

Georges Lemaître, inventeur du Big Bang

« L'hypothèse de l'atome primitif est l'antithèse de l'hypothèse de la création surnaturelle du Monde. »

« Le roseau pensant peut vraiment dominer l'univers en le connaissant dans son entièreté ». Croyez-le ou non, c'est un prêtre qui parle ! Un prêtre qui, toute sa vie, devra se battre doublement. D'abord pour faire admettre une vision du monde révolutionnaire. Ensuite pour faire admettre que celle-ci n'a rien de religieux.

C'était sans doute beaucoup demander à un seul homme. Les résistances qu'il rencontra, tant sur le plan scientifique que sur le plan philosophique, empêchèrent l'abbé Lemaître d'être reconnu à sa juste valeur. Tous les scientifiques ne sont pas prêts à prendre au sérieux un collègue qui porte la soutane. Tous les chrétiens ne sont pas prêts à entendre un prêtre qui raconte le monde sans l'intervention de Dieu. Des uns comme des autres, il fut largement incompris. Et pourtant, c'est lui qui le premier eut cette révélation phénoménale, qui allait bouleverser le paysage de la cosmologie : l'univers n'est pas immuable, il est en expansion. Et s'il est en expansion, il a dû connaître quelque chose qui ressemble à un commencement. Exit l'éternité : Georges Lemaître est l'homme qui a véritablement signé l'acte de naissance de l'univers.

On peut difficilement imaginer projet plus ambitieux. Même Einstein, qui n'était pas le dernier des novateurs, trouva cela vraiment trop téméraire : « Vos calculs sont justes, mais votre physique est abominable ». L'idée découlait pourtant de ses propres équations, ces fameuses équations du champ de la gravitation qui décrivent l'univers à grande échelle. Mais il avait pris soin, lui, de museler les possibilités contenues dans son système. Convaincu que l'univers était fixe et éternel – parce que les observations disponibles ne disaient pas autre chose –, il avait calibré ses calculs pour le décrire comme tel, en introduisant une « constante cosmologique » soigneusement ajustée, et plutôt difficile à justifier. Mais Lemaître n'est pas parti d'un a priori. Il a considéré les univers qui découlent naturellement des équations d'Einstein, et qui sont soit en expansion, soit en contraction. Un physicien russe, Alexandre Friedmann, avait fait les mêmes calculs avant lui, imaginant pour la première fois la dynamique et la création de l'univers à partir d'un système d'équations. Mais c'était un théoricien pur qui n'eut pas beaucoup d'écho parmi les cosmologistes, d'autant moins qu'il mourut jeune. Ses solutions furent considérées comme des curiosités mathématiques, sans implications physiques. Lemaître, lui, après avoir retrouvé les mêmes résultats de façon indépendante, poussa le raisonnement plus loin. S'il était possible que l'univers évolue, cela devrait pouvoir s'observer d'une manière ou d'une autre. En fait, Lemaître avait depuis longtemps un goût pour l'astronomie expérimentale, et il était au courant d'un phénomène étonnant qui n'avait reçu encore aucune explication. Un certain Vesto Slipher, de l'observatoire de Flagstaff, en Arizona, avait observé que la plupart des nébuleuses (dont on ignorait encore le statut de galaxies extérieures à la nôtre) montraient un décalage de leurs raies spectrales vers le rouge. Ce type de décalage est la signature classique de l'effet Doppler, qui indique l'éloignement de l'objet observé (ou son rapprochement si les raies sont décalées vers le bleu). C'était le premier signe tangible de l'évolution de l'univers, apparu au moment précis, en 1917, où Einstein introduisait la constante cosmologique pour bannir de ses équations toute expansion intempestive. Il revient à Hubble d'avoir étudié en détail ce décalage spectral et de l'avoir mis en relation avec la distance des objets observés – qu'il identifia définitivement comme des galaxies lointaines. Mais l'homme qui fut capable d'interpréter ces faits à la lumière de la relativité générale, c'est Georges Lemaître. Avant même que Hubble ne publie ses résultats, Lemaître a compris que ceux-ci prouvent l'expansion de l'univers, potentiellement contenue dans les équations d'Einstein, et il publie un article fondamental : « Un univers homogène de masse constante et de rayon croissant, rendant compte de la vitesse radiale des nébuleuses extragalactiques ». Dans cet article, Lemaître ne se contente pas, comme Friedmann, de montrer que l'expansion est l'une des solutions aux équations d'Einstein, il affirme que c'est la *vraie* solution, celle qui s'accorde avec les observations. Utilisant les chiffres de 42 nébuleuses extragalactiques, il annonce de plus la loi de proportionnalité entre la vitesse de fuite et la distance, avec des chiffres pratiquement identiques à

ceux qui passeront à la postérité sous le nom de « Loi de Hubble ». Satisfait de ces résultats, Lemaître les publie dans les Annales de la Société scientifique de Bruxelles, envoie une copie à son ancien directeur de thèse, Eddington, puis se consacre à d'autres calculs.

