cet article dans les limites des conditions d'utilisation de Cairn.info ou, le cas échéant, des conditions générales de la licence souscrite par votre établissement. Détails et conditions sur cairn.info/copyright.

Sauf dispositions légales contraires, les usages numériques à des fins pédagogiques des présentes ressources sont soumises à l'autorisation de l'Éditeur ou, le cas échéant, de l'organisme de gestion collective habilité à cet effet. Il en est ainsi notamment en France avec le CFC qui est l'organisme agréé en la matière.

LES COMMENCEMENTS DE LA COSMOLOGIE MODERNE

Jean-Pierre LUMINET

La physique du XX^e siècle permet d'aborder scientifiquement la question du commencement de l'univers. L'idée d'un univers statique, défendue par Albert Einstein, sera rejetée par un Russe, Alexandre Friedmann, et un Belge, Georges Lemaître, au profit d'un univers dynamique, c'est-à-dire historique.

L'évolution du monde peut être comparée à un feu d'artifice qui vient de se terminer. Quelques mèches rouges, cendres et fumées. Debout sur une escarbille mieux refroidie, nous voyons s'éteindre doucement les soleils et cherchons à reconstituer l'éclat disparu de la formation des mondes.

Georges Lemaître, 1931

L'univers a-t-il commencé ? La question relève de la cosmogonie, une discipline aussi vieille que l'humanité. L'homme n'a en effet pas plus tôt levé les yeux sur le monde qu'il a cherché à le reconstruire par la pensée, à en retracer la genèse et les métamorphoses. On trouve ainsi chez tous les peuples, dans le fonds le plus ancien de leurs traditions, des récits relatifs à l'origine de la terre et du ciel. La plupart de ces traditions recherchent un principe créateur – dieu, idée ou élément – à la source de toute chose. En Occident, le récit de la Genèse a dominé tout le questionnement cosmogonique jusqu'au XVIII^e siècle. Ce dernier marque l'apparition des théo-

Observatoire de Paris-Meudon,
auteur de *L'invention du Big bang*,
Le Seuil/Points Sciences, 2004.

ries mécanistes et du rationalisme scientifique. L'emprise théologique faiblit, mais la science des commencements est encore trop balbutiante pour proposer autre chose qu'une date de création du monde

Nous sommes dans un cosmos où la genèse est toujours en cours

conforme aux Écritures. Le problème hante cependant les esprits qui ne se contentent plus de l'univers incréé (sinon par l'action divine) que leur offre Newton.

Non contents de revoir à la hausse l'âge du monde, les savants entrevoient les mécanismes de formation des astres, passant ainsi progressivement de la notion de création à celle de commencement physique et d'évolution. Au XIX^e siècle, l'astrophysique découvre justement les berceaux des étoiles, sous forme de nébuleuses gazeuses. Aujourd'hui, les télescopes les plus perfectionnés débusquent les germes des premières galaxies, les accouchements d'étoiles au sein de nuages d'hydrogène interstellaire, les parturitions de planètes dans des disques de poussières. Nous sommes de toute évidence dans un cosmos où la genèse est toujours en cours. Mais la science peut-elle rendre compte d'un « vrai » commencement, celui de l'univers lui-même ?

La révolution cosmologique du début du XX^e siècle pose la question et a la folle ambition d'y répondre. Cette révolution se résume en une phrase : l'univers n'a pas toujours été identique à lui-même, il a une histoire, un commencement et une évolution. Son cadre théorique est fixé par les travaux d'Albert Einstein, qu'il faut commencer par rappeler. Mais le changement radical de perspective est l'œuvre de deux pionniers, le Russe Alexandre Friedmann (1888-1925) et le Belge Georges Lemaître (1894-1966). Trois de leurs textes au moins, publiés pour le premier en 1922, pour le second en 1927 et en 1931, en font les véritables inventeurs du concept de *Big bang*, l'une des découvertes scientifiques les plus importantes du XX^e siècle.

