



**HAL**  
open science

## Le statut de l'origine en cosmologie moderne

Henri Reboul

► **To cite this version:**

Henri Reboul. Le statut de l'origine en cosmologie moderne. Cahiers d'Études du Religieux. Recherches Interdisciplinaires- CERRI, 2019, 21, 10.4000/cerri.2850 . hal-02564742

**HAL Id: hal-02564742**

**<https://hal.science/hal-02564742>**

Submitted on 12 Jun 2023

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

---

## Le statut de l'origine en cosmologie moderne

Henri Reboul

---



### Édition électronique

URL : <https://journals.openedition.org/cerri/2850>

DOI : [10.4000/cerri.2850](https://doi.org/10.4000/cerri.2850)

ISSN : 1760-5776

### Éditeur

CRISES - Centre de Recherches Interdisciplinaires en Sciences Humaines et Sociales de Montpellier

Ce document vous est offert par Université de Montpellier



### Référence électronique

Henri Reboul, « Le statut de l'origine en cosmologie moderne », *Cahiers d'études du religieux. Recherches interdisciplinaires* [En ligne], 21 | 2019, mis en ligne le 14 octobre 2019, consulté le 09 juin 2023. URL : <http://journals.openedition.org/cerri/2850> ; DOI : <https://doi.org/10.4000/cerri.2850>

---

Ce document a été généré automatiquement le 16 février 2023.



Creative Commons - Attribution - Pas d'Utilisation Commerciale - Pas de Modification 4.0 International  
- CC BY-NC-ND 4.0

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>

---

# Le statut de l'origine en cosmologie moderne

Henri Reboul

---

## 1. Introduction

- 1 Limitée à la cosmologie moderne il n'est pas dans l'objet de cette étude de rappeler comment l'avènement de la physique classique au XVII<sup>e</sup> siècle avec l'affirmation des caractères absolus du temps et de l'espace<sup>1</sup> avait été fatal à la cosmologie antique et médiévale. Une phrase est souvent invoquée pour illustrer, évidemment trop partiellement, ce qu'était devenu le statut épistémologique de la cosmologie au XIX<sup>e</sup> siècle : « La notion vague et indéfinie de l'Univers est si peu accessible à la saine astronomie, que nous devons finalement exclure ce terme du vrai langage scientifique, en tant que directement relatif à une hypothèse inappréciable, la conception de tous les astres existants comme formant un système unique, au lieu d'un nombre, peut-être fort grand, de systèmes partiels, indépendants les uns des autres »<sup>2</sup>.
- 2 Gravitation universelle, électromagnétisme et thermodynamique statistique semblent rendre omnipotente la physique classique à la fin du XIX<sup>e</sup> siècle. Mais elle connaît toutefois au moins cinq failles, même si on ne cite généralement que les deux ou trois premières :
  - les résultats négatifs de l'expérience de Michelson et Morley (constance de la vitesse de la lumière) contredisent la composition classique des vitesses et donc (une vitesse étant un rapport entre espace et un temps) l'indépendance du temps et de l'espace.
  - l'électromagnétisme de Maxwell prévoit, contrairement aux expériences, une divergence (infinie !) du spectre du rayonnement thermique vers les hautes fréquences.
  - l'avance du périhélie de la planète Mercure présente un excès de 43 secondes d'arc par siècle par rapport à l'orbite déduite de la gravitation universelle de Newton.
  - le non-effondrement de l'univers contredit la purement attractive gravitation Newtonienne (qui donne à l'univers un temps de chute libre qui ne dépend que de sa densité moyenne et non de son étendue).

- l'accumulation de la lumière d'une infinité d'étoiles devrait rendre le ciel infiniment brillant (paradoxe déjà dénoncé sous une forme plus limitée par Kepler<sup>3</sup>).

## 2. La grande révolution de la Physique et la Cosmologie moderne

- 3 En 1900 Planck montre que le spectre observé du rayonnement thermique du corps noir est bien expliqué par la quantification des échanges d'énergie entre matière et lumière<sup>4</sup>. En 1905 Einstein<sup>5</sup>, en étudiant l'effet photo-électrique, induit que la lumière (rayonnement électromagnétique) est elle-même quantifiée. La même année il publie la relativité restreinte<sup>6</sup> : espace et temps y deviennent reliés et masse  $m$  et énergie  $E$  peuvent s'échanger avec l'équivalence  $E = mc^2$ .
- 4 Einstein obtient dix ans plus tard la relativité générale<sup>7</sup>. Cette théorie géométrique de la gravitation contient une équation différentielle qui relie la géométrie de tout contenant (espace-temps) à son contenu (matière-énergie) et un principe d'*extremum*. La relativité générale contient la relativité restreinte, elle explique aussitôt l'excès d'avance du périhélie de Mercure et prévoit une déviation des rayonnements lumineux par une masse (différente de celle de Newton) qui commence à être vérifiée dès 1919.
- 5 La physique classique est renversée même si cela n'est pas vécu par la plupart des scientifiques. Et ce n'est pas encore « tout ». En 1917 Einstein<sup>8</sup> applique la Relativité générale à l'univers supposé (principe cosmologique) uniforme (homogène et isotrope). Confronté au problème de l'effondrement d'un tel univers avec sa première équation de la relativité générale, il introduit, dans le membre de gauche (géométrique) de cette équation la constante cosmologique  $\Lambda$  qui affecte à l'espace une vertu expansive. Elie Cartan montrera qu'ainsi complété le tenseur d'Einstein est mathématiquement bien plus général. De cette nouvelle formulation Einstein déduit un modèle d'univers statique et hypersphérique (fini mais non borné, comme avec une dimension de moins, l'est une surface sphérique). Cet « univers d'Einstein » dans lequel une lumière émise finit par repasser par son point de départ (et n'explique pas le ciel noir) aura une longue carrière médiatique. Mais parallèlement et presque sans rien dire une révolution philosophique est initiée : le tout<sup>9</sup> est rentré en science. On peut considérer 1917 comme la renaissance de la cosmologie et la naissance de la cosmologie moderne. Et ce n'est pas fini.
- 6 En 1922 Alexandre Friedmann montre<sup>10</sup> que la solution générale pour un univers uniforme est un espace-temps non-statique : la partie spatiale de sa géométrie est affectée d'un facteur d'échelle  $R(t)$ . Il décrit notamment des solutions avec une fonction  $R(t)$  croissante depuis une valeur ...nulle dans le passé. Mais  $R(t) = 0$  signifie qu'on ne peut plus « alors » parler d'espace ni donc de temps, de matière et d'énergie. Cinq années après le tout, c'est ainsi le possible commencement de ce tout qui rentre en science et cette fois en le disant : dans l'article de Friedmann on trouve trois fois pour la singularité  $R(t) = 0$  l'expression « *Erschaffung der Welt* » (la création du monde) même si on peut comprendre que ce peut être une façon de parler et s'il précise que la durée depuis cet événement peut aussi être infinie.
- 7 Einstein publie rapidement une note<sup>11</sup> signalant une erreur de Friedmann et la constance du facteur d'échelle  $R$ . Un an après, dans une note encore plus courte<sup>12</sup> (huit lignes) il reconnaît sa propre erreur et admet qu'en plus de la solution statique ( $R$