Deux ans plus tard, après la publication des travaux de Hubble, il s'aperçoit que les ténors de la cosmologie théorique, dont Eddington et De Sitter, sont plongés dans la plus grande perplexité et s'avouent incapables d'interpréter ces résultats. Stupéfait, il prend sa plus belle plume pour rappeler à Eddington que lui-même a réalisé cette interprétation depuis un bout de temps, nouvelle copie de son article à l'appui. Eddington, qui n'a manifestement pas été très attentif, bat sa coulpe, crie au génie et fait savoir à la face du monde que la première cosmologie de l'expansion de l'Univers a vu le jour. C'est un pas de géant pour l'humanité. Eddington, De Sitter, Einstein même, tous sont convaincus. Mais Georges Lemaître, lui, a déjà fait le pas suivant, qui le porte sur un terrain encore bien plus périlleux, celui de la naissance de l'univers.

Qui dit expansion dit évolution, et qui dit évolution dit origine. Puisque l'univers se dilate, il faut bien qu'il ait été plus comprimé dans le passé, de plus en plus comprimé au fur et à mesure que l'on remonte le temps. La densité la plus forte que les physiciens puissent imaginer est celle du noyau atomique, dans lequel les particules sont pratiquement les unes contre les autres. Il imagine dès lors que l'univers tout entier aurait connu cette densité limite, et aurait eu l'allure d'un immense « atome primitif ». Celui-ci se serait désagrégé, entraînant la formation des galaxies, des étoiles et de toutes les structures que nous connaissons. Le prêtre propose même un scénario pour la formation des différentes structures que nous observons à l'heure actuelle : elles se seraient formées à partir de petites fluctuations de densité dans la matière de l'univers primitif. De petites condensations locales auraient formé les germes des galaxies et des amas de galaxies. Cette idée révolutionnaire est à l'origine de la théorie du « Big Bang », appellation péjorative inventée par Fred Hoyle mais qui – ironie de l'histoire - a probablement fait beaucoup pour sa popularité.

Ce scénario-là, Lemaître ne pourra pas la formuler avec toute la rigueur que requiert une véritable théorie des origines. Contrairement à l'expansion, qui s'inscrit naturellement dans un cadre théorique préexistant, celui de la relativité générale, l'hypothèse de l'atome primitif met en jeu des connaissances de physique nucléaire qui étaient encore balbutiantes à l'époque. Mais surtout, et pour la première fois dans l'histoire de la physique, Georges Lemaître formule une hypothèse qui jette un pont entre deux domaines jusque-là totalement étanches : celui de la cosmologie, science de l'infiniment grand, et celui de la physique nucléaire, science de l'infiniment petit. Personne n'était préparé à ce grand écart. La résolution de cette conjonction nécessaire allait plonger la physique dans une crise majeure liée à la difficulté d'unifier dans une même description le caractère continu de l'espace-temps et le caractère discret des atomes. L'étude des premiers moments de l'univers impose l'invention d'une théorie de gravitation quantique toujours rebelle à l'heure actuelle, même si des avancées ont été faites. Quant à l'identification des fluctuations de densité de l'univers primordial, elle est au cœur même des programmes de recherche actuels.

Mais c'est sur le plan philosophique que les idées de Lemaître causent la plus grande confusion. Le concept même de commencement de l'univers déclenche une tempête de protestations. Cela sent trop la genèse, surtout venant d'un prêtre. Chaque fois qu'il entend parler de l'atome primitif, Einstein s'écrie : « Non, pas cela, cela suggère trop la création ! » Lemaître affirme au contraire que sa théorie décrit un commencement purement naturel de l'univers. « On peut voir cet événement comme un commencement. Je n'ai pas dit une création ». Mais rien n'y fait. Et les tentatives de récupération par certains représentants de l'Eglise n'aident pas à dissiper le malentendu. Malgré tout le respect que Georges Lemaître porte au pape Pie XII, il ne peut que se sentir consterné de l'entendre affirmer : « Plus la science progresse, plus elle découvre Dieu » et : « La science a réussi à se faire le témoin du 'Fiat lux' initial ». C'est tout le contraire de ce qu'il cherche à dire, mais personne ne semble vouloir le croire.

