



HAL
open science

Cosmologie et philosophie

Daniel Parrochia

► **To cite this version:**

| Daniel Parrochia. Cosmologie et philosophie. 2024. hal-04580127

HAL Id: hal-04580127

<https://hal.science/hal-04580127>

Preprint submitted on 19 May 2024

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.



Distributed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License

Cosmologie et philosophie

Daniel Parrochia

Université de Lyon (France)

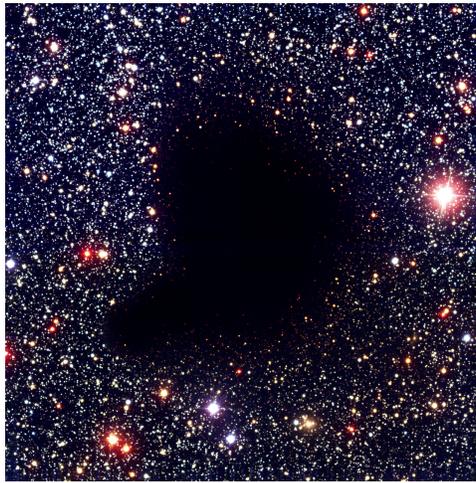


FIGURE 1 – Nuage noir Barnard 68 (ESO)

Résumé.

La cosmologie scientifique a atteint aujourd'hui sa période de maturité avec la constitution d'un modèle standard qui est la théorie d'un univers en expansion. La question de savoir si cette expansion se résout, dans le passé, en une singularité identifiable à un commencement absolu, ou si l'univers dans lequel nous sommes n'est qu'un des multiples univers possibles existant soit dans l'espace, soit dans le temps, est encore en débat. Par ailleurs, l'assimilation du commencement de l'univers à une « création » a été souvent contestée par la théologie qui, depuis Thomas d'Aquin, sinon depuis les Pères de l'Eglise, tend à distinguer soigneusement les deux. Dans l'article qui suit, après avoir rapidement résumé quelques points de l'histoire récente de la cosmologie scientifique, nous nous efforcerons de présenter dans ses grandes

lignes le modèle standard auquel les scientifiques sont parvenus. Puis, nous entreprendrons d'étudier quelques-uns des problèmes qu'il soulève ainsi que les théories alternatives qu'on peut lui opposer. In fine, nous discuterons des liens problématiques que la cosmologie scientifique continue d'entretenir avec la philosophie et la théologie, notamment l'épineuse question d'une création à partir de rien (*creatio ex nihilo*).

Mots clés. Cosmologie, modèle standard, singularité initiale, univers cyclique, Hawking, Penrose, *creatio ex nihilo*.

1 L'apport de la cosmologie scientifique

Alors que la physique classique newtonienne, issue de Galilée, n'avait pas, à proprement parler, de cosmologie – au sens où elle n'impliquait pas, dans ses équations, de conséquences particulières sur la forme du monde ou sa représentation mathématicomécanique (si ce n'est un espace infini et éternel) – la physique issue de la théorie de la relativité générale¹ d'Einstein a débouché, assez naturellement, sur des cosmologies souvent finitistes, renouant ainsi avec les spéculations présocratiques ou les préoccupations mythologiques en général.

Cependant, à la différence de ces dernières, elle s'est développée sur la base de considérations essentiellement mathématiques et physiques, et selon la méthodologie scientifique habituelle, à savoir que toute construction théorique doit être validée ou réfutée par des observations. La notion d' « univers » s'est, du coup, beaucoup raffinée. On parle en cosmologie d'un univers tout à fait particulier, un univers directement ou indirectement "observable", par conséquent soumis à une investigation scientifique, théorique et expérimentale.

Dans la première moitié du XX^e siècle, cependant, la possibilité de réfléchir sur l'univers comme totalité était encore contestée par certains épistémologues comme G. Bachelard (voir [Bachelard 72] et nos commentaires dans [Barrau-Parrochia 10],

1. La relativité générale, comme théorie de la gravitation, est demeurée, jusqu'à ces dernières années, une des bases très solides de la cosmologie. Si, aux petites échelles, elle a pu être mise en question de longue date – à cause de son incompatibilité de principe avec la mécanique quantique –, elle passait cependant jusqu'à il y a peu pour une bonne description de l'Univers à grande échelle. Ce n'est que tout récemment qu'on aurait mis en évidence une atténuation de 1% de la gravité au plan du "super-horizon" cosmologique, c'est-à-dire à des échelles beaucoup plus grandes que l'actuel rayon de Hubble. Si la chose était avérée, elle demanderait une légère modification de la théorie d'Einstein pour ces échelles-là, impliquant probablement la matière noire froide Λ , ce "codicille" n'amenant pas, pour l'instant, une refonte (voir [Wen et al. 24]).

235-247), du fait, probablement, d'une trop grande incertitude sur les modèles d'univers possibles, en assez grand nombre à l'époque, et alors qu'aucun consensus ne se dégageait encore en faveur de la théorie de l'expansion. Mais les progrès dans l'ajustement des théories et des données ont été tels qu'il n'est plus possible aujourd'hui de contester la pertinence de cette audacieuse transgression qui a consisté à considérer scientifiquement l'univers comme un tout.

1.1 Des pionniers de l'expansion à la théorie de l'inflation

La cosmologie scientifique s'est développée au XX^e siècle à travers une série de théories dont Jacques Merleau-Ponty (voir [Merleau-Ponty 65]) a fait le recensement jusque dans les années 1960, mais qui a dû essentiellement son avènement, comme il a pu l'écrire, à la conjonction d'un physicien de génie (Einstein) et d'un télescope gigantesque (le télescope de 2,5 m d'ouverture du Mont Wilson), lequel a permis à Hubble, un astronome « à sa mesure » de dégager sa fameuse loi de récession des galaxies $V = H_0 D$, qui montra que leur vitesse d'éloignement était proportionnelle à leur distance. La loi, difficile à dégager en 1929, est actuellement bien vérifiée² (voir Fig. 2). Le seul problème subsistant – mais il peut engendrer des conséquences notables à terme – est la question de l'évaluation de la constante H_0 de Hubble³.

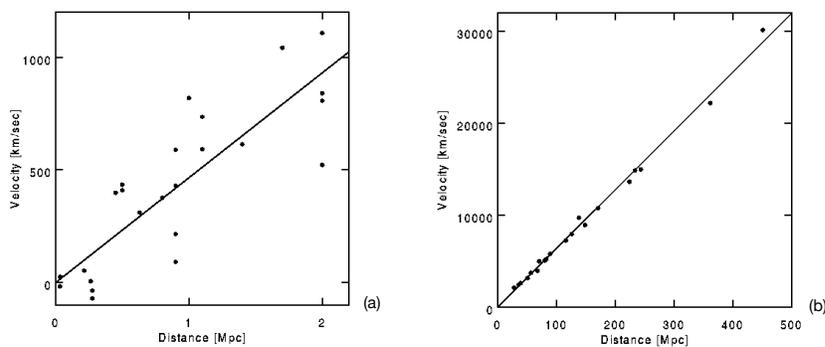


FIGURE 2 – La loi de Hubble en 1929 (a) et en 1996 (b)

2. Pour des données encore plus précises, voir [Hawking 01], 77).

3. Les estimations s'appuyant sur des méthodes de chandelles standards (étoiles Céphéides, etc.) se concentrent autour de 73 ou 74 km/s/Mpc. En revanche, les valeurs issues de l'observation du fond diffus cosmologique dans le cadre du modèle Λ CDM semblent plutôt s'accorder autour de 67 km/s/Mpc. La différence excède les marges d'erreur d'environ 6σ .

L'étude de l'univers comme un tout a donc pu se développer sur cette base, et d'abord comme une cosmologie typiquement relativiste, dans le sillage d'Einstein et De Sitter. Friedman et Lemaître (voir le recueil de leurs principaux articles introduits par J.-P. Luminet ([Friedman-Lemaître 97]) trouveront les premiers des solutions non-statiques des équations de la Relativité générale, alors que Robertson interprétait l'effet Doppler en termes d'éloignement. Puis l'école anglaise apporta des contributions majeures avec Gamow, Eddington, Hoyle, incluant parfois des considérations philosophiques (comme chez Tolman, Milne ou Whitrow). Des variantes particulières furent alors explorées (théorie des grands nombres d'Eddington, Dirac ou Jordan, univers tournant de Gödel, modèles isotropes non homogènes ou univers-réseau de Lindquist et Wheeler). La grande opposition de l'époque passait entre les théories d'un univers en expansion et les théories dites de l'état stationnaire défendues par Sciamia et Hoyle, plus sceptiques sur l'interprétation du décalage vers le rouge des spectres des galaxies lointaines, et moins enclin à admettre sans discussion la loi de Hubble, les données restant encore assez réduites.

Gamow et ses collaborateurs – même s'ils ne croyaient pas au départ en la théorie du « Big Bang » – devaient pourtant rapidement la conforter. En interprétant la formation de l'Univers à la mode hébraïque, c'est-à-dire non comme une « creatio ex nihilo » mais comme une réalisation à partir d'une matière préalable, ils montrèrent que la supposition d'un mélange initial appelé *Ylem* permettait de rendre compte de la formation des noyaux des éléments les plus légers (deutérium, hélium et lithium) au cours des trois premières minutes de l'univers, à une époque où la température était de l'ordre de 10 milliards de degrés. Ils prédisaient aussi qu'une fois l'Univers refroidi, celui-ci avait dû devenir transparent, et Alpher et Hermann calculèrent qu'un écho du Big Bang sous forme de rayonnement de corps noir devrait se retrouver désormais à une température de l'ordre de 5° K. Ce rayonnement de fond de ciel, que Penzias et Wilson découvrirent par hasard en 1956 en écoutant le premier spoutnik russe à l'aide d'une grande antenne, sera interprété par Peebles, Roll et Wilkinson en 1965 comme étant précisément le résidu prédit par Gamow et ses collègues.

Des données de l'observation comme de la théorie physique s'est alors peu à peu dégagé un modèle d'univers tout à fait précis, dont les prédictions correspondent désormais point part point avec les données de l'expérience, notamment les données satellitaires. La théorie de l'atome primitif de Lemaître – raillée par Hoyle et nommée, par dérision, théorie du « big bang » – devint plus consensuelle, notamment après que François Englert et Alan Guth eurent introduit, indépendamment, l'idée d'une phase inflationnaire de l'Univers pour ajuster l'expansion aux données. Andreï Linde devait ultérieurement se faire le promoteur de ce modèle, en lien avec le développement

d'une cosmologie quantique à multivers (voir [Linde 90]). Une « mousse quantique » remplaça alors l'*Ylem* de Gamow.

1.2 Le modèle standard

Ce qu'on peut raisonnablement appeler le « modèle standard de la cosmologie » est le modèle qui, à l'heure actuelle, décrit de la manière la plus satisfaisante les grandes étapes de l'histoire de l'Univers observable ainsi que son contenu actuel tels qu'ils sont révélés par les observations astronomiques. Selon ce modèle, l'Univers où nous nous situons se présente comme un espace homogène et isotrope en expansion, dans lequel se superposent de grandes structures formées par l'effondrement gravitationnel d'inhomogénéités primordiales, elles-mêmes formées pendant une première phase d'expansion nommée « inflation » à cause de sa rapidité.

Ce modèle standard de la cosmologie a émergé un peu avant l'an 2000, à la suite de l'arrivée d'une quantité importante d'observations astronomiques, notamment les nouveaux catalogues de galaxies comme SDSS et 2dFGRS, l'observation de plus en plus détaillée d'anisotropies dans le fond diffus cosmologique avec les expériences BOOMERanG et Archeops, puis les données de l'observatoire spatial Wilkinson Microwave Anisotropy Probe (WMAP), ainsi que l'observation des supernovae lointaines et celle des effets de cisaillement gravitationnel.

1.2.1 Les données à satisfaire

Ce modèle standard, noté Λ CDM (initiales de Lambda - Cold Dark Matter, c'est-à-dire modèle « Lambda - matière noire froide ») appelé encore « modèle de concordance » est un modèle de type « Big Bang » paramétré par une constante cosmologique notée au moyen de la lettre grecque Λ et associée à l'existence d'une « énergie sombre ». C'est le modèle le plus simple qui rende compte des propriétés de l'Univers observable, telles que les ont précisées, à la suite de WMAP, les satellites COBE puis PLANCK, à savoir :

1. L'existence et la structure du fond diffus cosmologique ;
2. La structure à grande échelle de la distribution des galaxies (loi de Hubble) ;
3. L'abondance des nucléons et des éléments légers (hydrogène, hélium et lithium).
4. L'expansion de l'Univers et l'accélération de cette expansion.

1.2.2 Les hypothèses fondamentales

Apparu à la fin des années 1990, après une période où plusieurs propriétés observées de l'Univers semblaient mutuellement incompatibles, et où aucun consensus n'existait sur la composition des densités d'énergie de l'Univers, ce modèle standard Λ CDM se fonde sur trois hypothèses :

(H_1) Le principe cosmologique, en vertu duquel l'Univers est homogène et isotrope à grande échelle ;

(H_2) Le principe d'universalité, en vertu duquel la gravitation est décrite par la relativité générale à toutes les échelles ;

(H_3) Le contenu en matière de l'Univers, donné par la matière noire froide (CDM), les baryons et le rayonnement.

L'Univers, au surplus, est censé contenir de l'énergie sombre, la lettre grecque Λ – usuellement le symbole de la constante cosmologique – en étant l'expression la plus simple.