constant) il en existe des variables. Toutefois si la solution statique d'Einstein est bien mathématiquement exacte, elle est, comme le montrera Eddington<sup>13</sup> à partir de l'article de Lemaître cité ci-dessous, tout aussi mathématiquement, « instable ». Comme pour l'équilibre d'un crayon que l'on pose verticalement sur sa pointe le moindre écart va s'amplifier, de même, pour le modèle d'univers cela va entraîner soit l'expansion, soit la contraction de son espace, la staticité nécessitant une relation exacte entre les valeurs de ses paramètres de densité.

- 8 Indépendamment de Friedmann, Georges Lemaître retrouve<sup>14</sup> les équations (différentielles) de Friedmann sur  $R(t)$  et, utilisant les observations alors disponibles sur les distances<sup>15</sup> et les décalages spectraux des galaxies<sup>16</sup>, il en déduit la première mesure observationnelle du taux d'expansion de l'univers : «  $\dot{R}/R = 625 \text{ km/s à } 1 \text{ Mpc}$  »
- 9 En 1929, dans un article très souvent cité<sup>17</sup>, Edwin Hubble dégage empiriquement une relation linéaire de coefficient 500 km/s et par Mpc et envisage qualitativement la possibilité d'un modèle cosmologique. On appellera longtemps « constante » « de Hubble »  $H_0$  cette approximation à faible distance de la valeur actuelle ( $t = t_0$ ) du taux d'expansion  $(\dot{R}/R)(t_0)$ <sup>18</sup>.
- 10 En 1931 Lemaître décrit dans cinq articles le modèle standard actuel (depuis 1998) que l'on désigne aujourd'hui par  $\Lambda$ -CDM et considère (mais qualitativement) son possible commencement quantique : « l'atome primitif »<sup>19</sup>.
- 11 Bien évidemment les valeurs des paramètres comme le taux d'expansion, les masses volumiques de matière, de rayonnement et de  $\Lambda$  ont été affinées au fil du temps et continuent de l'être mais on peut dire qu'en 1931 notre modèle géométrique d'univers est déjà décrit.

### 3. Le premier débat cosmologique

- 12 En 1932 Einstein, devant l'accumulation des observations, se rallie à l'expansion de l'espace avec ce qui devient le modèle d'Einstein-de Sitter sans préciser dans son article<sup>20</sup> qu'il s'agit en fait du modèle de Friedmann-Lemaître le plus simple (en forçant à zéro pression, courbure spatiale et constante cosmologique). La renommée d'Einstein en fera le modèle dominant durant trois quarts de siècle (sauf pour les adversaires du commencement) et ce malgré (ou en raison de) son conflit flagrant avec les mesures : dans ce modèle l'âge de l'univers  $t_0 = 2/3H_0$  s'est retrouvé la plupart du temps (au gré des évolutions des mesures de  $H_0$  et des estimations des âges des étoiles) inférieur aux âges physiques (datations) des astres les plus vieux.
- 13 Des théories alternatives sans commencement apparaissent : Zwicky 1929<sup>21</sup> (lumière fatiguée), Tolman 1934 (univers oscillant), Milne 1935<sup>22</sup>, Hoyle 1948 (modèle stationnaire), Pecker (1975). Prenons l'exemple de ces deux dernières.
- 14 Dans le modèle stationnaire, mais non statique, de Hoyle<sup>23</sup> le facteur d'échelle  $R(t)$  croît exponentiellement depuis un temps infini. Mais sa densité de matière reste constante grâce à l'adjonction qu'il fait, dans les équations de la relativité générale, d'un tenseur de création (de matière). Il a clairement exprimé à la BBC<sup>24</sup> sa position sur le Big Bang: « *The reason why scientists like the 'big bang' is because they are overshadowed by the Book of Genesis* ».
- 15 Et on trouve chez d'autres très grands scientifiques la trace de motivations symétriques. Dans les dernières lignes de cet ouvrage de référence<sup>25</sup> paru en 1976 on

peut lire : « *This, plus the evidence that the Universe evolves (equality of age of other galaxies, similarity of  $1/H_0$  and the age of chemical elements, and the possible observation of the time horizon for the birth of quasars), is consistent with the view that a universal creation event did, in fact, occur* ».