Outre cette controverse encombrante sur les motivations religieuses de la nouvelle théorie, il reste que celle-ci soulève bien des questions insolubles sur la nature du temps et de l'espace. Le grand Eddington illustre toute la difficulté d'abandonner l'idée d'un univers éternel en disant : « Philosophiquement, je trouve répugnante la notion d'un commencement à l'ordre présent de la nature ». Lemaître, lui, propose une révision radicale de nos conceptions : « Nous pouvons concevoir que l'espace a commencé avec l'atome primitif et que le commencement de l'espace a

marqué le commencement du temps. » Il imagine que l'espace et le temps perdent leur sens au niveau atomique et n'émergent qu'au niveau statistique, tout comme la température émerge du mouvement d'un grand nombre de particules. Audace sidérante, qui n'a pas encore fini de soulever des résistances, même si les physiciens actuels sont de plus en plus convaincus qu'au-dessous des échelles de Planck, soit 10^{-43} seconde et 10^{-35} mètre (c'est-à-dire bien au-dessous encore de l'échelle des atomes), les notions même d'espace et de temps ne sont pas définies.

Mais qu'est-ce qui a bien pu mener ce fils de verrier de Charleroi vers une aventure intellectuelle aussi démesurée ? C'est, de son propre aveu, une double vocation qui s'empara de lui alors qu'il avait neuf ans, et le décida à devenir savant et prêtre. Il affirma jusqu'à son dernier souffle qu'il s'agissait de deux chemins différents vers la vérité, indépendants mais complémentaires, et qu'il entendait suivre les deux. La guerre retarde ses projets. Il s'engage dès le mois d'août 1914 et passe quatre ans au front – il connaît les plus durs moments de la bataille de l'Yser. Ce n'est qu'ensuite qu'il peut achever ses études et obtenir son grade de docteur en sciences physiques et mathématiques, à l'université de Louvain, après quoi, constant dans ses projets, il entre au séminaire. Il est ordonné prêtre en 1923. Le voilà libre de cheminer librement sur les deux chemins qu'il s'est choisis et qu'il tiendra soigneusement séparés, en dépit de toutes les tentatives d'amalgame qu'on ne manquera pas de faire pour lui. Très vite, ses goûts le portent vers la toute jeune relativité générale, il obtient une bourse pour étudier à l'étranger et part à Cambridge où il suit les cours d'Arthur Eddington et Ernest Rutherford, puis il s'embarque pour les Etats-Unis et étudie à Harvard et au MIT. Les physiciens américains sont beaucoup plus friands d'expérimentation que les purs théoriciens de la vieille Europe, et Lemaître arrive précisément au moment où les réunions scientifiques bouillonnent de données astronomiques intrigantes. C'est ainsi que le jeune prêtre est fasciné par l'identification des galaxies lointaines et par les premières mesures de leur vitesse d'éloignement. Il se met à réfléchir au lien qui doit unir toutes ces données au grand cadre théorique fourni par Einstein.

Rentré à Louvain, il se met à préparer les cours qu'il va devoir donner ainsi que l'article qui marquera un tournant dans la cosmologie. Il lui fallut sans conteste une très grande audace pour oser avancer l'hypothèse d'un univers en expansion. Le poids d'Einstein n'était pas mince dans le consensus qui attachait la communauté scientifique au modèle statique. Même Hubble recule devant les implications de ses propres observations. Il reste convaincu que les galaxies s'éloignent de nous dans un espace fixe, alors que c'est l'espace même qui se dilate, emportant les galaxies avec lui.

Comme on l'a vu, le trait de génie de Lemaître tombe à plat, et il faut attendre l'intervention d'Eddington, deux ans plus tard, pour que son hypothèse soit entendue. Dès ce moment, il devient l'égal des plus grands astronomes et physiciens de son temps. Il est invité plusieurs fois aux Etats-Unis où la presse l'acclame comme « le fameux scientifique belge ». Il reçoit de nombreux prix et distinctions, discute longuement avec Einstein sur le problème de la constante cosmologique. C'est la consécration, même si ses nouvelles publications sur l'hypothèse de l'atome primitif soulèvent une résistance massive. Au moins est-il entendu.