Premières solutions : l'univers statique

En 1916, Albert Einstein fournit les équations de la relativité générale, théorie de la gravitation offrant un nouveau cadre conceptuel pour interpréter l'univers. Selon Einstein, la gravité n'est pas

une force d'attraction comme la décrivait la théorie newtonienne, mais une manifestation de la courbure de l'espace-temps engendrée par la distribution de la masse et de l'énergie. La relativité générale permet d'aborder pour la première fois de façon pertinente le problème cosmologique, à savoir l'étude de la structure de l'univers dans son ensemble. Le concept d'univers, jusqu'alors défini de façon plutôt vague, devient en effet une entité physique bien définie par sa structure géométrique spatio-temporelle et par sa composition en matière, rayonnement et toutes autres formes d'énergie.

La première solution cosmologique exacte est trouvée en 1917 par Einstein lui-même, qui souhaite tout naturellement appliquer sa nouvelle théorie pour calculer un modèle global d'univers. Il cherche une solution statique, c'est-à-dire dans laquelle la densité moyenne de matière, ainsi que le rayon de courbure de l'espace, restent constants au cours du temps. Einstein s'attend à ce que ses équations du champ soient compatibles avec ces hypothèses de départ, or ce n'est généralement pas le cas : le modèle d'univers qu'il obtient initialement ne garde pas un rayon constant, car l'inexorable gravité, agissant sur chaque corps céleste, a tendance à déstabiliser l'hypersphère. Pour Einstein, le seul remède possible consiste à ajouter un terme *ad hoc* – mais mathématiquement cohérent – dans ses équations du champ gravitationnel. Grâce à ce tour de passe-passe, la solution d'Einstein reste statique et invariable. Le nouveau terme, appelé « constante cosmologique », conserve exactement la même valeur dans l'espace et dans le temps ; formellement, celle-ci peut prendre n'importe quelle grandeur, mais Einstein l'ajuste à une valeur spécifique de façon à « forcer » son modèle à rester statique. Einstein a donc fixé le cadre théorique, les équations. La vraie révolution va venir d'ailleurs, d'un Russe, Alexandre Friedmann, et d'un Belge, Georges Lemaître.

L'avènement des solutions dynamiques

Alexandre Friedmann est né à Saint-Pétersbourg en 1888. Diplômé de physique mathématique en 1910, il est professeur à partir de 1920 à l'Université de Leningrad, où il mène de front des travaux météorologiques, aéronautiques et cosmologiques. Dans un article de 1922, « Sur la courbure de l'espace », il franchit le pas qu'Einstein

n'avait pas osé faire: si l'on abandonne l'hypothèse d'un univers statique, le problème cosmologique comporte une infinité de solutions relativistes dans lesquelles l'espace varie en fonction du temps – ce que les physiciens appellent des solutions *dynamiques*. Dans son livre de vulgarisation, Friedmann écrit par exemple: « Le type d'univers variable engendre une famille beaucoup plus générale de modèles: dans certains cas le rayon de courbure de l'univers part d'une certaine valeur et augmente constamment au cours du temps; dans d'autres cas le rayon de courbure varie de façon périodique, l'univers se contractant en un point [de volume nul], puis, à partir de ce point, augmentant de rayon jusqu'à une certaine valeur maximale, puis diminuant à nouveau pour redevenir un point, et ainsi de suite. »

Pour la première fois dans l'histoire de la cosmologie, les problèmes du commencement et de la fin de l'univers sont posés en termes scientifiques, mais Friedmann ne peut s'empêcher d'y voir une implication métaphysique: « On peut aussi parler de la création du monde à partir de rien. » De fait, Friedmann n'est pas seulement un brillant physicien, il est aussi un fervent chrétien orthodoxe: pour lui, la relativité générale suggère une création du monde par Dieu (bien qu'il n'ait pas formulé explicitement son opinion dans une publication scientifique). Toujours est-il que le terme de « création du monde », une fois lancé dans le champ de la cosmologie relativiste, va susciter bien des remous et malentendus, et bloquer psychologiquement la plupart des physiciens de l'époque, au premier rang desquels figure Einstein, qui réagit aussitôt négativement.