- 16 Il y avait aussi dans ces années-là la grande querelle de spécialistes sur la mesure du taux d'expansion avec une école qui défendait  $H_0 = 50$  ( $\text{km s}^{-1} \text{Mpc}^{-1}$ ) et une autre  $H_0 = 100$ . La valeur 50 rendait marginalement compatible le modèle alors standard d'Einstein-de Sitter (et donc le Big Bang) avec l'âge des plus vieilles étoiles, alors que la valeur 100, qui donnait un âge de l'univers deux fois plus faible, l'excluait.
- 17 En France, Jean-Claude Pecker et ses collaborateurs reprennent l'hypothèse de la lumière fatiguée de Zwicky et modélisent<sup>26</sup> une explication des décalages spectraux, alternative à l'expansion de l'espace, par une interaction des photons avec des particules hypothétiques  $\varphi$ . Mais une telle interaction devrait accessoirement dévier les photons et sera progressivement infirmée par des images bien nettes d'astres de plus en plus lointains. Sa motivation est très clairement exprimée<sup>27</sup> : « Mon intention partait de beaucoup plus loin. Je suis athée et lorsqu'en 1951, le pape a vu dans le big bang le « fiat lux » des origines, j'ai mal supporté que tout le monde scientifique abonde dans ce sens ». Sa résistance à la domination de la théorie du Big Bang demeure<sup>28</sup> : “the origin of MBR [(rayonnement de fond cosmologique)] may lie, at least in a very large part, in re-radiation of thermalized galactic starlight.”
- 18 C'est effectivement en 1951 que le pape Pie XII, dans un discours introductif à un colloque de l'Académie Pontificale des Sciences, déclare<sup>29</sup> : « On ne peut nier qu'un esprit éclairé et enrichi par les connaissances scientifiques modernes, et qui envisage avec sérénité ce problème, est conduit à briser ce cercle d'une matière totalement indépendante et autonome – parce qu'incrée ou s'étant créée elle-même – et à remonter jusqu'à un Esprit créateur. [...] Il semble en vérité que la science d'aujourd'hui, remontant d'un trait des millions de siècles, ait réussi à se faire le témoin de ce Fiat Lux initial, de cet instant où surgit du néant, avec la matière, un océan de lumière et de radiations, tandis que les particules des éléments chimiques se séparaient et s'assemblaient en millions de galaxies. » Il ne s'agit certes pas d'une déclaration dogmatique mais ce propos, schématisé par les médias, a pu susciter, en réaction, des tentatives de contradiction du big bang ayant le *fiat lux* en ligne de mire.
- 19 Georges Lemaître était présent et est intervenu ensuite, par l'intermédiaire notamment du P. O'Connell, de M<sup>gr</sup> dell'Acqua et du C<sup>al</sup> Tisserand<sup>30</sup>, pour conseiller au pape d'éviter à l'avenir ces propos concordistes. Il a par ailleurs affirmé, à maintes reprises au cours de sa vie, son attachement à une théorie purement scientifique comme en 1958 dans ce commentaire de son hypothèse de l'atome primitif : « As far as I can see, such a theory remains entirely outside any metaphysical or religious question. It leaves the materialist free to deny any transcendental Being. He may keep, for the bottom of space-time, the same attitude of mind he has been able to adopt for events occurring in non-singular places in space-time. For the believer, it removes any attempt to familiarity with God, as were Laplace's chiquenaude or Jeans' finger. It is consonant with the wording of Isaias speaking of the « Hidden God » hidden even in the beginning of creature »<sup>31</sup>.
- 20 On pourrait remarquer que la citation précédente concerne, l'« atome primitif » (cf. le titre de l'article) et que l'hypothèse d'un insécable et unique quantum évite la singularité géométrique  $R = 0$  mais on trouve quelques années plus tard son affirmation

plus fondamentale de la séparation entre les concepts de création et de commencement : « Certains problèmes qui ont préoccupé les philosophes, et je pense à nouveau aux antinomies de Kant, seraient en fait des problèmes mal posés. Il en serait ainsi du problème de la création, non pas en ce que cette notion a de proprement ontologique en exprimant la dépendance de tout être fini, dans son espace et sa réalité, vis-à-vis d'un être Supérieur. À ce point de vue, la création est essentiellement continue, car si cette dépendance pouvait cesser, l'être fini ne pourrait continuer à exister »<sup>32</sup>. Lemaître reprend ici la pensée de Thomas d'Aquin : « La création, en effet, n'est pas un changement, mais la dépendance même de l'être créé par rapport au principe qui l'établit dans l'être. »<sup>33</sup> Et « Quand on dit que les choses ont été créées au commencement du temps, on n'entend pas que le commencement du temps soit la mesure de la création, mais que le ciel et la terre ont été créés avec le temps, simultanément »<sup>34</sup>. Ces derniers mots, *simul cum tempore caelum et terra creata sunt*, expriment bien, au-delà de l'idée de création, la coextensivité du temps et de l'univers que retrouve la relativité générale.

## 4. Le rayonnement de fond cosmologique

- 21 Bien que prévu et recherché, le rayonnement de fond cosmologique est découvert fortuitement en 1964-1965 par Penzias et Wilson<sup>35</sup> sous la forme d'un excès de bruit en ondes centimétriques équivalent à un rayonnement de corps noir à 3,5 Kelvin et qui, à la précision des mesures, paraît isotrope, non polarisé et sans variation saisonnière. L'interprétation cosmologique est aussitôt faite (et publiée dans les pages précédentes de *l'Astrophysical Journal*) par Dicke, Peebles, Roll & Wilkinson<sup>36</sup>.
- 22 L'un des deux découvreurs, Robert Wilson, déclare en 1990<sup>37</sup> : « Philosophiquement j'aimais la cosmologie de l'état stationnaire. Aussi ai-je pensé que nous devions rapporter notre résultat comme une simple mesure : au moins la mesure pourrait rester vraie après que la cosmologie derrière s'avèrerait être fausse ».
- 23 C'est au début de 1990 que le spectre de rayonnement de fond cosmologique (RFC, désigné aussi par CMB pour Cosmic Microwave Background ou MBR pour Microwave Background Radiation<sup>38</sup>) est fourni par la mission spatiale COBE (Cosmic Background Explorer)<sup>39</sup>. Le spectre de cette lumière que le modèle standard prévoit comme s'échappant de la matière lorsque, vers 3000 K, cette dernière passe de l'état de plasma (ionisé et diffusant) à celui de gaz atomique (neutre et transparent), se révèle alors comme un spectre de corps noir théorique (loi de Planck) avec une précision extrême que l'on n'attendait pas (on n'arrive pas au laboratoire à obtenir un spectre aussi proche de celui d'un corps noir idéal). Comme l'espace-temps de ces modèles conserve (s'il est transparent) le caractère thermique (spectre en loi de Planck) d'un rayonnement (sa température  $T(t)$  variant simplement avec le temps  $t$  comme l'inverse du facteur d'échelle  $R(t)$ ), l'observation de ce spectre est un très fort argument en faveur d'un univers qui a connu dans le passé une phase où il était, physiquement, un corps noir, ce que prévoit le modèle standard durant ses 380 premiers milliers d'années.
- 24 Le questionnement sur un commencement du temps et de l'être est toujours présent comme avec les recherches sur le théories du « rebond » : le rajout d'un nouveau contenu de pression négative pourrait empêcher la singularité passée  $R=0$  et ouvrir la possibilité à une phase de contraction précédente, voire, avec l'ajout d'un autre