1.2.3 Les paramètres cosmologiques

Remplaçant le modèle SCDM (Standard Cold Dark Matter), élaboré dans le courant des années 1990, le présent modèle Λ CDM provient de la combinaison de plusieurs observations qui contraignent certains paramètres cosmologiques :

a) la détection indirecte de matière noire, par son influence gravitationnelle au sein des galaxies et des amas de galaxies ;

b) l'estimation de la densité de cette matière noire, qui est inférieure à la densité critique de l'Univers ;

c) les contraintes sur la courbure spatiale de l'Univers, qui indiquent que sa densité totale est très proche de la densité critique ;

d) l'observation de l'accélération de l'expansion de l'Univers par l'étude de la distance de luminosité des supernovas de type Ia, qui implique l'existence d'énergie sombre.

La combinaison de ces contraintes rend nécessaire qu'on adjoigne à la matière noire, une certaine forme d'énergie – l'énergie « sombre » –, ayant un effet répulsif sur l'expansion de l'Univers.

Le modèle Λ CDM *minimal* – dit « vanilla » en anglais – est, plus précisément, défini par six paramètres aux effets indépendants, à savoir :

1. La densité baryonique (Ω_b) ;
2. La densité de matière noire (Ω_c) ;
3. La densité d'énergie sombre (Ω_Λ) ;
4. L'indice spectral des perturbations primordiales scalaires (n_s) ;
5. L'amplitude des perturbations primordiales de courbure (Δ_R^2) ;
6. L'épaisseur optique de réionisation (τ).

Dans ce modèle, la densité de photons est fixée par la température mesurée du fond diffus cosmologique, les neutrinos sont considérés comme étant de masse nulle et l'Univers actuel dans son ensemble est supposé « plat ». L'extraordinaire est que ce modèle « colle » assez bien avec les données de l'observation (voir Fig.3) :

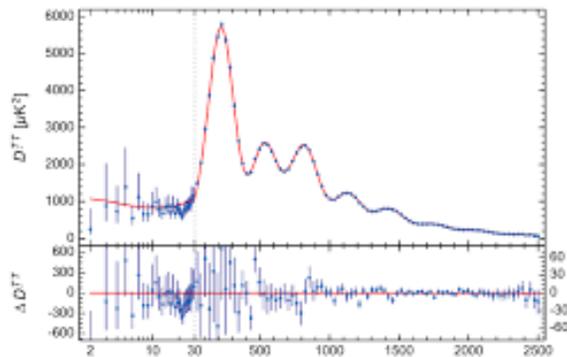


FIGURE 3 – Spectre de puissance de rayonnement du fond diffus (données Planck) comparé au modèle

1.2.4 Un réalisme critique

Ce modèle standard, bien que privilégié par la majorité des physiciens, fait cependant l'objet de critiques pour ses hypothèses ad-hoc concernant des problèmes cosmologiques connus et non expliqués de façon suffisamment satisfaisante : problème de

la formation des structures, problème de la platitude, asymétrie baryonique, problème des baryons manquants, problème de la rotation des galaxies, problème de l'accélération de l'expansion de l'Univers...

Diverses variantes de ce modèle existent donc, très souvent inspirées de la relativité générale (théories MOND, Univers de Milne, modèles cosmologiques bi-métriques, théories des cordes...), sans qu'aucun n'emporte l'adhésion de la majorité des physiciens pour l'instant.

Tout n'est donc pas définitivement arrêté concernant la cosmologie et l'image qu'elle nous donne de l'univers peut encore changer.

Néanmoins, on peut considérer que le modèle Λ CDM est, compte tenu des connaissances actuelles, un modèle « réaliste » correspondant à un univers en expansion. La dynamique de cette expansion est régie par la relativité générale, ou éventuellement une autre théorie relativiste de la gravitation. Mais, dans tous les cas, celle-ci prédit que si l'univers est, comme on l'observe, homogène et isotrope, alors celui-ci possède en général une dynamique (il est soit en expansion, soit en contraction). L'expansion observée de l'univers présent indique que celui-ci était plus dense et plus chaud par le passé. Un certain nombre d'indications, notamment l'abondance des éléments légers (issus de la nucléosynthèse primordiale), suggèrent que cette phase chaude a atteint au moins une température de 1 milliard de degrés Celsius : c'est le fameux « Big Bang ».

L'univers actuel comporte un grand nombre de structures comme les étoiles, les galaxies, les amas et superamas de galaxies : à grande échelle, il est globalement homogène, mais se trouve plutôt irrégulier à petite échelle. L'observation de l'univers 380 000 ans après le « Big Bang », par l'intermédiaire du fond diffus cosmologique, montre en revanche que l'univers à cette époque était bien plus homogène qu'il ne l'est aujourd'hui. Le mécanisme d'instabilité gravitationnelle permet alors d'expliquer que les objets astrophysiques puissent éventuellement se former à partir d'une répartition de matière initialement peu inhomogène, l'effet attractif de la gravité ayant tendance à aider des régions plus denses que leur environnement à attirer la matière voisine. C'est donc progressivement que les grandes structures de l'univers se sont formées. Les détails de ce processus de formation dépendent, par contre, de nombreux paramètres, en particulier les propriétés des différentes formes de matière qui emplissent l'univers.

1.2.5 Le scénario privilégié

L'objectif d'un modèle cosmologique réaliste est de proposer un scénario qui permette de rendre compte le plus précisément possible de l'ensemble des observations, lesquelles, en l'occurrence, mettent en évidence deux étapes :

1) Une première étape, qui relève de ce qu'on appelle désormais la « cosmologie primordiale » (voir [Peter-Uzan 05]), et qui doit expliquer :

- comment pendant le Big Bang l'univers a pu se trouver dans l'état très homogène que l'on observe par le fond diffus cosmologique ;
- pourquoi à cette époque de petites irrégularités existaient déjà ;
- comment les différentes formes de matière que nous connaissons (matière baryonique (c'est-à-dire les atomes), neutrinos, photons) ont pu être issus du Big Bang.

2) Une deuxième étape, qui relève de la cosmologie observationnelle, et qui doit expliquer :

- la répartition actuelle des galaxies, amas et superamas, révélée par les catalogues de galaxies ;
- les propriétés physiques de ceux-ci (taille, masse, température, etc) ;
- l'évolution de leur répartition que l'on observe en comparant la répartition actuelle de ces objets à celle qu'ils avaient par le passé en observant les époques plus anciennes de l'histoire de l'univers.

1.2.6 Les tests observationnels

Aujourd'hui, un certain nombre d'observations permettent de tester le modèle cosmologique choisi :

1. La première est la mesure de l'abondance des éléments légers : il est établi que quand la température de l'Univers descend en dessous d'un milliard de degré, protons et neutrons qui existent alors se combinent pour former parfois quelques noyaux d'atomes à faible numéro atomique : deutérium, hélium et lithium : c'est la nucléosynthèse primordiale. L'abondance relative de ces éléments dit « légers » dépend des conditions physiques qui régnaient à cette époque ;

2. Le second élément d'importance est l'existence du fond diffus cosmologique, qui offre une sorte de photographie de l'univers à l'époque où celui-ci est devenu suffi-

samment peu dense pour que la lumière puisse s'y propager librement (époque dite de la recombinaison, environ 380 000 ans après le Big Bang) ;

3. Les observations des galaxies, amas de galaxies et super-amas situés à différentes distances et donc vus à différentes époques, forment un troisième faisceau d'observations allant dans le sens du modèle. Le conforte également la mesure de l'influence gravitationnelle de ceux-ci sur leur environnement par les effets de lentille gravitationnelle, la mesure de l'absorption par de la matière non concentrée dans les galaxies du rayonnement des quasars lointains (forêt Lyman- α), la mesure du taux d'expansion de l'univers (la constante de Hubble), ainsi que de son évolution au cours du temps par l'intermédiaire de la distance de luminosité de certains objets comme les supernovae de type Ia.

4. Dans un avenir plus ou moins lointain, il est envisageable d'observer d'autres phénomènes qui permettraient de sonder d'autres aspects de l'univers observable :

– Un premier exemple est le fond cosmologique de neutrinos, qui est l'équivalent du fond diffus cosmologique, mais pour les neutrinos. Celui-ci a été émis bien plus tôt dans l'histoire de l'univers, une fraction de seconde après le Big Bang :

– Un second test serait le fond cosmologique d'ondes gravitationnelles, qui représente les ondes gravitationnelles primordiales issues de l'époque où des effets de gravité quantique se produisaient dans l'Univers. Il permettrait de sonder l'Univers à des époques encore plus anciennes.

1.2.7 L'énigme des zones sombres

Malgré des critiques, le modèle standard – compte tenu, encore une fois, des connaissances actuelles – semble le mieux adapté à ce qui est. Evidemment, il nous laisse aussi devant un certain nombre d'énigmes, notamment celle de la nature et de la répartition des différents éléments qu'il contient. Actuellement, nous avons la distribution suivante :

Matière ordinaire visible : 4,9%.

Matière noire : 26,8%

Energie sombre : 68,3%.

En résumé, le modèle Λ CDM représente un univers :

– spatialement homogène et isotrope à grande échelle (donc aussi à courbure spatiale constante) correspondant à la métrique de Friedmann-Lemaître-Robertson-

Walker, rempli d'un fluide parfait de pression p généralement nulle – gaz de galaxies correspondant à : $w = \frac{pc^{-2}}{\rho} = 0$ et de densité ρ composée de matière chaude (relativiste ou rayonnement) et de matière froide (non relativiste) ;

– dont la courbure spatiale est nulle, autrement dit avec un paramètre de courbure $k = 0$ (signe d'un univers plat) ;

– qui contiendrait, en plus de la matière ordinaire, de la matière noire (surplus de gravité dont les galaxies ont besoin pour ne pas se défaire durant leur rotation) et de l'énergie sombre (force répulsive globale qui tend à accélérer l'expansion de l'univers et nécessite une constante cosmologique $\Lambda > 0$), une matière et une énergie dont on ne sait pratiquement rien ;

– issu d'une explosion primordiale (modèle Big Bang nécessitant : $w = -1/3$).

2 Problèmes du modèle standard et scénarios pre-big bang

Le modèle standard est vérifié au plan des données de base sur un certain nombre de points non négligeables. Sur d'autres plans, néanmoins, il se heurte à plusieurs difficultés.

2.1 Galaxies précoces et trous noirs supermassifs

2.1.1 La question des galaxies précoces

Des galaxies avec des masses stellaires atteignant environ 10^{11} masses solaires ont été récemment identifiées avec des décalages Doppler (redshifts) z autour de 6, environ 1 milliard d'années après le Big Bang. Il s'agit d'observations faites à l'aide du télescope spatial James Webb (JWST) pour rechercher des galaxies intrinsèquement rouges au cours des premiers 750 millions d'années de l'histoire cosmique. Dans cette zone d'étude, on a pu trouver six galaxies massives candidates (masse stellaire supérieure à 10^{10} masses solaires) à $7, 4 \leq z \leq 9, 1$, 500-700 milliards d'années après le Big Bang, dont une galaxie avec une masse stellaire possible d'environ 10^{11} masses solaires. Si elle était vérifiée par spectroscopie, la densité de masse stellaire dans ces galaxies massives serait beaucoup plus élevée que prévu (voir [Labbé et al. 23]).

2.1.2 Les trous noirs supermassifs dans l'univers jeune

Depuis la découverte des « astres occlus » par Schwarzschild en 1915 et leur nomination comme « trous noirs » par Wheeler en 1967, la connaissance de ces objets a beaucoup progressé. En particulier la parenté des comportements de la zone du trou et de l'entropie, les deux quantités ayant tendance à augmenter de manière irréversible (voir [Bekenstein 73]), a amené à considérer la surface de l'horizon des événements A comme une mesure appropriée de la teneur en entropie S du trou noir, donnant lieu à la formule très simple de Bekenstein-Hawking », où $S \approx (1/4)A$. L'entropie d'un trou noir augmente quand il absorbe un objet et cette augmentation d'entropie est toujours supérieure à celle de l'objet absorbé. De même, l'entropie d'un trou noir a tendance à baisser lorsque celui-ci « rayonne », car ce rayonnement – découvert par Hawking (voir [Hawking 74]) – s'accompagne d'une perte d'énergie et par suite d'une diminution de la taille du trou. L'entropie de la radiation émise par le trou noir étant sept fois supérieure à l'entropie perdue, l'entropie totale (somme de l'entropie ordinaire et de celle du trou noir) augmente toujours au cours du temps. Pour toutes ces raisons, il résulte que les trous noirs « jeunes », existant au début de l'univers, ne devraient pas être énormes.

Or depuis quelques années, des trous noirs plus gros que prévu ont été découverts dans l'univers jeune. Ainsi, en 2017, un trou noir pesant 800 millions de masses solaires a été découvert dans une galaxie située à 13,1 milliards d'années-lumière de la Terre. Ce géant baptisé J1342+0928, était à l'époque le plus lointain trou noir jamais observé, donc le plus ancien qu'on connaissait, puisque la lumière du quasar qui gravite autour de lui a mis un peu plus de 13 milliards d'années pour parvenir jusqu'à la Terre. Ce trou noir a été observé tel qu'il était 690 millions d'années seulement après le Big Bang, c'est-à-dire en un temps où l'Univers était encore dans l'enfance. Une telle observation, de nature à bouleverser les théories actuelles sur la formation de l'Univers, celle des trous noirs et des galaxies ([Bañados et al. 18]), n'est pas isolée. D'une façon générale, l'existence de trous noirs présentant une masse plus d'un milliard de fois supérieure à celle du Soleil, mais formés moins d'un milliard d'années seulement après le Big Bang, a été mise en évidence plusieurs fois. Elle reste difficile à expliquer. Il est possible que ces trous noirs supermassifs soient nés de l'effondrement d'énormes nuages de gaz présentant une masse de 10 000 à 1 million de fois celle du Soleil, et qui existaient avant l'apparition des galaxies. Une autre hypothèse propose que ces trous noirs soient le fruit de supernovas d'étoiles géantes, présentant une masse jusqu'à 100 fois celle du Soleil environ, et qu'ils se soient ensuite développés à un rythme étonnamment rapide. Ces trous noirs primordiaux pourraient être liés à la présence de noyaux actifs de galaxie (NAG) qui en seraient

les meilleurs signes. Une équipe pourrait bien avoir identifié un NAG situé dans la galaxie UHZ1, qui daterait d'environ 450 millions d'années après le Big Bang, tandis que la JWST Advanced Deep Extragalactic Survey (JADES) pourrait avoir découvert un NAG dans la galaxie GN-z11, qui daterait quant à lui d'environ 430 millions d'années après le Big Bang. L'étude CEERS a, par ailleurs, identifié 11 galaxies candidates lointaines qui existaient déjà alors que l'Univers n'était âgé que de 470 millions à 675 millions d'années.