Bien entendu, Friedmann est désappointé. Comme il n'a pas l'autorisation de quitter l'Union Soviétique pour rencontrer Einstein à Berlin et le convaincre, il lui écrit une lettre explicative et charge son ami Yuri Krutkoff, qui a lui la permission de voyager à l'étranger, de convaincre le célèbre physicien allemand. La mission est apparemment remplie avec succès, puisqu'en 1923 Einstein publie une encore plus courte « Remarque sur le travail de A. Friedmann "Sur la courbure de l'espace" », où il reconnaît son « erreur de calcul » et dit qu'il tient les résultats de Friedmann pour « justes et éclairants. »

Peut-on en déduire qu'Einstein admet enfin la découverte de Friedmann comme étant de nature à dessiner une nouvelle image de

l'univers? C'est peu probable, comme le montreront également ses réticences ultérieures envers le travail de Lemaître. L'attitude d'Einstein vis-à-vis du problème cosmologique traduit donc une sorte de malaise qui ne se résoudra jamais réellement.

L'univers en expansion

Au milieu des années 1920, les données expérimentales commencent à remettre en question la validité des solutions cosmologiques statiques. Par exemple, en 1924 le théoricien britannique Arthur Eddington remarque que, sur les 41 décalages spectraux de nébuleuses spirales mesurés par l'astronome américain Vesto Slipher, 36 sont vers le rouge. En 1925, Edwin Hubble prouve la nature extragalactique des nébuleuses spirales. Il confirme ainsi qu'il existe d'autres galaxies semblables à la nôtre, et que l'univers observable est beaucoup plus grand que ce que l'on pensait jusqu'alors. Plus important encore, les observations qui s'accumulent montrent que la lumière des galaxies lointaines est systématiquement décalée vers le rouge, ce qui, interprété comme un effet Doppler, suggère qu'elles s'éloignent toutes de nous à grande vitesse. Comment cela est-il possible?

C'est Lemaître qui résout l'énigme. Né à Charleroi en 1894, ses études d'ingénieur ont été interrompues par la guerre. Il s'est ensuite dirigé vers la physique théorique et, parallèlement, a été ordonné prêtre en 1923. Après des séjours scientifiques en Grande-Bretagne (auprès d'Eddington) et aux États-Unis (où il a rencontré Slipher), il est nommé professeur à l'Université de Louvain en 1927. Reprenant les intuitions prémonitoires de Friedmann – dont il ne connaît pas encore le travail –, il va les amplifier pour bâtir le socle de la théorie moderne du Big bang. L'année même de son retour, Lemaître publie en français son premier article fondamental, « Un univers homogène de masse constante et de rayon croissant, rendant compte de la vitesse radiale des nébuleuses extragalactiques ». Comme son titre l'annonce, il relie l'expansion de l'espace, qui découle des solutions cosmologiques de la relativité générale, aux observations de Slipher et Hubble sur les vitesses de fuite des galaxies. Parmi les solutions possibles des équations d'Einstein, il privilégie un modèle en expan-

sion perpétuellement accélérée, dans lequel il ajuste la valeur de la constante cosmologique de façon à ce que le rayon de l'espace croisse continûment à partir d'une valeur initiale non nulle, rejetée dans un passé infiniment lointain. Il n'y a donc pas de « commencement » singulier de l'univers dans un passé fini. Mais la grande nouveauté est que Lemaître fournit la première interprétation des décalages vers le rouge cosmologiques en termes d'augmentation du rayon de l'espace, et non pas de mouvement réel des galaxies : l'univers se dilate continuellement, et par conséquent accroît les séparations apparentes entre les objets qu'il contient. De plus, utilisant les données astronomiques alors disponibles, Lemaître annonce une relation de proportionnalité entre la vitesse de récession apparente des galaxies et leur distance, selon une loi qui sera plus tard attribuée à Hubble.

La signification fondamentale du travail de Lemaître passe toutefois inaperçue. Lorsque ce dernier rencontre pour la première fois Einstein à la Conférence Solvay de 1927, le célèbre physicien lui dit : « Vos calculs sont corrects, mais du point de vue physique ils me paraissent tout à fait abominables »!