contenu (énergie sombre très spécifique) pour inverser l'expansion, vers un nouveau rebond et une succession de contractions et d'expansions, déjà envisagée en son temps par le père du Big Bang : » Ces solutions où l'univers se dilatait et se contractait successivement en se réduisant périodiquement à une masse atomique des dimensions du système solaire, avaient un charme poétique incontestable et faisaient penser au phénix de la légende »<sup>40</sup>.

## 5. La nouvelle problématique cosmologique : l'univers et l'observateur

- 25 Si l'on restreint la « théorie du Big Bang » à l'évolution du cosmos observé, depuis un état très dense et très chaud il y a près de quatorze milliards d'années, l'accumulation de ses confirmations observationnelles la rend acceptée par l'immense majorité des cosmologistes.
- 26 Mais à la question de l'origine temporelle, toujours prégnante et surtout entretenue par la confusion entre « création » *ex nihilo* et commencement, s'est rajouté celle des « ajustements » ou « fine tuning » ou « coïncidences », termes qui remplacent, dans les discours actuels, les « principes anthropiques » dont l'origine sera rappelée plus loin. Que sont d'abord ces ajustements et quelles conclusions en tirer ?
- 27 Prenons l'exemple (mathématiquement) simple de la valeur du « paramètre de densité »  $\Omega$  de l'univers. Il doit avoir une valeur infiniment proche de 1 en  $R=0$  pour que l'univers qui va se développer ne soit pas à jamais inobservable (trop expansif et jamais d'astres ou pas assez expansif et temps trop court pour l'émergence d'observateurs avant son effondrement en « Big Crunch » vers un nouvel  $R=0$ ). Si l'on exclut l'ère de Planck<sup>41</sup>, la précision initiale relative sur  $\Omega$  nécessaire à l'observabilité de l'univers n'est plus 1 sur l'infini mais 1 sur  $10^{60}$  c'est-à-dire que la valeur  $\Omega_{p1}$  du paramètre de densité  $\Omega$  au temps de Planck doit être comprise entre  $1-10^{-60}$  et  $1+10^{-60}$ . Il y a beaucoup d'autres paramètres qui, dans l'état actuel des modèles standard des particules et du cosmos, paraissent « libres » (c'est-à-dire que leur valeur n'est pas prévue par la théorie et n'est donc connaissable que par des mesures, comme cela a été le cas aux XVII<sup>e</sup> et XVIII<sup>e</sup> siècles pour les premières valeurs de celles de la vitesse de la lumière et de la constante de la gravitation ...) Et il s'avère que si l'on fait varier de peu un seul de ces paramètres libres on arrive très souvent à une évolution physique de l'ensemble de l'univers ou des astres qui est suffisamment modifiée pour que l'émergence d'observateur, voire carrément toute aventure biologique, y semble constitutivement impossible. Certes la précision nécessaire est souvent moins fine que pour  $\Omega_{p1}$  mais, entre les deux modèles standard (cosmologique et des particules), il y a beaucoup de paramètres libres.
- 28 Pour prendre un autre exemple, assez simple et plus local, pour qu'une étoile (comme le Soleil) produise l'énergie (la lumière) qui rend la surface de la Terre habitable depuis quatre milliards d'années et (vraisemblablement) pendant encore un milliard d'années, il faut que cette étoile (comme les autres) ne marche ... presque pas. Le rapport entre la puissance du Soleil et sa masse est de 1 Watt pour 5 tonnes<sup>42</sup>. Le début de la fusion de l'hydrogène en hélium y est en effet presque (mais pas tout à fait) impossible : les protons chargés positivement se repoussent et seul un effet tunnel quantique leur permet (environ une rencontre sur  $10^{14}$ ) de s'approcher suffisamment pour que la



formation d'un deuton (noyau d'hydrogène lourd) ne soit pas impossible. Ainsi les  $4 \cdot 10^{55}$  protons initialement au centre du soleil peuvent (ne presque pas) fusionner. Chaque fusion d'un proton dégageant  $4 \cdot 10^{-12}$  J (Joule) les  $4 \cdot 10^{55}$  peuvent fournir  $2 \cdot 10^{44}$  J. À raison de  $4 \cdot 10^{26}$  W (ou J/s) la réserve de carburant utilisable par le Soleil peut ainsi durer  $2 \cdot 10^{44} / 4 \cdot 10^{26} = 5 \cdot 10^{17}$  s, soit environ 12 milliards d'années<sup>43</sup>.