2.1.3 Quelques phénomènes d'anisotropie massive

En principe, l'Univers est supposé globalement isotrope et homogène à grande échelle, et ce, malgré les quelques fluctuations de température repérées dans le fond diffus cosmologique et qui sont à l'origine des grandes formations galactiques et supragalactiques que nous connaissons. Mais les progrès de la spectroscopie des galaxies lointaines a révélé, depuis une bonne vingtaine d'années, de nombreuses dérogations à ce principe cosmologique. La mise en évidence d'immenses groupes de quasars tels que U127 ou Hugué LQG a constitué une première entorse à celui-ci, bientôt suivie par la découverte de "grands murs", comme le grand mur RGB d'Hercule-couronne boréale (HCB) en 2013 ou le "grand mur BOSS" (BGW) en 2016. Le premier occupe un volume d'au moins $9,6 \times 7 \times 0,9$ milliards d'années-lumière et s'étendrait jusqu'à 3000 parsecs (environ 10 milliards d'années-lumière), c'est-à-dire sur près d'un quart du rayon de l'univers observable (estimé à 46,5 milliards d'années-lumière). Le grand mur BOSS (pour Baryon Oscillation Spectroscopic Survey), quant à lui, serait situé entre 4,5 et 6,5 milliards d'années-lumière ($0,43 < z < 0,71$) et s'étendrait sur près d'1 milliard d'années-lumière. Dans les années 2021, une autre forme d'anisotropie a été repérée avec la découverte fortuite d'un "arc géant" (Giant Arc) à $z \sim 0,8$, étendu sur $\sim 1Gpc$ et qui semble être presque symétrique dans le ciel (voir [Lopez et al. 22]). Plus récemment, la même équipe a mis en évidence l'existence d'un "grand anneau" (Big Ring) présentant une surdensité constituant un écart significatif par rapport à d'autres structures (voir [Lopez et al. 24]), ces deux "constructions" se trouvant à la distance d'environ 9,2 milliards d'années-lumière de la Terre, tout en étant séparés par un angle de seulement 12° . L'origine de ces méga-structures reste, pour l'instant, inconnue et inexplicée dans le cadre du modèle standard.

2.2 Autres observations

D'autres observations encore pourraient aussi remettre en cause le modèle précédent.

2.2.1 La question de l'âge de l'univers

Malgré de bonnes corroborations avec un certain nombre d'observations liées à la loi de Hubble et au calcul de distances de certaines étoiles comme les Céphéides, l'Univers pourrait être plus âgé qu'on ne croit.

Les observations dans l'espace lointain du télescope James Webb (JWST) ont révélé que la structure et les masses des galaxies du tout début de l'Univers, liées à des décalages Doppler élevés ($z \sim 15$) et existant à $\sim 0,3$ Gyr⁴ après le Big Bang, pourraient être aussi évoluées que celles des galaxies existant depuis ~ 10 Gyr. Les résultats du JWST sont donc en forte tension avec le modèle cosmologique Λ CDM. Une réponse possible pourrait être celle d'une « fatigue » de la lumière, troublant les données. Mais, bien qu'il ait été démontré que les modèles de lumière fatiguée (TL) sont conformes aux données angulaires de taille des galaxies du JWST, ils ne peuvent expliquer de manière satisfaisante l'isotropie des observations du fond cosmique micro-onde (CMB) ni bien adapter le module de distance des supernovae aux données de décalage Doppler. Certains scientifiques ont alors développé des modèles hybrides qui intègrent le concept de lumière fatiguée dans un univers en expansion – sans plus de succès. Ainsi, un modèle hybride Λ CDM s'adapte bien aux données des supernovae de type 1a mais pas aux observations JWST. Les auteurs d'une étude récente (voir [Gupta 23]) ont cependant produit un modèle avec des constantes de couplage covariantes (CCC), à partir de la métrique FLRW modifiée et des équations d'Einstein et Friedmann qui en résultent, ainsi qu'un modèle hybride CCC + TL. Ces modèles, apparemment, s'adaptent admirablement aux données et le modèle CCC + TL est conforme aux observations JWST. Pour ce faire, il faut étendre l'âge de l'Univers à 26,7 Gyr avec 5,8 Gyr à $z = 10$ et 3,5 Gyr à $z = 20$, ce qui donne suffisamment de temps pour former des galaxies massives. S'il était confirmé, un tel modèle résoudrait le problème de « l'impossible première galaxie » sans nécessiter l'existence de graines de trous noirs primordiales ou d'un spectre de puissance modifié, avec formation rapide d'étoiles massives de population III et taux d'accrétion de type super-Eddington. On pourrait déduire ce modèle CCC comme une extension du modèle Λ CDM avec une constante cosmologique dynamique.

2.2.2 Le problème de la singularité initiale

La théorie du « big bang », depuis ses premières formulations, fait surgir l'idée d'une singularité initiale dont résulte l'univers observable. Le problème est que les physiciens n'aiment guère les singularités, points où, généralement, la physique rend

4. Une giga-année (gigayear en anglais, ou Gyr en abrégé) équivaut à un milliard d'années.

les armes. L'une des motivations, jadis, de la théorie de l'état stationnaire de Hoyle avait été précisément d'éviter la thèse de l'atome primitif de Lemaître et de maintenir l'idée d'un univers éternel. Une autre manière d'échapper aux modèles de « Big Bang » a été la construction de Hartle-Hawking d'un univers sans bord (voir Fig. 4).

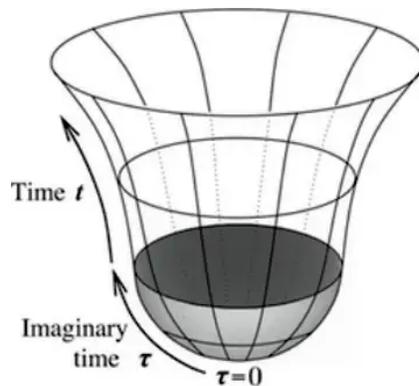


FIGURE 4 – L'univers sans bord de Hartle-Hawking

Issu de la théorie de la gravitation quantique euclidienne proposée par Stephen Hawking et James Hartle au début des années 1980, le modèle de Hartle-Hawking décrit un univers dit sans frontière ou sans bord, qui ne commence pas par une singularité de l'espace et du temps. Ce modèle est en fait une fonction d'onde de l'Univers calculée à partir de l'intégrale de chemin de Feynman⁵. Plus précisément, il s'agit d'un vecteur hypothétique dans l'espace de Hilbert d'une théorie de la gravité quantique, qui décrit cette fonction d'onde. C'est une fonctionnelle du tenseur métrique définie sur la surface compacte de dimension $D - 1$ (l'Univers), où D est la dimension de l'espace-temps (voir [Hartle-Hawking 83] et [Hawking et al. 00]). La forme précise du modèle de Hartle-Hawking est l'intégrale de chemin sur toutes les géométries de dimension D possédant la métrique induite requise à leur frontière. Selon la théorie de Hartle-Hawking, le temps a divergé à partir des trois dimensions initiales après l'ère de Planck. Il se crée une nouvelle direction du temps avant le Big Bang, un temps imaginaire similaire à un nombre complexe.

5. Cette intégrale est une reformulation de la mécanique quantique conduisant à faire la somme des amplitudes de probabilité pour un système physique décrivant des histoires, des chemins possibles dans l'espace-temps entre deux états de ce système. Nous avons commenté la démarche de Feynman in [Parrochia 19].

Ce modèle qui suppose l'introduction d'un temps imaginaire pourrait sembler artificiel, mais il n'est pas sans motivation. L'introduction d'un temps imaginaire est une pratique courante en physique, qui permet de faire de nombreux calculs en théorie quantique des champs. Cette introduction n'est pourtant généralement considérée que comme une astuce de calcul dans une théorie physique courante. Il en va tout autrement à proximité du temps zéro dans un modèle cosmologique. L'idée est que, dans un tel voisinage, la nature du temps est susceptible de changer, de sorte que l'espace-temps ne se terminera pas par un point singulier marquant la limite du temps et de l'espace. Le temps imaginaire traduirait le fait que l'espace et le temps ne sont plus alors distincts.

L'« état initial » de l'univers – si l'on peut encore ainsi s'exprimer (mais c'est évidemment un abus de langage) – serait plutôt semblable à la géométrie de la surface d'une sphère, à ceci près que ladite sphère aurait quatre dimensions au lieu de deux. Or de même qu'il est possible de voyager tout autour de la surface de la Terre sans jamais rencontrer de bord, de même, on ne rencontrera pas non plus de frontière à l'origine de l'Univers. Ainsi, le « Big Bang » ne serait pas plus le début de l'espace-temps associé à l'Univers que le pôle Nord ne serait, sur Terre, le début de la surface terrestre.

On a pu démontrer que cette fonction d'onde de l'Univers – à quoi correspond la solution de Hartle-Hawking – satisfait l'équation de Wheeler-DeWitt, dont partent tous les modèles de cosmologie quantique. Elle a, par ailleurs, l'avantage d'échapper à la singularité du « Big bang » tout en maintenant l'expansion de l'univers, évitant ainsi les critiques qu'on pouvait formuler à l'encontre de la théorie de l'état stationnaire.

2.2.3 L'existence possible d'univers antérieurs

Une autre manière d'échapper à la singularité initiale et à la difficile question de l'avant-big bang est de supposer un (ou des) univers avant l'Univers.

Commençons d'abord par la théorie d'une multiplicité indéfinie d'univers *successifs*. Rappelons que les Grecs, avec la théorie du Retour Eternel, fondé sur un système physique où les dépenses d'énergie se restituaient à longue échéance, avaient envisagé l'idée d'un monde revenant périodiquement à son état initial. Telle était la théorie d'Anaximandre de Milet, à laquelle ont pu adhérer encore Anaximène, Parménide et Empédocle d'Agrigente (voir [Sechan 54] et [Mugler 53]). Comme le commentait jadis Louis Séchan, « dans la suite illimitée du temps, le monde tel que nous le voyons, répète d'innombrables mondes identiques du passé, et il est le modèle qu'une

infinité de mondes futurs reproduira dans l'avenir » ([Sechan 54], 360).

Les premières recherches de Tolman La version moderne de cet ancien mythe – revu et corrigé par la cosmologie relativiste – est la théorie selon laquelle l'Univers pourrait connaître une suite incessante de phases d'expansion et de contraction.

Cette possibilité fut explorée dès les années 1930 par l'Américain Richard Tolman (voir [Tolman 31] et [Tolman 34], 436-438). C'est le premier théoricien moderne à imaginer une infinité de cycles pour l'Univers qui, tel le phénix se consumant périodiquement, périodiquement aussi renaîtrait de ses cendres. Mais une telle perspective pose beaucoup de problèmes, notamment au regard du second principe de la thermodynamique, selon lequel l'entropie ne peut qu'augmenter dans un système fermé. Pour respecter cette loi fondamentale en effet – comme, du reste, le montre Richard Tolman – le rayon de l'Univers et la durée de chaque cycle devraient croître eux aussi au cours du temps, comme une balle qui rebondit de plus en plus haut, sans qu'on sache depuis quand elle le fait ni jusqu'où elle ira. Depuis 1998, qui plus est, on sait que l'expansion de l'Univers s'accélère sous l'effet de la fameuse « énergie sombre », ce qui pose de nouveaux problèmes. Dans ce contexte, l'expansion, issue d'un champ d'énergie dynamique évoluant dans le temps, devrait se transformer ensuite pour enclencher une contraction. La suite des hypothèses associée à cette théorie du rebond paraît donc des plus spéculatives.

La théorie de Penrose Une variante de ces théories cycliques, due à Roger Penrose, ne suppose pas des expansions et contractions successives, mais un simple passage d'un univers à un autre, qui garde la trace du précédent (voir Fig. 5).