Avec la deuxième guerre mondiale, cette belle activité va se trouver bridée. Confiné à Louvain, où il continue de donner ses cours, l'ecclésiastique est privé de tout contact avec ses collègues étrangers. La vie sous l'occupation est des plus morne. Il se replie vers des lectures qui doivent l'aider à étoffer son cours de mécanique et s'éloigne progressivement de la cosmologie. Quand le joug se lève enfin, un fossé le sépare de la physique qui s'est développée aux Etats-Unis, en particulier la physique des particules. Il consacre son attention à des sujets qui sont parfois bien éloignés de ses grands travaux : l'algèbre, la mécanique, le calcul numérique (il collectionne les machines à calculer, puis se passionne pour les premiers ordinateurs), ou même la pédagogie de l'arithmétique élémentaire (il invente une nouvelle notation des chiffres et baptise sa méthode : « Calculons sans fatigue »). Ainsi, si l'on doit à Lemaître les deux idées clé de la cosmologie du 20^{ème} siècle, l'expansion de l'univers et son origine singulière, il ne faut pas oublier qu'il a exercé sa sagacité dans une foule de domaines différents, dans une succession de passions et un jaillissement permanent d'idées originales. Mais beaucoup de ses découvertes ou intuitions brillantes, même en cosmologie, furent oubliées et redécouvertes bien plus tard. Il fut le premier à

comprendre que la surface du trou noir n'est pas une véritable singularité, mais ces travaux furent ignorés et redécouverts trente ans plus tard. Les singularités cosmologiques de type « Big Bang », en revanche, lui sont apparues comme une conséquence inéluctable de la relativité générale, ce que Hawking et Penrose, encore une fois, redécouvrirent et démontrèrent de manière plus générale dans les années 1960. Contre Einstein, qui retira sa constante cosmologique en la traitant de bévue, Lemaître affirma qu'il fallait la maintenir sous une autre forme pour rendre le modèle du Big Bang compatible avec l'âge des plus vieilles étoiles (en accélérant l'expansion, elle rend l'univers plus vieux que ce que nous calculons sans accélération) et, de plus, il devina que la justification de la constante cosmologique résidait dans l'énergie du vide, ce qui ne fut redécouvert qu'en 1962 par Zeldovich. Il eut également à cœur de trouver des preuves de la désintégration de l'atome primitif et pensa à un « rayonnement fossile » - qu'il appelait joliment « l'éclat disparu de la formation des mondes ». Selon lui, ces traces de l'origine pouvaient être matérialisées par les rayons cosmiques qu'il étudia longuement. Il se trompait seulement sur la longueur d'onde. C'est George Gamow qui fit l'hypothèse correcte que ce rayonnement fossile serait plutôt de nature thermique. Lorsque Penzias et Wilson découvrirent en 1964 le rayonnement de fond cosmologique, ce fut une immense victoire pour tous ceux qui avaient mis leurs espoirs dans l'hypothèse du Big Bang. Georges Lemaître fut instruit de la découverte alors qu'il était fort malade, et il l'accueillit comme un grand soulagement : « Je suis content. Maintenant, au moins, on a la preuve ». Il s'éteignit quelques jours plus tard, sachant qu'il avait transformé notre compréhension de l'univers.

Grâce à Georges Lemaître, nous sommes aujourd'hui tous convaincus que : « Notre univers porte les marques de la jeunesse et nous pouvons espérer reconstituer son histoire. Les documents dont nous disposons ne sont pas enfouis dans les empilements de briques poinçonnées des Babyloniens, notre bibliothèque ne risque pas d'être détruite dans quelque incendie ; c'est l'espace admirablement vide où se conservent les ondes lumineuses mieux que sur la cire des phonographes ».

Mais ses plus impressionnantes intuitions sont celles qui sont en train de devenir réalités aujourd'hui même. Dans le modèle cosmologique de Lemaître, établi en 1931, l'univers est en expansion perpétuelle accélérée avec contribution dominante de la constante cosmologique et courbure spatiale positive. Or, coup sur coup, voici que ces deux prédictions prennent corps. L'observation précise des supernovae la, depuis 1998, a établi que l'expansion de l'univers était accélérée, tandis que les toutes récentes données fournies par le satellite MAP favorisent une courbure spatiale très légèrement positive ($\omega = 1,02 \pm 0,02$). Beau coup de maître pour Lemaître !

Pour en savoir plus :

Dominique Lambert, Un atome d'Univers, la vie et l'œuvre de Georges Lemaître, Lessius/Racine, 2000

Alexandre Friedmann / Georges Lemaître, Essais de cosmologie, Le Seuil, 1997

Jea-Pierre Luminet, L'Univers chiffonné, Fayard, 2001