- 29 Dans les stades avancés de l'évolution des étoiles la possibilité de synthèse du carbone est également dépendante de l'existence d'un niveau excité du noyau de cet élément
- 30 Ce « rôle » de l'observateur dans la mesure des paramètres de l'univers est bien sûr différent de celui que l'on trouve en physique quantique : dans le cosmos les « mesures » faites par l'observateur ne modifient pas l'objet qu'il étudie, ce sont les caractéristiques de l'objet qui conditionnent la possibilité de l'observateur.
- 31 Mais il y a au moins deux précautions à indiquer au sujet de ces apparents « ajustements ».
- 32 D'abord un « ajustement » à  $10^{-n}$  près n'entraîne pas une « probabilité » de  $10^{-n}$ . En effet cela supposerait que les valeurs des paramètres libres auraient une loi de probabilité uniforme comme (en principe) les tirages d'une loterie, ce que rien ne justifie : les paramètres libres de nos présentes théories pourraient demain se retrouver avec des valeurs théoriquement très confinées autour des valeurs observées.
- 33 Ensuite, si on fait varier ensemble tous les paramètres libres il se pourrait que l'on trouve dans cet espace des phases d'autres zones habitables et on est très loin d'en avoir exploré tout l'hyper volume.
- 34 Comme indiqué ce questionnement s'est d'abord exprimé sous l'appellation de « principes anthropiques » avec leurs premières définitions en 1973<sup>44</sup> (avec même la possibilité d'un test de la forme « forte »). Les formulations ont varié et se sont multipliées par la suite. L'inventeur du terme l'a lui-même regretté et reformulé<sup>45</sup> : « Regrettez-vous le terme de principe anthropique ? J'aurais pu choisir une autre expression, plus précise, "effet de sélection dû à l'existence de l'observateur" par exemple [...] Toujours est-il que ceux qui ont compris « anthropique » comme faisant référence à l'homme uniquement se sont trompés. J'inclus dans ce terme toutes les espèces pensantes. [...] J'ai forgé le principe anthropique en réaction à l'idée trop communément admise que l'univers était partout identique et que notre situation était tout à fait quelconque – c'est ce que l'on appelle le principe cosmologique ou le principe de Copernic ou le principe d'ubiquité. Pour autant je ne verse pas dans l'extrême opposé – le principe auto centrique ou pré copernicien. Notre situation n'est pas quelconque mais elle n'est pas tout à fait exceptionnelle ni unique. » Effectivement si les paramètres cosmiques (universels d'après le principe cosmologique) sont tels que l'émergence de la vie et celle de la pensée sont possibles dans une région de l'espace-temps (et notre présence l'atteste pour la planète Terre de ces derniers milliards d'années), rien n'empêche a priori (ni n'oblige) qu'elle se produise en d'autres points de ce vaste espace-temps.
- 35 Pour remonter plus loin on trouve en 1961 (cité par B. Carter en 1973) la préfiguration d'une forme faible du principe anthropique : l'âge de l'univers que nous mesurons n'est pas aléatoire mais nécessairement lié à notre aventure et comme « It is well known that carbon is required to make physicists »<sup>46</sup> cet âge doit être comparable à la durée de vie d'une étoile puisque nous avons besoin d'étoiles mortes pour avoir synthétisé et

dispersé du carbone et d'une étoile vivante, formée plus tardivement, pour rendre une planète carbonée habitable.

## 6. Au-delà du modèle standard

- 36 La question des ajustements qui, rien qu'avec l'actuel modèle standard de la cosmologie, semblent nécessaires à l'observabilité de l'univers est évidemment une motivation forte à trouver une théorie dans laquelle cette observabilité en puissance apparaisse plus naturelle. S'y rajoute le souhait d'unifier les deux théories fondamentales de la physique avec l'éventualité d'un lien entre ces deux espérances.
- 37 Parmi les recherches actuelles en cosmologie la plus estimée est l'inflation. Le rajout d'une phase de croissance (multiplication par  $10^{30}$  ou plus) du facteur d'échelle de l'univers vers  $10^{-35}$  s après le Big Bang pourrait en effet expliquer en même temps :
- celui de l'âge-platitude : l'apparent réglage de  $|\Omega - 1|$  à  $10^{-60}$  près au temps de Planck
  - celui de la causalité : comment le RFC a-t-il la même température dans des régions qui (sans inflation) n'ont jamais été (depuis le Big Bang) en lien causal ?
  - l'origine des inhomogénéités primordiales : la vraisemblance d'une inflation a récemment augmenté avec l'indice spectral observé des fluctuations du RFC.
- 38 Bien qu'en progrès grâce à cette dernière (et initialement non recherchée) qualité, le statut épistémologique de l'inflation présente toutefois des fragilités : elle présuppose un nouveau constituant de l'univers, pour l'instant inconnu, et qui, pour être efficient, ne serait pas exempt d'autres ajustements.
- 39 Le statut de l'« énergie sombre » que beaucoup de physiciens cherchent à substituer à  $\Lambda$  pour expliquer l'accélération présente de l'expansion semble actuellement plutôt en déclin. Lemaître avait argumenté en faveur de la substitution à  $\Lambda$  d'une « énergie du vide » d'équation d'état  $p = -\rho c^2$  entre pression  $p$  et masse volumique  $\rho$ , la qualifiant « essentially the meaning of the cosmical constant »<sup>47</sup>. On peut effectivement, sans changer mathématiquement les équations de la relativité générale, y remplacer  $\Lambda$  par une telle entité physique. Une « énergie sombre » aurait, par contre, une équation d'état  $p = w\rho c^2$  avec  $w \neq -1$ , voire variable. Or les mesures se resserrent autour  $w = -1$ . La centenaire constante cosmologique  $\Lambda$  est, pour l'instant, l'hypothèse la plus simple et son caractère géométrique pose moins le problème d'ajustement extrême de son équivalent physique.
- 40 Quant à l'unification entre relativité générale et physique quantique, les recherches de plus d'un demi-siècle n'ont pas encore fourni de théorie satisfaisante. En utilisant l'espace-temps comme les trois autres interactions mais en même temps en le modifiant, la relativité générale résiste fortement à cette unification du moins si on la suppose efficiente jusque dans le monde microscopique, ce qui n'a pas encore été mesuré.
- 41 Un dernier argument souvent invoqué en faveur des nouvelles théories au-delà des modèles standard est qu'elles n'auraient « pas d'alternative ». En filigrane il y a évidemment le rejet d'une alternative surnaturelle et donc, par principe, non scientifique. Mais, et scientifiquement, l'argument « pas d'alternative » semble exclure un peu vite la possibilité que l'alternative soit simplement encore à trouver.