La théorie de Penrose s'origine dans un article de 2006 (voir [Penrose 06] où l'auteur développe l'idée d'une cosmologie cyclique conforme (CCC)⁶. Le point de départ de sa réflexion est l'existence du fond diffus quasi-homogène de l'Univers à $2,7^\circ$ K, qu'on peut assimiler à un équilibre thermique, donc à une entropie maximum, alors que l'entropie initiale du « Big Bang » ne peut être, en principe, que très faible. Bien que, en général, il n'existe pas de mesure géométrique claire de l'entropie dans un champ gravitationnel en relativité générale, Penrose propose d'associer la situation du « Big Bang » à une non-activation des degrés de liberté gravitationnels. Cela revient à dire qu'il faut que la courbure de Weyl, c'est-à-dire, la partie sans trace du tenseur de Riemann associé à l'espace-temps et qui décrit les degrés de liberté

6. Au sens du « groupe conforme » qui, en géométrie, conserve non les distances, mais les angles.

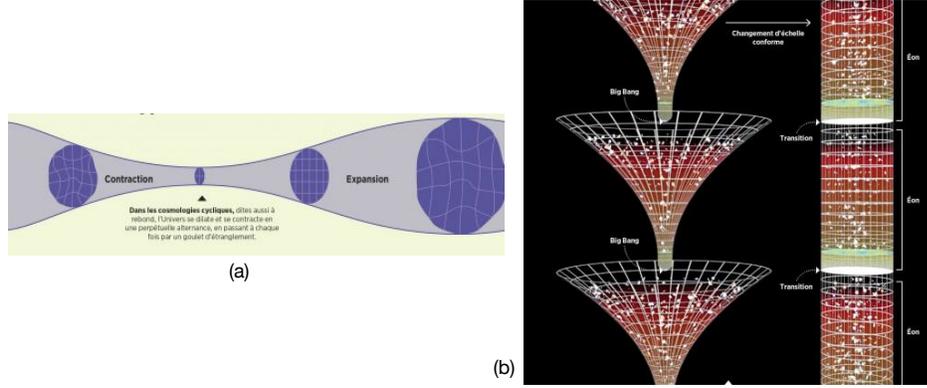


FIGURE 5 – Cosmologie cyclique classique (a) et conforme (b)

gravitationnels⁷, doit être telle que $C_{abcd} = 0$ au niveau de la singularité initiale, alors que les singularités spatio-temporelles finales (comme cela se produit à l'intérieur des trous noirs) ne sont pas contraintes.

Utilisant une formulation du mathématicien-physicien Paul Tod (voir [Tod 03]) qui suppose qu'une singularité spatio-temporelle initiale puisse toujours être représentée comme une frontière passée et lisse dans une géométrie conforme, Penrose, suivant Tod, applique cette formulation à la courbure de Weyl. En l'occurrence, sachant que la structure de l'espace-temps est invariante sous un redimensionnement de la métrique du type

$$g_{ab} \rightarrow \hat{g}_{ab} \Omega^2 g_{ab},$$

7. En notant respectivement R_{abcd} , R_{ab} , R et g_{ab} le tenseur de Riemann, le tenseur de Ricci, la courbure scalaire et le tenseur métrique, le tenseur de Weyl C_{abcd} s'écrit :

$$C_{abcd} = R_{abcd} - \frac{1}{n-2} (R_{ac}g_{bd} - R_{ad}g_{bc} + R_{bd}g_{ac} - R_{bc}g_{ad}) + \frac{1}{(n-1)(n-2)} (g_{ac}g_{bd} - g_{ad}g_{bc}) R,$$

où n est la dimension de l'espace considéré.

En particulier, en relativité générale, où l'on considère presque exclusivement des espaces-temps de dimension 4, on a (voir [d'Inverno-Vickers 22]) :

$$C_{abcd} = R_{abcd} - \frac{1}{2} (R_{ac}g_{bd} - R_{ad}g_{bc} + R_{bd}g_{ac} - R_{bc}g_{ad}) + \frac{1}{6} (g_{ac}g_{bd} - g_{ad}g_{bc}) R.$$

où Ω est un champ scalaire positif lisse, l'idée est donc d'« étirer » la métrique d'un facteur conforme Ω , lequel devient infini au lieu de la singularité du Big Bang. On obtient ainsi une métrique \hat{g}_{ab} qui s'étend sur cette singularité et lisse complètement la frontière.

Initialement, la proposition de Tod d'un « espace-temps » conforme avant le Big Bang n'était qu'une fiction mathématique destinée à formuler l'hypothèse de la courbure de Weyl d'une manière mathématiquement soignée. La proposition de Penrose consiste à prendre cette fiction mathématique au sérieux, c'est-à-dire à la considérer comme quelque chose de physiquement réel, autrement dit, à lui associer une situation physique. En l'occurrence, cette façon de voir lui permet de connecter l'état final d'expansion infinie de l'Univers avec l'état initial du « Big Bang » sans la contrainte liée à la singularité qui interdit ce genre de connexion, ce qui lui permet des prédictions physiques. La seule contrainte est que le modèle décrive adéquatement l'état des particules élémentaires dans l'état final de l'univers et que les équations les caractérisant soient invariantes par des transformations conformes, ce qui signifie en clair qu'il faut que les particules en question soient sans masse. Cela suggère que, dans un lointain avenir, la matière devrait perdre ses propriétés, les particules massives s'éliminant ou se neutralisant. Dans une phase ultime à très haute température, l'influence du champ de Higgs (qui donne sa masse aux particules) annulera le résidu de particules massives. Il ne restera plus que des photons et des gravitons. Cet univers cyclique conforme est donc une succession de bonds, chaque univers, d'une entropie supérieure à celle du précédent, gardant aussi sa trace en lui.

Penrose actualisa sa théorie en 2010 (voir [Gurzadyan-Penrose 10]), à la suite des données apportées par le satellite WMAP (Wilkinson Microwave Anisotropy Probe) qui fournit une première image du fond diffus à 2,7° K, puis en 2015, dans un article écrit en collaboration avec le physicien-mathématicien arménien Vahe G. Gurzadyan (voir [Gurzadyan-Penrose 15]). Entre temps, Penrose avait développé plus abondamment ses conceptions cosmologiques dans un livre de vulgarisation (voir [Penrose 13]) où le monde se décompose en une succession indéfinie de phases nommées *éons*, peut-être en souvenir de la Gnose, et correspondant à des univers particuliers en expansion séparés par des phases de transition (voir [Penrose 13], 141). L'expansion de chaque univers se transforme en fin de cycle en une résorption dans son état initial, mais la représentation conforme permet de lisser la singularité⁸. Enfin, en 2018 (dernière ver-

8. Cette théorie, comme toutes les théories cycliques en général fait évidemment penser à ce mythe grec où un serpent géant contenant le monde, l'Ouroboros, se mord la queue, dessinant cette figure élémentaire du cercle en laquelle se résume toute réalité (voir l'article de Guillaume Duprat sur les formes et structures de l'univers dans les traditions anciennes et orales in [Barrau-Parrochia 10],

sion déposée sur *ArXiv* en 2022), Penrose retournant aux « mathématiques sévères », révisa une nouvelle fois ses prédictions, en collaboration avec le mathématicien Daniel An de l'Université d'Etat de New York et avec le physicien théoricien Krzysztof Meissner de l'Université de Varsovie (voir [An et al. 22]). Dans ce dernier article, les auteurs suggèrent que le fond diffus à $2,7^\circ$ K, dont nous avons maintenant de bonnes images, contiendrait les traces physiques de trous noirs fantômes (points de Hawking) représentant chaque fois les rémanents de trous noirs morts ayant fusionné en une seule singularité marquant la fin d'un univers. Les gravitons et photons produits par de tels trous noirs auraient chaque fois créé les conditions d'un nouveau « Big Bang » et donc produit un nouvel Univers (le trou noir débouchant ainsi sur un trou blanc). Les points de Hawking apparaîtraient comme des cercles de lumière sur la carte du fond diffus (voir Fig. 6).

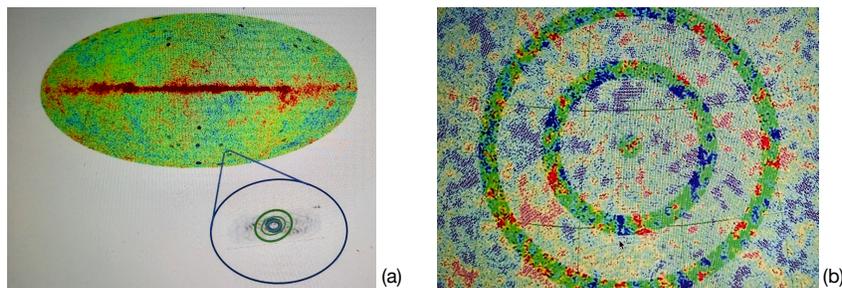


FIGURE 6 – Traces d'anciens univers (a) et anomalies concentriques (b)

Malgré la séduction qu'elle peut exercer, la théorie ne semble pas avoir convaincu, pour l'instant, la communauté des cosmologistes. Contrairement aux assertions des auteurs, les dernières données satellitaires (mission Planck, en particulier), ne peuvent pas être invoquées pour valider les présumées traces des univers antérieurs. En effet, les "cercles" associés aux "points de Hawking" repérés par Penrose et ses collègues pourraient tout aussi bien être assimilés à du "bruit". On a pu montrer, par exemple, que l'on pouvait repérer aussi, dans le fond diffus à $2,7^\circ$ K, d'autres figures telles que des triangles courbes. Comme, par ailleurs, rien ne prouve que les trous noirs fantômes des univers précédents obéissent aux mêmes lois que ceux qu'on connaît dans l'univers présent, l'ensemble de la théorie reste trop spéculative pour emporter l'adhésion. Mais on peut toujours lui laisser une chance en supposant que les

171).

traces postulées restent pour l'instant au-dessous du seuil de détection de nos instruments.

Les cycles dans le cadre de la théorie des cordes D'autres cosmologies de type cyclique (ou avec des univers à rebonds) ont été développées dans les vingt dernières années (voir [Novello et al. 08] et, plus récemment [Neves 17]), dont certaines en lien avec la théorie des cordes.

Dès le début des années 2000, en effet, le grand pionnier de cette théorie, Gabriele Veneziano, avait abordé le sujet. L'idée que, dans certains modèles de cordes (modèles pré-big bang ou modèle ekpyrotique) des scénarios où le temps n'a ni commencement ni fin pourraient avoir laissé des traces dans le fond diffus cosmologique, était dans l'air (voir [Gasperini-Veneziano 03]).

Veneziano, comme tous les cosmologistes, s'interrogeait déjà à cette époque sur l'extrême homogénéité du fond diffus à $2,7^\circ\text{K}$, qui suppose, étant donné la consistance identique de celui-ci dans toutes les directions, que des galaxies situées dans des directions opposées, et par conséquent séparées d'environ 25 milliards d'années-lumière, soient à peu près les mêmes alors que les régions dans lesquelles elles se trouvent ne sont jamais entrées en contact. Pour rendre compte de cette anomalie, deux explications étaient possibles : « Soit l'univers était, dans les premiers instants, beaucoup plus petits que ne le suppose la cosmologie classique, soit il est beaucoup plus vieux. Dans les deux cas, deux parties distantes du ciel avant l'émission du rayonnement cosmologique auraient pu interagir » (voir [Veneziano 04], 42).

La première solution est celle des partisans de l'inflation, théorie proposée par Englert, Brout et Gunzig dès 1978, puis Starobinsky en 1979, simplifiée ensuite par Alan Guth en 1981 (voir [Peter-Uzan 05], 427). Mais des difficultés subsistent, l'inflation reposant sur une physique totalement exotique, avec un mystérieux « inflaton »⁹, dont on ne connaît pas la nature. La seconde façon de résoudre le problème – commune à nombre de théories alternatives au « Big Bang » est de supposer que l'Univers est beaucoup plus vieux que prévu. En ce cas, c'est-à-dire si une longue ère a précédé l'époque actuelle, l'univers a eu effectivement le temps de s'homogénéiser. Ce second scénario, comme précédemment chez Penrose et les autres théoriciens mentionnés plus haut, a l'avantage de supprimer la singularité, laquelle interdit d'appliquer la

9. Rappelons que l'« inflaton » est le nom donné à un champ scalaire hypothétique (c'est-à-dire un lieu de l'espace où s'exerce une force qui n'est pas orientée, à l'inverse des champs vectoriels). Ce champ scalaire ressemblerait à celui associé au boson de Brout-Englert-Higgs. C'est cet inflaton qui serait responsable de cette phase d'expansion accélérée extrêmement rapide au tout début de l'univers qu'est l'inflation.

relativité au point zéro. On remplace alors celle-ci par une théorie quantique de la gravitation, avec deux approches prometteuses : gravitation quantique à boucles et théorie des cordes. C'est de cette dernière dont s'occupe Veneziano. Elle met en évidence des propriétés particulières des cordes, bien adaptées aux lois quantiques : taille de l'ordre de 10^{-34} mètre, énergie vibratoire correspondant aux masses des particules et mouvements adaptés, équations cohérentes avec la physique quantique si l'espace a 9 dimensions et si les 6 supplémentaires sont enroulées sur de petites distances, constantes décrivant l'intensité des forces fondamentales apparaissant sous la forme de champs aux valeurs évolutives en fonction du temps, existence de nouvelles symétries intéressantes, n'existant pas dans la théorie de la relativité (voir [Veneziano 04] 43-44),

Justement, parmi les symétries manifestées par les cordes, l'une d'entre elles, la T-dualité révèle qu'un univers où le facteur d'échelle est très petit est équivalent à un univers où le facteur d'échelle serait très grand. Cette T-dualité met ainsi des bornes à certaines grandeurs physiques et empêche notamment que le rayon de courbure de l'univers décroisse jusqu'à zéro et provoque la singularité problématique. Elle fait rebondir l'effondrement qui devient une nouvelle expansion. Dès lors, la singularité une fois disparue, rien n'empêche de supposer que l'Univers existait avant le « Big Bang ». Il peut prendre alors deux formes : dans le scénario pre-Big-Bang, c'est un univers en miroir, de sorte que l'Univers total s'étend éternellement dans le futur comme dans le passé ; dans le scénario ekpyrotique, deux branes se rencontrent et rebondissent avant de retomber l'une sur l'autre. Apparemment, on pourrait savoir à terme quel modèle l'emporte sur l'autre. Les scénarios pré-big bang et ekpyrotique prédisent plus d'ondes gravitationnelles de hautes fréquences et moins de basses fréquences que le modèle inflationnaire. Il est donc possible qu'on puisse trancher à terme cette question (voir [Veneziano 04], 45-47). La parole est à l'expérience.