L'Atome Primitif

L'année même où son travail antérieur commence à être accepté par la communauté scientifique, Lemaître ose avancer une hypothèse encore plus audacieuse : si l'univers est actuellement en expansion, ne doit-il pas avoir été plus petit et plus dense dans le passé ? Dans *The Expanding universe*, publié en mars 1931, il introduit le concept révolutionnaire d'« Atome Primitif » : dans un passé lointain, l'univers doit avoir été si condensé qu'il pouvait être alors considéré comme un « quantum de pure énergie ». Lemaître esquisse ainsi pour la première fois un lien entre cosmologie et physique quantique, discipline alors naissante.

Cette idée est très mal reçue par les autres scientifiques. Le fait que Lemaître soit mathématicien et prêtre cristallise la résistance naturelle envers l'instauration d'une nouvelle vision du monde. Selon Eddington, « la notion d'un commencement du monde est répugnante », tandis que Einstein considère l'hypothèse de l'« Atome

Primitif » comme « inspirée par le dogme chrétien de la création, et totalement injustifiée du point de vue physique ». Le procès est injuste, car pour Lemaître, le *commencement* physique du monde était tout à fait différent de la notion métaphysique de *création*, science et religion correspondant à des niveaux distincts d'entendement du monde. Lemaître avait une conception *naturelle* de l'origine nettement distinguée de l'idée de création *surnaturelle*: « Je pense que quiconque croit à un Être suprême soutenant chaque être et chaque acte, croit aussi que Dieu est essentiellement caché, et peut se réjouir de voir comment la physique actuelle fournit un voile cachant la création », écrit-il dans un texte inédit de 1931. Pour le prêtre-savant, Dieu sera toujours un Être suprême et inaccessible, ce qui permet de préserver l'origine du monde dans les strictes limites de la physique, sans la mêler à une création surnaturelle. Il n'est pas inutile de souligner cette rigueur théologique, quand on voit aujourd'hui des cosmologistes comparer l'image du rayonnement à hautes fréquences du fond diffus cosmologique au « visage de Dieu »!

Friedmann et Lemaître ont introduit une révolution scientifique de même ampleur que celle de Copernic

C'est au milieu des années 1960 que sera enfin découvert le rayonnement fossile, vestige refroidi de l'« Atome primitif », rebaptisé ironiquement « Big bang » par son adversaire le plus acharné, l'astrophysicien britannique Fred Hoyle. Après un demi-siècle de rejet, la théorie de Lemaître sera enfin acceptée par la communauté des cosmologistes, sans que pour autant justice soit rendue à son auteur. Dans l'esprit et sous la plume de nombreux écrivains scientifiques à large audience, les concepts d'univers en expansion et de Big bang sont en effet attribués à Edwin Hubble et Albert Einstein. Or, si Hubble a bien mis en évidence de manière expérimentale la relation linéaire entre le décalage spectral vers le rouge des galaxies et leur distance, il n'a ni découvert ce décalage spectral systématique (la primeur de la découverte revenant à Vesto Slipher), ni accepté l'interprétation relativiste de ses observations, c'est-à-dire l'expansion de l'espace en lieu et place d'un déplacement réel des galaxies. Quant au génial inventeur de la théorie de la relativité, il a rejeté pendant plus de dix ans l'idée d'un univers évolutif.

Friedmann et Lemaître ont introduit une révolution scientifique de même ampleur que la révolution copernicienne. Dans la cosmologie pré-copernicienne, l'espace était centré sur un lieu très particulier, la Terre. Dans la cosmologie pré-friedmannienne, le déroulement temporel de l'Univers était réduit à un cas très particulier, la staticité, c'est-à-dire l'absence de toute évolution. Les cosmologies de Friedmann et Lemaître introduisent de façon irréversible l'historicité de l'Univers et l'idée d'un commencement. Friedmann et Lemaître s'inscrivent ainsi dans la lignée des grands novateurs que furent Ptolémée, Copernic, Kepler, Galilée, Newton et Einstein.

Jean-Pierre LUMINET



Retrouvez le dossier « **Sciences** »
sur www.revue-etudes.com