## 7. Origine, origines

- 42 Avec le Big Bang on est près de parler d'une origine temporelle, d'un commencement du temps. Mais si la singularité  $R=0$  fait partie de la solution mathématiquement exacte, ce que l'on peut mesurer et dire physiquement c'est la durée qui nous sépare de ce moment où l'univers ultra-dense et chaud devient descriptible. Nous reproduisons aujourd'hui dans les accélérateurs de particules les conditions physiques de l'univers  $10^{-13}$  s « après » le Big Bang. Les plus énergétiques rayons cosmiques que nous enregistrons nous informent sur les phénomènes physiques qui ont pu se dérouler  $10^{-25}$  s « après ». Mais après « quoi » puisque la singularité  $R=0$  est hors de notre physique et que nous ne savons même pas si elle est réelle et donc s'il pouvait y avoir ou pas un « avant » ? En prenant en considération les deux grandes théories (relativité et quantique), nous ne commençons à savoir faire un peu de physique que du bon côté du « mur de Planck » ( $10^{97}$  kg/m<sup>3</sup> ou  $10^{94}$  fois la densité de l'eau). Et notre expérimentable est très loin des conditions de Planck. Ainsi lorsqu'on parle en termes de secondes ou même de  $10^{-30}$  s de temps « après » le Big Bang, il n'y a pas de différence sensible, à la dixième décimale près, par rapport au temps après la sortie du mur de Planck.
- 43 Cependant cette plausible origine temporelle du cosmos observé ne peut prétendre, aujourd'hui, en être une (son) Origine ontologique. On ne sait pas scientifiquement décrire le passage du néant à l'être, ni l'inverse. Même si (ce n'est pour l'instant qu'une spéculation) tout ce que nous observons était la conséquence d'une « fluctuation » d'un « vide quantique », un tel prérequis ne serait pas rien mais de l'espace, du temps et au moins une belle équation à laquelle de plus le réel à venir aurait à se conformer. Il n'y a pas de science du rien, une science part d'un donné que ce donné soit un ensemble d'observations ou une théorie.
- 44 Touchant au tout, au commencement et à la fin la cosmologie moderne peut facilement déborder du domaine scientifique. Les carences, depuis plus d'un siècle, de philosophie dans le cursus des scientifiques et de science contemporaine dans celui des philosophes, contribuent, chez les uns à des confusions comme entre création et commencement, vide et néant et chez les autres à un abandon *de facto* de la *philosophia naturalis*. Einstein dénonçait déjà<sup>48</sup>: “A knowledge of the historic and philosophical background gives that kind of independence from prejudices of his generation from which most scientists are suffering. This independence created by philosophical insight is—in my opinion—the mark of distinction between a mere artisan or specialist and a real seeker after truth.”

## 8. Fins

- 45 On pourrait exclure cette question de la présente étude mais l'avenir du cosmos fait partie de ce qui permettra de tester la théorie qui s'approche d'un possible commencement. En résumé, si le modèle  $\Lambda$ -CDM standard d'aujourd'hui est le bon, c'est-à-dire avec une vraie constante cosmologique  $\Lambda$  et sa part de masse cachée exotique, il nous prévoit une expansion exponentielle du facteur d'échelle de l'espace mais qui ne concernera pas les petites structures locales comme les galaxies. La fécondité en formation de nouvelles étoiles de ces galaxies va continuer à baisser et les étoiles vont s'éteindre progressivement. Les chocs entre étoiles dans chaque galaxie qui

sont improbables en  $10^{10}$  ans deviennent quasi certains en  $10^{20}$  ans et toute la matière ordinaire (restes d'étoiles, planètes) devrait à cette échéance être tombée dans leurs trous noirs centraux, séparés par des distances extrêmes. On parle de Big Chill (grand froid) pour cette fin ... sans fin. C'est ce que l'on peut dire en prolongeant le modèle  $\Lambda$ -CDM actuel. Si on y rajoute le rayonnement d'Hawking<sup>49</sup>, non observé pour l'instant mais dont la modélisation marie harmonieusement relativité générale et physique quantique au voisinage de l'horizon des trous noirs, on pourrait s'attendre à la progressive transformation en lumière de toutes leurs masses dans un délai de ...  $10^{100}$  à  $10^{110}$  années et ce dans un univers extrêmement dilué. Mais peut-être d'ici-là le modèle standard aura-t-il changé.

## 9. Conclusions

- 46 La cosmologie avec son étude du tout (scientifique) et de son possible commencement a eu des difficultés durables à se faire reconnaître comme science au XX<sup>e</sup> siècle.
- 47 Les succès extraordinairement rapides de cette science l'ont maintenant assez bien établie mais, aidés par des médiatisations simplificatrices, ils amènent parfois certains de ses acteurs à s'exprimer au-delà du domaine du savoir sans préciser, du moins au public non spécialiste, l'entrée dans celui de la spéculation qui est par contre constitutive de la recherche. La confusion qui en résulte quant au statut des essais théoriques s'étend à celui des discours sur les origines, de la simple et plausible origine temporelle à l'ontologique.
- 48 Ce que semble pouvoir nous dire aujourd'hui la cosmologie moderne c'est :
- notre appartenance à un ensemble que constitue, au moins, tout l'univers observable ainsi que les grandes lignes de son histoire-géographie depuis près de 14 milliards d'années mais avec une incertitude croissante lorsque l'on remonte dans la première seconde,
  - le lien existentiel entre la possibilité de notre émergence et les caractéristiques aux plus grandes comme aux plus petites échelles de ce κόσμος. La révolution dite Copernicienne<sup>50</sup> nous a libérés du géocentrisme sans nous contraindre à adopter l'idée que notre position soit pour autant la plus banale : nous ne sommes apparemment pas n'importe où, n'importe quand, dans n'importe quel univers.
- 49 Dans son principe le modèle  $\Lambda$ -CDM aujourd'hui standard de l'univers date de 1931 même si les mesures de ses paramètres de densité et de taux d'expansion se précisent. Tout l'univers observé semble compatible avec l'évolution selon les lois connues de la physique, une évolution que l'on sait simuler numériquement, depuis un état à très haute densité il y a près de 14 milliards d'années. Cela sera-t-il invalidé un jour ? Le modèle échoue à décrire les singularités : celle du Big Bang et celles au centre des trous noirs et ne maîtrise pas un certain voisinage de ces singularités.
- 50 Comme toute science la cosmologie part d'un donné et ne semble pas avoir de réponse à la raison d'être de son objet. Il n'y a pas de science du néant. Même une hypothétique future vraie « théorie du tout » partirait vraisemblablement au moins d'un λόγος avec la vieille question abyssale sur la primauté ontologique d'un λόγος qui décrit le κόσμος ou celle du dernier qui obéit au premier.