Dans un article technique, la théorie, reformulée dans un langage hamiltonien, en vient à caractériser une large classe de scénarios pré-big bang non singuliers et non perturbateurs, sortes d'interpolation entre une expansion initiale accélérée (cadre des cordes) de faible énergie et une phase d'expansion finale ralentie (cadre des cordes et cadre d'Einstein). Dans tous les cas, ces solutions doivent nécessairement inclure, juste autour du rebond, une très courte phase de contraction (décrite dans le cadre des cordes) (voir [Gasperini-Veneziano 03]).

Finalement, tous ces modèles d'univers, comme a pu le montrer Aurélien Barrau dans un livre où il les recense (voir [Barrau et al. 10]), se situent dans le contexte d'une théorie du multivers qu'on envisage tantôt sous une forme spatiale (où les univers coexistent), tantôt sous une forme temporelle (où ils se succèdent).

2.2.4 WMAP et la forme de l'univers

Une autre interprétation des anomalies du fond diffus cosmologique, et notamment des "cercles" qui y sont repérables et sur lesquels les théories cycliques comme celle de Penrose fondent leurs arguments, pourrait être liée à la forme de l'univers. La théorie de la relativité laissait indéterminée la topologie de l'Univers. Depuis le début du XXI^e siècle, cependant, certaines observations issues des télescopes montrent que la forme de notre Univers est approximativement plate. Cela permet d'envisager différents types d'espace de cette nature.

Une analyse des données du satellite artificiel WMAP faite par Jeffrey Weeks, Jean-Pierre Luminet et leurs collaborateurs (voir [Luminet et al. 03]) avait déjà suggéré un Univers dont la forme serait celle d'un espace dodécaédrique de Poincaré. Jean-Pierre Luminet a exprimé l'idée que l'Univers puisse être d'extension spatiale finie, mais sans bord, ce qu'il a nommé dans ses ouvrages et articles de vulgarisation "univers chiffonné", l'expression scientifique exacte étant plutôt "univers à topologie multiplement connexe" ou "non simplement connexe".

Plus récemment, une équipe allemande de l'université de Ulm, dirigée par Frank Steiner (voir [Steiner et al. 08]), a confirmé que la forme du spectre des fluctuations de température du rayonnement fossile dans un Univers de taille finie et à la topologie multiplement connexe était compatible avec les données issues de WMAP. Mais à la différence des chercheurs français qui retenaient la forme du dodécaèdre, Steiner et son équipe ont utilisé un modèle plus simple d'univers chiffonné : un tore à trois dimensions de volume égal à 5×10^3 Gpc. Cet objet de courbure nulle satisfait les théorèmes de la géométrie euclidienne. En revanche, comme le modèle de Poincaré, il permet l'apparition de cercles de corrélations dans le rayonnement fossile ainsi que la multiplication d'images fantômes des galaxies, laissant accroire que l'univers est infini.

Dans le spectre de rayonnement du fond diffus cosmologique, le déficit des grandes longueurs d'onde par rapport aux prédictions du modèle Λ CDM (voir la gauche de la Fig. 3) pourrait s'expliquer comme une limite à la taille des fluctuations de température dans le rayonnement fossile, limite imposée par l'existence d'un univers clos, donc fini. (Apparemment, il semble que le modèle Λ CDM avec un univers infini échoue à retrouver ce déficit en longueurs d'onde).

Un autre argument en faveur de la théorie des cosmologistes allemands est que, comme l'avait déjà montré Andrei Linde, en cosmologie quantique, la naissance d'un Univers en forme de tore est bien plus probable que celle d'un Univers fini sphérique ou au contraire plat mais infini. Même si cette cosmologie quantique reste encore hy-

pothétique, elle présente le début de l'univers comme la transition quantique par effet tunnel entre un état physique dominé par la gravitation quantique, et où ni l'espace ni le temps n'ont leurs propriétés habituelles (voire cessent d'exister, si ce n'est sous forme virtuelle avec un temps imaginaire) et un état classique associé à la géométrie spatio-temporelle que nous connaissons. Dans ce contexte, l'apparition d'une géométrie compacte et plate semble alors plus probable, comme Linde l'a soutenu dans ses travaux.

Mais il faudra sans doute attendre quelques années pour voir confirmer ou infirmer ce qui reste, pour l'instant, des spéculations.

2.2.5 L'avenir de l'Univers à long terme et la physique de l'éternité

Dans le cadre d'une conception cosmologique où l'Univers a un début, il doit avoir également une fin. Les spéculations sur l'avenir lointain de l'Univers observable ont donc fait florès depuis une quarantaine d'années, notamment sous l'influence de physiciens américains comme Tipler (voir [Tipler 94]), Deutsch (voir [Deutsch 03]) et Redford (voir [Redford 11]). Comme nous le rapportons dans un de nos ouvrages (voir [Parrochia 21]), une vision assez optimiste de l'avenir semblait se dégager de cette prospective à long terme, même si les premières estimations de Dyson (voir [Dyson 79]) pour un univers en expansion éternelle, avait dû être, entre temps, revues à la baisse (voir [Egan et al. 10]).

Dans les années 2010, l'évaporation des derniers trous noirs était prévue à échelon de 10^{100} ans environ (plus précisément, 10^{80} ans pour les trous noirs stellaires et 10^{110} ans pour les trous noirs super-massifs).

Des études plus récentes semblent prolonger la vie de l'univers bien au-delà. Dans le sillage des réflexions de Fred Adams et Greg Laughlin (voir [Adams-Laughlin 20]), un article récent de Matt Caplan (voir [Caplan 20]) montre que les trous noirs ne sont pas les derniers objets à subsister. Ce serait l'explosion des naines blanches, dans des centaines de trillions d'années, qui pourrait constituer l'ultime feu d'artifice cosmique, avant que l'univers ne sombre dans une obscurité totale, dépourvue de toute espèce de vie.

Mais ce refroidissement final n'est qu'une possibilité parmi d'autres. Si, au contraire, toute la matière subsistante se concentre au point que l'Univers s'effondre sur lui-même, il n'est pas exclu que cette apocalypse finale ne soit en fait que les prémices d'un nouveau Big Bang.

3 Conséquences philosophiques et théologiques

La cosmologie, en principe, est une science à part entière, d'ailleurs très mathématisée depuis les années 1915-1920, à l'image de la relativité générale d'Albert Einstein. Néanmoins, certains cosmologistes estiment qu'elle ne s'est pas complètement dégagée – et peut-être d'ailleurs ne pourra-t-elle jamais le faire entièrement – d'un environnement culturel qui pèse grandement sur elle. Comme l'écrit Marc Lachièze-Rey, « étudiant des problèmes fondamentaux qui mettent en cause la nature de notre univers, la question de son origine et de son devenir, ainsi que la place qu'y occupe l'homme, la cosmologie partage ses centres d'intérêt avec des disciplines extra-scientifiques, métaphysique, théologie, philosophie... Il n'est pas toujours facile d'établir une barrière entre ce qui relève de la science et ce qui relève de la métaphysique, ni de reconnaître les influences des différents mythes qui nous hantent, ou de notre héritage socio-culturel. Il est en tout cas important de garder à l'esprit que la cosmologie scientifique repose sur des principes métaphysiques » (voir [Lachièze-Rey 96], 3).

Toutefois, c'est une chose de déceler dans la cosmologie un mélange non intentionnel de philosophie et de science, et c'en est une autre de mesurer en quoi la cosmologie moderne a pu changer notre représentation du monde. Or, sur ce point, rares ont été les philosophes ou théologiens désireux de tirer quelques enseignements des spéculations cosmologiques contemporaines.

3.1 Le concordisme et sa réfutation

La plus grande erreur, de ce point de vue, aura certainement été commise par Pie XII, un grand défenseur du « concordisme », cette tentative de rapprochement de la science et de la foi chrétienne. Le pape s'appuyait sur un texte d'Edmund Whittaker, académicien pontifical, suggérant que l'instant initial de l'âge du monde, auquel la recherche cosmologique remontait désormais, était en quelque sorte « l'ultime limite de la science » et que, de ce fait, nous pouvions peut-être « nous référer à elle comme à la création » (voir [Whittaker 46], 118-119). Aussi bien, Pie XII s'était-il autorisé à identifier purement et simplement « Big Bang » et création divine : « Il semble, en vérité, que la science 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... Elle a élargi et approfondi considérablement les bases d'expérience sur lesquelles se fonde l'argument et d'où l'on conclut à l'existence d'un *Ens a se*, immuable par nature...

Ainsi, création dans le temps ; et, pour cela, un Créateur et, par conséquent, Dieu ! Le voici donc – encore qu’implicite et imparfait – le mot que Nous demandions à la science et que la présente génération humaine attend d’elle.» (voir [Pie XII 51], 1537 sq). Comme on le sait, il fallut tout le poids et l’influence de l’abbé Lemaître pour que se rectifie la position papale, dont le discours du 7 septembre 1952, devant l’Union astronomique internationale, n’évoqua plus alors que « les processus cosmiques qui se sont déroulés au premier matin de la Création », sans précision supplémentaire (voir [Robredo 06], 120-121).

Au vu des incertitudes de la science – qui est évidemment dans l’histoire – et de ce que Jacques Merleau-Ponty nommait cette « dialectique de l’origine » (voir [Merleau-Ponty 65], 337) qui semble prolonger sans les résoudre les antinomies kantienne de la *Critique de la Raison pure* (voir [Kant 68], 338 sq), on pourrait déjà juger prudent ce refus de Lemaître de rapprocher les découvertes de la science et les assertions de la religion. Mais on peut encore invoquer des arguments plus profonds que nous détaillerons plus loin et qui se rapportent à la notion de « creation » (voir section 3.6).

3.2 Une critique abusive du matérialisme

Une autre erreur, à notre sens, est commise lorsqu’on croit pouvoir inférer des avancées de la science le rejet de certaines conceptions philosophiques, d’ailleurs souvent décrites de manière grossière sinon caricaturale. Claude Tresmontant, dans les années 1970, a malheureusement suivi cette pente. Dans le premier chapitre de son livre *Sciences de l’univers et problèmes métaphysiques* (voir [Tresmontant 76]), qui porte sur la cosmologie, l’auteur, au prétexte de combattre l’ignorance des philosophes de son temps en matière scientifique, entreprend de tirer des conséquences ontologiques de la cosmologie moderne. Cette dernière, qui montre l’existence d’un univers dynamique évolutif, opposé au système statique de l’Antiquité, qui ne connaissait « ni croissance ni décroissance, ni commencement ni fin » enseigne donc « tout juste le contraire de ce qu’enseignait l’antique philosophie grecque ». On peut, certes, déplorer avec l’auteur que nombre de philosophes du XX^e siècle – dont Heidegger et Sartre – aient pu soutenir que la philosophie était sans rapport avec les sciences. Mais on ne peut le suivre dans le raisonnement qu’il tient en opposant la cosmologie moderne à la philosophie antique et à ce qu’il prétend être son identification de l’univers et de la totalité de l’être, thèse qui est, selon lui, aussi bien celle de Parménide que d’Aristote ou même d’Héraclite. Comme l’être ne peut pas avoir commencé, il en résulte que l’univers est éternel, une idée défendue, d’après l’auteur, par tous les matérialistes. Pour Tresmontant, par conséquent, la cosmologie moderne, dont il suppose qu’elle

a définitivement réglé la question de l'origine en posant que l'univers a commencé, réfute le matérialisme comme elle réfute aussi les théories de l'éternel retour, d'Héraclite à Nietzsche – autres théories éternitaires. D'après Tresmontant, un dernier carré de scientifiques – « la vieille garde » – « défend encore, contre l'ensemble des données de l'astrophysique, l'hypothèse d'un univers éternel – car ils le savent : si la thèse d'un commencement de l'univers s'impose, c'en est fini du matérialisme (...) ». Car, pour que ce qu'il appelle « le matérialisme athée » soit vrai, il faut que l'univers soit impérissable, et qu'il soit l'Être, le seul Être, tout l'Être. À cette tradition de Parménide et des penseurs grecs, Tresmontant oppose la pensée « qui remonte aux anciens Hébreux » et selon laquelle l'univers est quelque être, mais non pas l'Être pris absolument, ce qui expliquerait qu'il ait pu commencer (Genèse) et qu'il puisse finir (Apocalypse). Toutefois, Tresmontant doit reconnaître que, si d'aventure la cosmologie optait pour un univers sans commencement ni fin – un univers éternel, en somme –, une telle observation ne prouverait pas pour autant le matérialisme. C'est donc avouer implicitement que, contrairement aux affirmations de départ, aucune conclusion ontologique ne peut être vraiment tirée de la nouvelle cosmologie – ce qui ne signifie pas, bien sûr, qu'un philosophe ne doive pas l'étudier. On ne peut cependant que contester l'idée que l'existence du « Big Bang » réfuterait le matérialisme, l'univers, dans son commencement (atome primitif de Lemaître ou mousse quantique actuelle) comme dans ses développements ultérieurs (amas, nébuleuses, galaxies, etc.) étant tout ce qu'il y a de « matériel ». À l'inverse, on ne voit pas pourquoi certains savants (Bondi, Gold, Hoyle) devraient s'accrocher à l'idée d'un univers éternel à la seule fin de défendre le matérialisme, puisque l'éternité de l'Univers ne réussira pas à prouver celui-ci. L'ensemble du raisonnement semble donc biaisé, comme le prouve d'ailleurs le reste du livre où il s'agit de montrer que la conception moderne de la matière comme celle des êtres vivants ne permet plus de s'en remettre au hasard et de se dispenser de l'intervention d'une intelligence organisatrice, ce qui est évidemment le présupposé de départ, lequel continue de courir dans tous les chapitres – y compris ceux sur l'homme, la connaissance, la causalité ou le mal.