---

## NOTES

1. I. Newton, *Principia mathematica philosophiae naturalis*, 1687.
2. A. Comte, *Traité philosophique d'astronomie populaire*, 1844.
3. J. Kepler, *Dissertatio cum nuncio sidereo nuper ad mortales misso à Galilaeo Galilaeo*, <https://www.e-rara.ch/doi/10.3931/e-rara-1015> . Page consultée le 17 mars 2019.
4. M. Planck, « Ueber das Gesetz der Energieverteilung im Normalspectrum » ; *Dtsch. phys. Ges Verhandl.*, 1900, 2, 202 . <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1002/andp.19013090310> . Page consultée le 17 mars 2019.
5. A. Einstein “Über einen die Erzeugung und Verwandlung des Lichtes betreffenden heuristischen Gesichtspunkt” *Annalen der Physik*, vol. 322, Issue 6, pp. 132-148, 1905, [http://myweb.rz.uni-augsburg.de/~eckern/adp/history/einstein-papers/1905\\_17\\_132-148.pdf](http://myweb.rz.uni-augsburg.de/~eckern/adp/history/einstein-papers/1905_17_132-148.pdf) . Page consultée le 17 mars 2019.
6. A. Einstein, « Zur Elektrodynamik bewegter Körper », *Annalen der Physik*, 1905, vol. 322, Issue 10, pp. 891-921 <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.1002/andp.19053221004> Page consultée le 17 mars 2019.
7. A. Einstein, « Die Grundlage der allgemeinen Relativitätstheorie », *Annalen der Physik*, 1916, vol. 354, Issue 7, pp. 769-822
8. A. Einstein “Kosmologische Betrachtungen zur allgemeinen Relativitätstheorie », *Sitzungsberichte der Königlich Preussischen Akademie der Wissenschaften (Berlin)*, 1917, Seite 142-152.
9. On peut penser que ce signifiant est exagéré et que le signifié n'est que la géométrie spatio-temporelle mais comme la relativité générale relie existentiellement l'espace-temps à son contenu, la limitation du signifié n'est pas évidente sauf à supposer, ce qu'on ne peut exclure actuellement en l'absence d'expérience à cette échelle, que cette théorie ne s'applique pas au monde microscopique.
10. A. Friedmann “Über die Krümmung des Raumes”, *Zeitschrift für Physik*, 1922, Volume 10, pp. 377-386
11. A. Einstein, “Bemerkung zu der Arbeit von A. Friedmann Über die Krümmung des Raumes”, *Zeitschrift für Physik*, 1922, Volume 11, Issue 1, pp. 326-326.
12. A. Einstein, “Notiz zu der Arbeit von A. Friedmann „Über die Krümmung des Raumes”, *Zeitschrift für Physik*, 1923 Volume 16, Issue 1, pp. 228-228.
13. A. S. Eddington, “On the instability of Einstein's spherical world”, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 1930, vol. 90, p. 668-678.
14. G. Lemaître, « Un univers homogène de masse constante et de rayon croissant, rendant compte de la vitesse radiale des nébuleuses extragalactiques », *Annales de la Société Scientifique de Bruxelles*, 1927, A47, p. 49-59
15. E. Hubble, “Extragalactic nebulae”, *Astrophysical Journal*, 1926, 64, 321-369.
16. G. Strömberg, “Analysis of radial velocities of globular clusters and non-galactic nebulae”. *Astrophysical Journal*, 1925, 61, 353-362.
17. E. Hubble, “A Relation between Distance and Radial Velocity among Extra-Galactic Nebulae”, *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, Volume 15, Issue 3, pp. 168-173.
18. La XXX<sup>e</sup> Assemblée générale de l'Union Astronomique Internationale : “recommend that from now on the expansion of the universe be referred to as the “Hubble-Lemaître law” *Proc. XXX IAU General Assembly*, August 2018 resolution B4.
19. G. Lemaître, “The Beginning of the World from the Point of View of Quantum Theory”, *Nature*, 1931, 127, 706.

20. A. Einstein & W. de Sitter, "On the Relation between the Expansion and the Mean Density of the Universe", *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, Volume 18, Issue 3, 1932, pp. 213-214.
21. F. Zwicky, "On the Red Shift of Spectral Lines through Interstellar Space", *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 1929, Volume 15, Issue 10, pp. 773-779.
22. E. A. Milne, *Relativity, Gravitation and World Structure*, Oxford, The Clarendon press, 1935.
23. F. Hoyle "A New Model for the Expanding Universe", *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 1948, vol. 108, p. 372.
24. F. Hoyle, "The Nature of the universe, a series of broadcast lectures", Blackwell 1951 ; cité par J.-Ph. Uzan in *big bang : comprendre l'univers depuis ici et maintenant*, Flammarion 2018, p 117.
25. A. Sandage et al. ed. *Galaxies and the universe*, Univ. of Chicago Press, 1976, ( last) p 783.
26. T. Jaakkola, M. Moles, J.-P. Vigier, J.-C. Pecker & W. Yougrau, "Cosmological implications of anomalous redshifts—A possible working hypothesis", *Foundations of Physics*, 1975, Volume 5, Issue 2, pp. 257-26
27. J.-C. Pecker *Ciel et Espace*, décembre, 1995, p 56.
28. J.-C. Pecker, J. V. Narlikar, F. Ochsenbein & C. Wickramasinghe , "The local contribution to the microwave background radiation", *Research in Astronomy and Astrophysics*, 2015, Volume 15, Number 4.
29. Pie XII, adresse « Un Ora » à l'académie pontificale des sciences le 22 novembre 1951.
30. A. Deprit, "Monsignor Georges Lemaître" in *The Big Bang and Georges Lemaître*, *Proceedings of a symposium in Louvain-la-Neuve, 10-13 October 1983*. D. Reidel Publishing Company, 1984, p 387-388.
31. G. Lemaître, "The primeval atom hypothesis and the problem of the clusters of galaxies", *Inst. Int. Phys. Solvay*, 1958 , Ed. Stoops, Bruxelles, p 7.
32. G. Lemaître, Radio-Canada (diffusion ou rediffusion en 1966), texte publié dans la *Revue des questions scientifiques*, 1967, tome 138, N° 2 p153-162.
33. Thomas d'Aquin, *Summa contra Gentes* I.II c ; 18, [http://palimpsestes.fr/textes\\_philo/thomasdaquin/sommecontregentils.pdf](http://palimpsestes.fr/textes_philo/thomasdaquin/sommecontregentils.pdf) Page consultée le 17 mars 2019
34. Thomas d'Aquin, *Somme théologique*, 1273, quest. 46, art. 3.
35. A. A. Penzias & R. W. Wilson, "A measurement of excess antenna temperature at 4080 Mc/sec", *Astrophysical Journal*, 1965, vol. 142, p .419-421.
36. R. H. Dicke, P. J. E. Peebles, P. G. Roll & D. T. Wilkinson, "Cosmic Black Body Radiation". *Astrophysical Journal*, 1965, vol. 142, p. 414-419.
37. R. W. Wilson, "Discovery of the cosmic microwave background", *Modern Cosmology in retrospect*, 1990, Cambridge University Press.
38. pour éviter toute référence à une cause cosmologique.
39. J.-C. Mather, E. S. Cheng, R. E. Eplee Jr. & alii, "A preliminary measurement of the cosmic microwave background spectrum by the Cosmic Background Explorer (COBE) satellite", *Astrophysical Journal*, Part 2 - Letters (ISSN 0004-637X), 1990, vol. 354, May 10, 1990, p. L37-L40.
40. Georges Lemaître, « L'univers en expansion », *Annales Soc. Sci. Brux.* 1933, Ser. I A 53 (1993) 51.
41. c'est-à dire quand la masse volumique de l'univers est inférieure à  $10^{97}$  kg/m<sup>3</sup> et que les deux grandes théories de la physique, relativité générale et physique quantique, deviennent conciliables.
42. Luminosité (puissance rayonnée) du soleil  $4 \cdot 10^{26}$  W ; masse  $2 \cdot 10^{30}$  kg.
43. Le modèle utilisé est extrêmement simplifié et les valeurs en italique ajustées pour retrouver le résultat que donnent les modélisations plus exhaustives mais les ordres de grandeur sont signifiants.

44. B. Carter, "Large number coincidences and the anthropic principle in cosmology", In : Confrontation of cosmological theories with observational data ; Proceedings of the Symposium, Krakow, Poland, September 10-12, 1973. (A75-21826 08-90) Dordrecht, D. Reidel Publishing Co., 1974, p. 291-298.
45. B. Carter, Ciel et Espace, mai 2008, p 28-34.
46. . H. Dicke, "Dirac's Cosmology and Mach's Principle", Nature, 1961, Volume 192, Issue 4801, pp. 440-441.
47. G. Lemaître, "Evolution of the Expanding Universe", Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 1934, Volume 20, Issue 1, pp. 12-17.
48. Albert Einstein, Letter to Robert Thornton, 1944, cité in Proceedings of the National Academy of Sciences (USA), 2019 , 116 (10) 3948-3952 ; <https://doi.org/10.1073/pnas.1900357116> . Page consultée le 17 mars 2019.
49. S. W. Hawking, "Particle creation by black holes", In : Quantum gravity ; Proceedings of the Oxford Symposium, Harwell, Berks., England, February 15, 16, 1974. (A76-11051 01-90), Oxford, Clarendon Press, 1975, p. 219-267.
50. En fait bien plus rationnellement justifiée par Aristarque de Samos près de 16 siècles plus tôt in *Traité d'Aristarque de Samos sur les grandeurs et les distances du soleil et de la lune* ; traduction du C<sup>e</sup> de Fortia d'Urban sur Gallica : <http://gallica.bnf.fr/ark:/12148/bpt6k62820h/f9.image.r=Aristarque.langFR>. Page consultée le 17 mars 2019.

## RÉSUMÉS

La cosmologie, redevenue science en 1917, s'est rapidement confrontée aux questions d'origine, à tout le moins de commencement, de son objet. Son développement depuis un siècle est baigné d'un conflit plus ou moins latent avec d'autres discours sur le Tout. Ce conflit a pu et peut encore, parfois inhiber, parfois favoriser, son progrès. Son modèle standard actuel semble pouvoir décrire « presque » toute l'histoire de l'univers observé. Elle se doit de chercher de plus en plus profond dans ce « presque » tout en exprimant alors clairement son entrée en spéculation.

Cosmology renewed its status as a science in 1917 and was quickly confronted with questions about the origins, or at least the beginning, of its object. Its progress until now has been affected by a more or less latent conflict with other discourses on the Everything; this has been alternately a help or an obstacle. Its present standard model seems capable of describing *almost* everything about the observable universe's history. If it must dig deeper and deeper into this *almost*, it ought to specify that it ventures into speculation.

## INDEX

**Keywords** : cosmology, origins, epistemology, history, big bang

**Mots-clés** : cosmologie, origines, épistémologie, histoire, big bang