Un livre plus récent de Tresmontant (voir [Tresmontant 07]) ne semble pas bien plus convaincant, malgré un raisonnement qu'on peut comprendre mais qui s'écarte définitivement de la science : « Un très grand nombre d'astrophysiciens pensent que cet Univers-ci dans lequel nous sommes a commencé. Mais dire que l'Univers a commencé n'est pas encore dire qu'il a été créé. Pour établir qu'il a été créé, et qu'il est actuellement créé, il faut procéder à une analyse rationnelle, qui est une analyse métaphysique. Constater le commencement d'un être n'est pas encore avoir découvert que cet être a été créé. Car l'idée de création implique fortement deux termes. L'un des deux termes, c'est l'être créé. L'autre terme, c'est l'être créateur. Tant qu'on n'a

pas découvert l'existence du Créateur, on n'a pas non plus découvert la création, qui est une relation entre le Créateur et le créé.» (voir [Tresmontant 07], 179). On ne parle plus ici d'un Être préexistant à l'être de l'Univers (le risque était sans doute grand que l'existence de cet Être éliminât la création). Ce qui est maintenant envisagé est l'idée d'une création continuée, mais non au sens cartésien, plutôt la création progressive d'une nouvelle humanité via la révélation. Tresmontant abandonne alors aux sciences le passé matériel de l'Univers, pour mettre au crédit du christianisme une vision de l'avenir : « Le passé de la création est connu par les sciences expérimentales – l'astrophysique, la physique, la chimie, la biochimie, la biologie fondamentale, la zoologie, la paléontologie, la neurophysiologie ; – l'avenir de la création est connu par la révélation »(voir [Tresmontant 07], 186). Avec l'apparition de l'homme advient déjà une sorte de création d'ordre spirituel, mais avec le christianisme se révèle « la création de l'Homme Nouveau uni à Dieu » (voir [Tresmontant 07], 191). La théologie, contrairement aux vœux initiaux de Tresmontant, s'est donc entièrement coupée de la cosmologie scientifique sur laquelle elle cherchait au départ à s'appuyer, mais pour devenir purement apologétique. Il s'agit maintenant de recouvrir l'histoire de l'univers par un récit d'un autre genre, qui tire son origine et tout son sens du prophétisme hébreu.

3.3 Le découplage de la science et de la foi

Vus d'aujourd'hui, c'est-à-dire pratiquement un demi-siècle plus tard, on pourrait croire que les propos de Tresmontant sont tombés en désuétude. Commentant récemment l'œuvre de Grégoire Celier sur *Saint-Thomas d'Aquin et la possibilité d'un monde créé sans commencement* (voir [Celier 20]), Jean-François Stoffel a loué l'auteur, non seulement pour la justesse de ses analyses, mais pour ce qu'elles signifient, en regard de l'histoire de la cosmologie du XX^e siècle et des recherches actuelles. « En rappelant que la création n'est aucunement justiciable de la science puisqu'elle s'applique non pas à un être mobile déjà existant, mais seulement à l'apparition absolue de l'être (p. 178 et p. 182-187), cet exposé présente, selon nous, encore un autre intérêt : celui de libérer la recherche scientifique de considérations idéologiques qui n'ont rien à y faire et qui, la plupart du temps, sont de nature à entraver son développement naturel. En effet, lorsqu'un scientifique s'efforce, par ses travaux, de "contourner" les modèles cosmologiques faisant état d'un commencement naturel du monde en croyant ainsi anéantir toute revendication d'une création métaphysique de ce même monde, il perd son temps inutilement¹⁰ ; de même, lorsqu'un apologiste tire

10. Il est probable que le scientifique visé est Stephan Hawking. Mais, plus généralement, ceux qui tombent sous cette critique sont les défenseurs d'univers éternitaires ou cycliques, de Hoyle à

profit de ces mêmes modèles cosmologiques pour donner plus de crédit à la doctrine de la création du monde, il œuvre dangereusement» (voir [Stoffel 22]). Si l'on peut se réjouir de la dernière phrase, qui condamne définitivement Pie XII et le concordisme, ou, d'une manière générale, toute instrumentalisation de la science, on peut être plus circonspect sur les autres aspects de ce texte qui, fidèle à Thomas d'Aquin, semble soutenir l'idée que ce que peut dire la science cosmologique est sans conséquence sur la métaphysique ou la théologie, car l'idée de création s'applique à l'apparition de l'Être, non à celle de l'univers. On n'est donc pas très loin de Tresmontant car ce dernier ne distinguait l'être de l'Univers de l'Être en général que pour maintenir, précisément, la nécessité d'une Création au sens fort et donc, bien entendu, d'un Créateur. Il s'agirait cependant de démontrer que ce qu'on appelle « l'Être », et qui est censé n'avoir aucune propriété des « étants », possède néanmoins une existence différente de celle d'un fantôme ou d'une construction imaginaire. Or cet Être, bizarrement, semble devenu si évanescent au fil du temps que certains philosophes – qui en font une sorte d'idole – n'hésitent pas à le retirer à Dieu lui-même, développant ainsi l'idée d'un « Dieu sans l'être ». Contre la métaphysique classique et les néo-thomistes, Jean-Luc Marion, dans le sillage de Schelling – qui défendait l'idée d'une liberté de Dieu à l'égard de sa propre existence – n'a pas hésité à franchir le pas : « l'être a-t-il un rapport, plus que quoi que ce soit, à Dieu ? – demande-t-il. Dieu a-t-il rien à gagner à être ? L'être – que quoi que ce soit, pourvu qu'il soit, manifeste – peut-il seulement accueillir quelque [chose de] Dieu ? » (voir [Marion 82], 11). Si l'être alors n'est qu'une idole, Dieu doit plutôt relever d'une autre catégorie que l'ontologique au sens fort, et se retrouver alors – ce qui est peut-être plus conforme au christianisme – identifiable au don, à l'amour, à la charité, le chrétien ne pouvant s'approcher de lui, précisément, que par ses actes. Evidemment, tout cela n'a plus rien à voir avec la cosmologie.

3.4 Vers une autonomisation possible de la cosmologie

On doit remarquer, d'ailleurs, que la cosmologie scientifique tend à s'autonomiser complètement. Tout en reconnaissant qu' il n'y a rien, dans son livre « qui discrédite la possibilité qu'un agent intelligent ait pu créer l'univers dans un but quelconque », Léonard Susskind, grand spécialiste de la théorie des cordes, avoue, comme jadis Laplace, pouvoir se passer de cette hypothèse, à tout le moins douter de son bien-fondé : « S'il y a eu un moment de création, il se dissimule à nos yeux comme à nos télescopes derrière le voile de l'inflation explosive qui s'est déroulée pendant la préhistoire du big bang. Si Dieu existe, il a pris grand soin de passer inaperçu » (voir [Susskind 08],

Penrose.

576). Mieux : l'on ne trouvera aucune référence métaphysique ou théologique dans le livre de Joseph Silk, un des grands défenseurs de la singularité initiale, qui porte précisément ce titre : *Le Big Bang* (voir [Silk 97]). Dans un autre de ses ouvrages, un peu plus long et un peu plus récent, (voir [Silk 03], 12-13), l'auteur explique, du reste, comment on est passé des imprudences de Whittaker et de Pie XII à cette cosmologie désormais autonome. Arthur Eddington, c'est vrai, se refusait à admettre la discontinuité première, qu'il identifiait à une intervention divine¹¹ ; Milne considérait encore que le système de modélisation de l'univers auquel la cosmologie était parvenue était un système intelligible, qui n'avait rien d'irrationnel, si ce n'est, précisément, cet instant premier de la création. Mais Steven Weinberg estimait au contraire, quant à lui, qu'il était « logiquement possible qu'il y ait eu un commencement, et que le temps lui-même n'ait aucune signification avant lui » (voir [Weinberg 88], 173). Pour Weinberg, nous devons donc seulement nous habituer à un zéro absolu du temps comme nous nous étions habitués à l'idée d'un zéro absolu de température. Auquel cas on s'achemine définitivement vers une cosmologie totalement purgée d'attendus métaphysiques.

3.5 L'extraordinaire projet de Hawking

Dans la conclusion du livre qui l'a rendu célèbre aux yeux du grand public – *Une brève histoire du temps* (1989 pour la traduction française) –, Stephen Hawking annonçait que, si l'univers n'avait, comme il pensait l'avoir prouvé, ni singularité ni bord, et s'il était complètement décrit par la théorie unifiée qu'il proposait, alors cela devait avoir « de profondes conséquences sur le rôle de Dieu en tant que créateur ». Hawking rapportait qu'Einstein avait un jour demandé quel choix avait Dieu pour construire l'univers. La réponse d'Hawking prenait la forme suivante : « Si la proposition "pas de bord" est juste, il n'avait aucune liberté pour choisir les conditions initiales. Bien sûr il aurait pu encore avoir eu la liberté de choisir les lois auxquelles l'univers obéit. Cependant, cela ne représente pas un large éventail de possibilités ; il peut très bien y avoir une ou un petit nombre de théories complètement unifiées (...) qui soient cohérentes et qui permettent l'existence de structures aussi complexes que les êtres humains capables de rechercher les lois de l'Univers et de se poser des questions à propos de la nature de Dieu. » (voir [Hawking 89], 221). Un peu plus loin, le physicien se demandait encore : « La théorie unifiée est-elle si contraignante

11. Il aurait préféré une solution moins inesthétique : « Puisque je ne peux éviter d'introduire cette question d'un commencement, j'ai l'impression que la théorie la plus satisfaisante serait celle pour laquelle ce commencement *ne serait pas d'une soudaineté trop inesthétique* » (voir [Eddington 34], 72).

qu'elle assure sa propre existence ? Ou a-t-elle besoin d'un créateur et, si oui, celui-ci a-t-il d'autres effets sur l'Univers ? et qui l'a créé, lui ? » (voir [Hawking 89], 221). Espérant qu'un jour viendrait où philosophes, scientifiques, hommes du commun pourraient comprendre la fameuse théorie complète expliquant tout, il assurait qu'à ce moment-là, les hommes connaîtraient « la pensée de Dieu » (derniers mots du livre)¹².

À peu près à la même époque, quoique la traduction française fût un peu plus tardive (1992), Hawking continuait d'annoncer, à la fin d'une conférence sur « le bord de l'espace-temps », des « conséquences philosophiques importantes », notamment la possibilité de décrire l'Univers au moyen d'un modèle mathématique entièrement déterminé par les lois de la science et de la science seule. Ce modèle ne pouvant pas tout prédire, à la fois à cause du principe d'indétermination (qui ne peut donner avec exactitude la valeur de certaines grandeurs mais seulement leur distribution de probabilité) et aussi à cause de la complexité de certaines équations impossibles à résoudre sauf dans des cas simples, « nous serions donc, assurait-il, encore très loin de l'omniscience » (voir [Hawking 92], 118-119).

La conférence d'Hawking intitulée « L'origine de l'univers », qui est aussi à peu près contemporaine de l'écriture de son premier livre, était également plus prudente. On y lit très exactement ceci : « L'ultime théorie unifiée est-elle si irrésistible qu'elle cause sa propre existence ? Bien que la science puisse résoudre le problème de la manière dont a commencé l'Univers, elle ne pourra pas répondre à la question : pourquoi l'Univers s'est-il donné la peine d'exister ? » (voir [Hawking 94], 97). Par conséquent, non seulement on ne sera pas omniscient, mais on ne saura pas les fins dernières des choses, on ne répondra pas à la question métaphysique par excellence, on ne pourra pas savoir, au bout du compte, pourquoi il y a eu quelque chose plutôt que rien.

Au commencement, cependant, est le rien pour Hawking et, tout étant né à partir de ce rien, il s'agit bien d'une création *ex nihilo*. C'est au cours du dialogue de Hawking avec Penrose sur la nature de l'espace et du temps que ce point a été précisé, dans le contexte de l'explication de la condition « sans bord ». Cette marque de fabrique de la cosmologie de Hawking, qui revient à insérer une sphère euclidienne à la base de l'hyperboloïde lorentzien d'un espace de Sitter, conduit le physicien à affirmer ce qui suit : « À la différence du cas de la création d'une paire de trous noirs, il n'est pas possible de considérer que l'univers de De Sitter a été créé à partir de l'énergie du

12. En anglais : « for then we would know the mind of God ». Cette formule a sûrement été choisie à dessein : pour la religion chrétienne, « connaître la pensée (ou l'esprit) de Dieu » équivaut à se mettre à sa place : c'est évidemment l'orgueil humain par excellence, le péché originel de l'humanité, ce qui donne au projet de Hawking une allure totalement transgressive.

champ dans un espace préexistant. Au contraire : cet univers a été créé littéralement à partir de rien¹³ : non pas à partir du vide, mais bien à partir de rien, absolument rien, car il n'y a rien à l'extérieur de l'univers » (voir [Hawking-Penrose 03], 133-134). On ne peut donc pas être plus explicite sur la question.

Il était légitime, après cela, que Hawking abordât de front la question théologique. Il le fait dans le texte *Y a-t-il un grand architecte dans l'Univers ?*, publié en collaboration avec Léonard Mlodinow. Tout en reconnaissant la légitimité de la question, comme celle d'autres questions métaphysiques d'ailleurs, qui étaient traditionnellement du ressort de la philosophie, les auteurs assurent que, désormais, la philosophie étant morte, c'est aux scientifiques d'y répondre. Et comme on pouvait s'y attendre, leur réponse est négative.

« Au cours des siècles, nombreux ont été ceux qui, tel Aristote, ont cru que l'Univers était présent depuis toujours, évitant ainsi d'affronter l'écueil de sa création. D'autres au contraire ont imaginé qu'il ait eu un commencement, utilisant cet argument pour prouver l'existence de Dieu. Comprendre que le temps se comporte comme l'espace permet de proposer une alternative. Celle-ci, écartant l'objection éculée qui s'oppose à tout commencement de l'Univers, s'en remet aux lois de la physique pour expliquer cette création sans recourir à une quelconque divinité » (voir [Hawking-Mlodinow 14], 166).

Simplement, comme l'origine de l'Univers a été un événement quantique, elle doit être décrite, selon Hawking, par l'intégrale de Feynman, c'est-à-dire, la somme sur tous les chemins possibles, mais pas exactement entre deux points A et B , comme pour les particules. En l'occurrence, comme le point A n'existe pas, il suffit « d'additionner toutes les histoires qui d'une part satisfont la condition sans bord et d'autre part débouchent sur l'Univers que nous connaissons aujourd'hui » (voir [Hawking-Mlodinow 14], 167). Certaines histoires seront plus probables que d'autres et la somme pourrait être dominée par une seule histoire partant de la création de l'Univers pour culminer dans l'état qu'on considère. Cependant, force est de constater que des histoires différentes correspondront à d'autres états actuels possibles de l'Univers, des lois de la nature particulières dépendant chaque fois de ces histoires. Quand on modélise les particules par des cordes vibrantes, la M-théorie qui est supposée décrire l'Univers à l'état naissant inclut par nécessité un certain nombre de dimensions supplémentaires par rapport à l'espace-temps (six ou sept), qu'on doit

13. L'expression « création à partir de rien » avait déjà été utilisé par Friedmann (voir [Friedman-Lemaître 97], 206) dans le cadre cosmologique, mais sans doute pas avec la même force que par Hawking.

penser comme repliées sur elles-mêmes puisqu'elles ne sont pas visibles. Ces dimensions, qui constituent l'espace interne déterminant les valeurs de quantités physiques comme la charge de l'électron ou la nature des interactions fondamentales entre particules élémentaires, peuvent se replier d'un grand nombre de façons. Dans un scénario idéal, la M-théorie n'aurait permis qu'une forme unique pour les dimensions repliées, ou à la rigueur un petit nombre de formes dont toutes sauf une auraient été exclues, n'autorisant finalement qu'un seul choix pour les lois apparentes de la nature. La réalité, malheureusement, est tout autre : selon les auteurs, il semble qu'on puisse attribuer des probabilités d'amplitude à pas moins de 10^{100} espaces internes différents et selon Leonard Susskind, ce chiffre pourrait même atteindre 10^{500} . Le paysage des univers possibles est donc incroyablement vaste et la détermination de cet étant qu'est l'Univers particulièrement faible : « Les quantités fondamentales et même la forme des lois apparentes de la nature ne s'avèrent déterminées ni par la logique ni par un principe physique. Les paramètres sont ainsi libres d'adopter toutes sortes de valeurs et les lois de prendre toute forme qui mène à une théorie mathématique cohérente » (voir [Hawking-Mlodinow 14], 177). Dans cette immensité des univers possibles, ceux susceptibles de donner lieu à la constitution de structures stables puis d'organismes vivants et pensants sont particulièrement rares. Il faut qu'un certain nombre de constantes soient particulièrement bien ajustées.

On a ainsi répondu à la question de savoir *comment* l'Univers se comporte. Mais il demeure les questions en pourquoi : pourquoi y a-t-il quelque chose plutôt que rien ? Pourquoi existons-nous ? Pourquoi cet ensemble particulier de lois de nature et pas un autre ? Est-ce là le signe d'un « grand dessein » ? Faire intervenir un Dieu à l'origine de la judicieuse sélection de constantes qui caractérise notre Univers ne ferait que repousser le problème puisqu'il faudrait ensuite expliquer qui a créé le créateur. « Nous affirmons, écrivent les auteurs, qu'il est possible de répondre à ces questions tout en restant dans le domaine de la science et sans recourir à aucun être divin » (voir [Hawking-Mlodinow 14]). L'Univers que nous connaissons est un peu à l'image de ce jeu informatique inventé par John Conway et qui s'appelle le « jeu de la vie », dans lequel un ensemble de lois très simples peut faire émerger des propriétés complexes. Dans notre Univers, les analogues des objets du « jeu de la vie » sont des corps matériels isolés soumis à des ensembles de lois supposant chaque fois un principe d'invariance, la conservation d'une certaine énergie qui doit demeurer constante au cours du temps.

Les choses pourraient donc fonctionner ainsi : fixons à zéro l'énergie du vide. Tout corps existant a une énergie positive, celle dépensée pour le créer. Si cette énergie était négative, en effet, on pourrait créer ce corps dans un état cinématique de façon à

ce que son énergie négative soit compensée par l'énergie positive due à sa vitesse. En ce cas, rien n'empêcherait des corps d'apparaître n'importe où dans l'espace, le vide devenant par conséquent instable. Comme l'énergie des corps est positive, une telle instabilité ne peut se produire, l'énergie de l'Univers devant demeurer constante. Si l'énergie totale de l'univers doit toujours être nulle et que la création d'un corps coûte de l'énergie, comment un univers entier a-t-il pu être créé à partir de rien ? L'idée des auteurs est que la gravitation joue ici un rôle crucial. La gravitation étant une force attractive, l'énergie gravitationnelle est négative. Elle contrebalance l'énergie positive nécessaire à la création de matière, mais pas totalement. Ainsi l'énergie gravitationnelle d'une étoile est négative, et, plus l'étoile est ramassée, plus cette énergie est négative. Mais, avant que cette dernière puisse dépasser l'énergie positive de la matière qui la compose, elle doit s'effondrer sur elle-même, donnant un trou noir dont l'énergie est à nouveau positive. Il en résulte que l'espace vide est stable, étoiles et trous noirs ne pouvant surgir de nulle part. En revanche, un univers entier le peut : à l'échelle de l'univers, l'énergie positive de la matière peut être compensée par l'énergie gravitationnelle, ce qui ôte toute restriction à la création d'univers entiers. Grâce à la loi de la gravitation, l'Univers peut donc se créer spontanément à partir de rien. Ainsi, « la création spontanée est la raison pour laquelle il existe quelque chose plutôt que rien, pourquoi l'Univers existe, pourquoi nous existons. Il n'est nul besoin d'évoquer Dieu pour qu'il allume la mèche et fasse naître l'Univers » (voir [Hawking-Mlodinow 14], 219).

3.6 Cosmologie et théologie

Hawking semble avoir réalisé ce que personne ne pensait réalisable : une création *ex nihilo* sans Dieu, que même Hubert Reeves, il y a peu, jugeait encore impossible. Parlant des modèles de multivers, l'auteur écrivait : « Ces scénarios expliquent-ils la création ? Au sens strict du terme, la création est le passage de « rien » à « quelque chose ». Ici, on ne part pas de rien... "Au commencement étaient les lois de la physique", disent implicitement les auteurs. La physique relie toujours quelque chose à autre chose. Pourquoi « ceci » : Parce que « cela ». Expliquer la création serait relier « quelque chose » à « rien », *vraiment* « rien ». Un tel exploit paraît hors des possibilités de la démarche scientifique... » (voir [Reeves 95], 221).

Avec la solution de Hawking nombre d'objections métaphysiques ou théologiques semblent donc tomber. Puisqu'on passe de « rien » à « quelque chose », il semble bien qu'il s'agisse d'une apparition d'être. Et l'objection selon laquelle la cosmologie n'explique pas la création mais seulement la naissance d'un monde qui n'est qu'une partie de l'être, voire d'un univers seulement « observable » ne tient plus. Du reste,

il ne s'agit pas d'un (unique) univers, mais d'une foule. La création qu'on croyait unique et mystérieuse devient ce qu'il y a de plus banal puisque le rien – l'énergie zéro – ne peut s'empêcher de produire ces milliards de milliards d'univers-bulles à l'infini...

Il demeure que cette cosmologie de Hawking, comme d'ailleurs toutes les autres cosmologies à multivers, reste largement spéculative. De nombreux aspects de l'univers nous échappent encore et, pour certains, nous échapperont toujours. Au-delà de l'horizon de lumière, moment où l'univers devenu visible nous a laissé une trace avec le fond diffus cosmologique à $2,7^\circ$ K, on peut encore remonter spéculativement jusqu'à l'ère de Planck (10^{-43} seconde), qui est une sorte d'horizon absolu difficile à franchir. Mais, de toute manière, nous ne savons pas non plus ce que sont devenues les galaxies que nous voyons aujourd'hui telles qu'elles étaient il y a des milliards d'années : l'horizon cosmologique nous l'interdit définitivement, et ce, quel que soit le modèle cosmologique que l'on choisisse.

Si l'on en excepte la tentative – contestée – de Hawking, la quasi totalité de la cosmologie scientifique ne se juge pas en mesure de se substituer entièrement aux discours philosophiques ou religieux sur l'origine du monde, et envisager un univers éternel ou cyclique ne change pas grand-chose. Du reste, d'après les textes mêmes de Thomas d'Aquin, un univers infini et éternel reste en principe compatible avec une « création », même si cette idée contrevient néanmoins à la doctrine judéo-chrétienne selon laquelle le monde a un commencement dans l'espace et de dans le temps .

En revanche, il nous semble plus contestable de faire une distinction entre « monde » et « univers », et continuer de parler d'une « création du monde » qu'on distinguerait d'une « origine de l'univers » ne tient pas. Au moins en français, les mots « monde » et « univers » sont pratiquement des doublets : tous deux ont à la fois des sens cosmologiques, historico-géographiques, sociologiques et même psychologiques et esthétiques¹⁴. Certes, la cosmologie scientifique se limite à la physique, mais l'univers physique est la base de tous les autres. De quelle étoffe serait faite, d'ailleurs, un monde qui ne serait pas, au départ, physique ? Quant à l'idée de Tresmontant que

14. On peut à peine suggérer que le mot « univers » – ce pourrait être sa spécificité – ait des connotations plus scientifiques, du fait de son usage dans des expressions telles que : univers mathématique, univers du discours (linguistique, logique), univers au sens de « groupe d'éléments dont on tire un échantillon » (statistique), enfin, ensemble que l'on peut munir d'une loi de probabilité (mathématiques). Dans le même ordre d'idée, on pourrait aussi remarquer que l'opposition monde/univers a été utilisée pour distinguer la représentation de l'espace associée à l'Antiquité de la représentation moderne de l'espace issue Renaissance et de l'Âge classique (voir [Koyré 62] et [Koyré 71]). Mais c'est tout ce qu'on peut dire sur cette différence entre « monde » et « univers ».

l'univers ne serait qu'un être parmi d'autres, la théorie des multivers y répond. C'est précisément là l'Être au-delà de l'être, et il n'est nul besoin d'un Deus ex machina pour en expliquer la présence.

3.7 La soi-disant «*creatio ex nihilo* »

Les cosmologistes modernes, de Friedmann à Hawking, se sont donnés beaucoup de mal pour comprendre comment l'Univers avait pu naître à partir de rien. Or il se peut que cette démarche, en fait, soit sans objet, mais non pour les raisons invoquées par Stoffel. Une étude attentive des textes bibliques montre que l'idée d'une création à partir de rien, ancrée dans les esprits influencés par la culture chrétienne, n'est en rien une idée du judaïsme¹⁵. Deux textes seulement sont à l'origine de cette légende dans la Bible, dont la traduction qui en est couramment donnée est parfaitement discutable.

Le premier de ces textes appartient à l'Ancien Testament, au deuxième livre des Maccabées (7, 28). Rappelons au passage que les deux livres des Maccabées, retenus par la Bible de Jérusalem, sont écrits en grec et ne font pas partie de la Bible hébraïque. Le texte en question, où l'auteur exhorte son fils à bien prendre la mesure du monde, est traduit ainsi :

« Je t'en conjure, mon enfant, regarde le ciel et la terre et vois tout ce qui est en eux, et sache que Dieu les a faits de rien, et que la race des hommes est faite de la même manière ».

En réalité, le grec dit : « Je t'en conjure, fils, concernant les choses aperçues au ciel et sur la terre, et toutes les choses vues en eux, pense que le dieu (o theos) ne les a pas faites à partir des étants (ouk ex tôn ontôn epoièsen) et que le genre humain est né (ginetai) ainsi. » (voir le grec dans [Theotex-Lecture]).

La même tournure négative se rencontre dans le second texte invoqué pour justifier l'idée d'une « *creatio ex nihilo* ». Il s'agit d'un passage de Paul de Tarse tiré de l'épître aux Romains (4, 17), où il est question d'Abraham et de sa foi inébranlable en Dieu, c'est-à-dire, comme le traduit abusivement la Bible de Jerusalem,

«Celui auquel il a cru, le Dieu qui donne la vie aux morts et appelle le néant à l'existence ».

Là encore, le grec ne dit pas exactement «appelle le néant à l'existence » mais :

15. Il est notoire que l'Ancien Testament ne connaît pas la création à partir de rien (voir [Scholem 56]).

« appelant (kalountos) ceux qui ne sont pas comme ceux qui sont (ta mè onta ôs onta) ». La traduction « appeler à l'existence » pour le verbe grec *kaleô* est une pure invention, *kaléô* signifiant simplement « appeler » d'où « appeler à soi », « convier » ou « inviter », mais certainement pas « appeler à l'être », même si, dans le contexte, il est question des « non-étants » (la Bible anglaise, du reste, traduit *kaléô* par *call*).

Le commentaire des spécialistes de la question vient conforter notre thèse. Ce qui n'est pas ou pas encore est identifié par la pensée juive à un chaos ou à une matière informe, et c'est encore le cas dans le judaïsme grec, comme, par exemple, dans le Livre de la Sagesse (Sg 11, 17) ou chez Philon d'Alexandrie (voir [May 94], 10-11). La doctrine de la « creatio ex nihilo » est connue désormais comme un dogme tardif, qui n'apparaît qu'au II^e de notre ère, chez Théophile et Irénée, dans le contexte de la doctrine gnostique et de l'influence de la philosophie grecque, quand il s'agit de défendre l'idée d'une absolue transcendance de Dieu face à des attaques et hérésies diverses (voir aussi [Fantino 96], 9). Le débat se terminera par la théologie anti-gnostique de la seconde moitié du II^e siècle et du début du III^e siècle, moment où la « creatio ex nihilo » devient officiellement une doctrine fondamentale de la théologie chrétienne.

C'est cette dernière qu'on retrouve à l'œuvre chez Augustin d'Hippone dans nombre de ses œuvres¹⁶, et notamment dès le *Soliloquia* (I, 1, 2)(voir [Pricopi 18]). Par la suite, la réflexion de Thomas d'Aquin développera la question en rapport avec celle du temps et de l'éternité. « Tout ce qui est créé est fait à partir de rien, écrit Thomas. Mais tout ce qui est fait à partir de rien est un étant après avoir été un rien, puisqu'il n'est pas simultanément étant et non-étant »(voir [Thomas d'Aquin 20], 95-96). Et quoique Thomas d'Aquin ait jugé possible, à la fois logiquement et réellement, la création par Dieu d'un monde sans commencement (voir [Celier 20], 318), l'idée que quelque chose puisse exister en dehors de Dieu «comme s'il pouvait y avoir quelque chose qui cependant ne serait pas fait par lui » serait, selon le philosophe, une « erreur abominable » (voir [Thomas d'Aquin 20], 235). Ce qu'on désigne parfois comme un « agnosticisme » de Thomas d'Aquin est donc tout à fait partiel, même s'il est vrai que Thomas a admis que « le fait que le monde n'a pas toujours été est tenu seulement par la foi, et ne peut être prouvé démonstrativement »(voir [Thomas d'Aquin 20],

16. Les analyses d'Augustin les plus significatives concernant la cosmologie se trouvent dans ses commentaires sur la Genèse (*De Genesi contra Manichaeos*; *De Genesi ad Litteram imperfectus liber*; *De Genesi ad Litteram-Libri Duodecim*). Mais, des remarques et investigations diverses se trouvent encore dans les trois derniers livres des *Confessiones*, ainsi que dans le *De Civitate Dei*, notamment dans les livres 11 et 12.

196). Comme on le sait, cette dernière thèse, d'inspiration maïmonidienne et que Thomas soutient contre Bonaventure, a eu finalement gain de cause – la grande controverse du XIII^e siècle sur l'éternité du monde se soldant par sa victoire, qui n'est pas solitaire. De Gand et d'Ockham, rejoignant Boèce et Peckham, se rattacheront à lui en défendant la possibilité de la création d'un monde éternel (même si la foi assure du contraire)(voir, sur toute cette querelle, [Michon 04]).

Au vu de cette histoire, pourtant, rien n'oblige la cosmologie scientifique à se positionner en relation à cette idée de création à partir de rien, moins encore à chercher des échappatoires compliquées pour contourner ce qui n'est, en réalité, qu'une invention des Pères de l'Eglise¹⁷.

3.8 La soi-disant « harmonie » du monde

« Deux choses remplissent le cœur (Gemüth) d'une admiration et d'une vénération toujours nouvelles et toujours croissantes, à mesure que la réflexion s'y attache et s'y implique, écrivait Kant à la fin de la *Critique de la Raison pratique* : le ciel étoilé au-dessus de moi et la loi morale en moi » (voir [Kant 16], 172). Kant, en son temps, ne pouvait probablement distinguer au plus qu'environ 3000 étoiles¹⁸ dont il ne connaissait peut-être que quelques dizaines. Ce n'est évidemment qu'une fraction infime des quelques 200 milliards d'étoiles que contient la Voie lactée. Et ne parlons pas des 10²³ étoiles qui sont censées peupler l'Univers.

En conséquence, la découverte des autres galaxies (dont Kant, d'ailleurs, avait anticipé l'existence) et de l'immensité réelle de notre Univers ne pouvait évidemment que renforcer ce sentiment d'admiration et de vénération que le philosophe allemand exprimait d'une manière si touchante et presque si romantique.

De Johannes Kepler à Michio Kaku, en passant par Einstein, Millikan, Hoffmann, Davies, Dyson et beaucoup d'autres, on ne compte plus les physiciens qui ont cru en

17. Cyrille Michon, du reste, suggère, via le début de l'évangile de Jean, une autre interprétation de l'hébreu « berechit » (En tête). « Le *principium* pourrait ne pas être compris au sens de commencement *chronologique*, mais au sens de principe *ontologique*, et ce principe serait le Verbe de Dieu : c'est dans ce principe, dans le Verbe, que tout a été fait.» (voir [Michon 04], 18). Mais comme le reconnaît l'auteur, cette exégèse ancienne n'avait pas réussi à éliminer le sens chronologique au XIII^e siècle, et on peut douter qu'elle en ait davantage le pouvoir aujourd'hui.

18. Le nombre d'étoiles accessibles à l'œil nu dans l'hémisphère nord tourne est, en théorie, de l'ordre de 5000, mais sous des conditions optimales. De plus, la puissance de l'œil varie selon les individus. En tout état de cause, il n'est pas capable de distinguer un flux de moins de 50 photons par seconde, ce qui correspond approximativement au flux reçu au fond de l'œil par une étoile de magnitude 6. Mais – d'expérience – distinguer des étoiles de magnitude 7,5 est déjà difficile !

un ordre divin ou, à tout le moins, une harmonie générale du cosmos. Trinh Xuan Thuan semble exprimer l'opinion commune de ce courant en estimant que, face au réglage précis que semble supposer notre univers, « il faut postuler l'existence d'un Principe Créateur qui est à l'origine de ce réglage. » (voir [Trinh Xuan Thuan 01], 81). Ailleurs, il confiera de façon plus précise le fond de sa pensée : « Je rejette l'hypothèse du hasard, car, en dehors même du non-sens et de la désespérance qu'il entraîne, je ne puis concevoir que l'harmonie, la symétrie, l'unité et la beauté que nous percevons dans le monde, des délicats contours d'une fleur à l'architecture majestueuse des galaxies, mais aussi (...) dans les lois de la Nature, soient le seul fait du hasard. Si nous acceptons l'hypothèse d'un seul univers, le nôtre, nous devons postuler l'existence d'une Cause Première qui a réglé d'emblée les lois physiques et les conditions initiales pour que l'Univers prenne conscience de lui-même. » (voir [Trinh Xuan Thuan 01], 445-446).

Toutefois ce finalisme qui prend ici la forme du Principe Anthropique fort ¹⁹ encourt bien des critiques : Spinoza, jadis, nous incitait à nous méfier de ce genre de fantasme : « l'extravagance des hommes a été jusqu'à croire que Dieu aussi se plaît à l'harmonie. Il ne manque pas de Philosophes qui se sont persuadé que les mouvements célestes composent une harmonie » (voir [Spinoza 65], 66). Il concluait : « Nous voyons que toutes les notions par lesquelles le vulgaire a coutume d'expliquer la Nature sont seulement des Modes d'imaginer et ne renseignent sur la nature d'aucune chose, mais seulement sur la façon dont est constituée l'imagination (...) » (voir [Spinoza 65], 67). Aussi bien l'ordre et la beauté sont-ils moins dans la nature que dans notre esprit, satisfait s'il peut facilement se représenter les choses et les mémoriser (ordre) ou s'il peut rapporter les mouvements qu'il reçoit des nerfs, plutôt à la santé qu'à la maladie (beauté). Mais d'autres notions telles que Bien, Mal, Chaud, Froid, Louange, Blâme, Pêché ou Mérite sont susceptibles des mêmes analyses.

Concernant la Nature, on remarquera du reste que les biologistes sont souvent moins aveugles que les physiciens. Dans un livre où il combat quelques idées reçues, Marc-André Sélosse, professeur au Museum d'Histoire naturelle de Paris, montre que la Nature, vue de près, n'est pas si harmonieuse que cela. Dans le monde vivant, en tout cas, chaque individu tend surtout à poursuivre ses propres buts sans se soucier

19. Rappelons que le principe anthropique proposé par l'astrophysicien Brandon Carter en 1974 (voir [Carter 74]), est un principe épistémologique se déclinant en deux versions principales. Le principe anthropique faible assure que ce que nous pouvons nous attendre à observer doit être compatible avec les conditions nécessaires à notre présence en tant qu'observateurs (sinon nous ne serions pas là pour l'observer). Le principe anthropique fort postule que les paramètres fondamentaux dont l'Univers dépend sont réglés une fois pour toutes pour que celui-ci permette la naissance et le développement d'observateurs en son sein à un certain stade de son développement.

du reste, jusqu'à ce que la mort, finalement, l'atteigne. L'évolution naturelle, par sa sélection des plus adaptés, donne sans doute l'illusion d'un immense réglage, mais celui-ci, en réalité, n'est qu'approximatif et plein d'exceptions. Ainsi, les travaux sur la symbiose même si on comprend progressivement que celle-ci ne se réduit ni au parasitisme, ni au mutualisme, ne donnent pas d'indications bien fermes ni de résultats non équivoques²⁰. Comme le note Selosse, dans le sillage de Dawkins, on s'imagine que les insectes et les fleurs ont passé une espèce de contrat d'entraide : transport du pollen contre nectar. « Ainsi, un système de pédale poudre de pollen les insectes visitant les jeunes fleurs de sauge, tandis qu'ensuite les fleurs plus âgées raclent ce pollen à l'endroit précis palpé par les étamines. » Mais ce schéma admet bien des exceptions. Le moro-sphinx, un papillon aux ailes courtes capable de vol stationnaire absorbe directement le nectar au moyen d'une longue pompe qui le dispense de prélever du pollen. Le bourdon, quant à lui, perce de ses mandibules le tube de la corolle florale et, lui aussi, prélève du nectar sans prendre ou déposer de pollen, d'autres insectes pouvant alors entrer par l'orifice ainsi pratiqué. Côté fleur, l'orchidée attire bien les insectes par son odeur, mais c'est en vain que ceux-ci iraient la butiner : elle n'a pas de nectar. D'un côté, l'instinct de l'insecte le conduit à s'alimenter sans souci des conséquences pour la plante (au besoin, il la déchiquètera), et, de l'autre, certaines plantes ne se soucient en aucune manière des insectes (qu'elles stimulent abusivement). En conséquence, il n'est que trop vrai que « la nature n'est pas faite par ni pour qui que ce soit. Elle est juste, logiquement, peuplée de ce qui survit et se reproduit, quel qu'en soit le prix » (voir [Selosse 24] chap. 1). La nature, supposée harmonieuse, est surtout en fait dispendieuse, et l'adaptation sur laquelle tout le monde s'extasie s'est réalisée au prix d'un gigantesque charnier.

Au plan cosmologique, d'aucuns pensent qu'il en va de même, bien que, à ce niveau-là, nous ne puissions percevoir les déchets du gaspillage. Mais, pour les théoriciens des multivers, l'Univers qui est le nôtre et qui a réussi à entrer en expansion et à produire des structures à peu près stables pendant une certaine durée, n'est que l'un des innombrables univers possibles, dont certains n'ont existé que quelques instants et d'autres sont restés désespérément vides. Les constantes cosmiques nous paraissent ajustées car nous sommes précisément dans l'univers qui a permis le développement

20. Olivier Perru note que, dès les premières recherches, dans les années 1880, des auteurs montrent qu'« on ne peut pas définir la symbiose par le bénéfice mutuel. À l'intérieur d'une symbiose, peuvent se manifester certains bénéfices unidirectionnels qui tendent à rappeler le parasitisme, même s'il existe des interrelations évidentes » (voir [Perru 06], 27). Il faut attendre les années 1960 pour des études cytologiques et génétiques sérieuses, et les années 1970 pour voir apparaître une théorie symbiotique de la cellule et de son évolution (voir [Perru 03]). Mais la descente dans le gène semble montrer que la nature ne fonctionne pas sous le régime de l'altruisme (voir [Dawkins 03]).

menant jusqu'à l'homme, mais nous ne voyons pas tous les autres – les avortons ratés (de notre point de vue anthropomorphe), mais qui pourraient bien exister en parallèle, si l'on en croit la cosmologie quantique.

3.9 Conclusion

La cosmologie scientifique, au fil de son développement, en est venue progressivement à aborder des questions métaphysiques qui relevaient autrefois de la philosophie ou de la théologie. Les modèles susceptibles d'expliquer scientifiquement l'Univers pris comme un tout sont, certes, nombreux, et certains de leurs scénarios sont contradictoires. C'est que les calculs mènent à différentes issues possibles en fonction de constantes dont la valeur ne peut être fixée que par l'observation – une observation encore insuffisante, mais qui s'affine et progresse au fil du temps et des développements technologiques (télescopes optiques à l'ouverture de plus en plus grande, radiotélescopes, télescopes spatiaux, etc.).

Chaque fois la moisson d'informations nouvelles permet d'obtenir des renseignements fondamentaux sur le passé de l'Univers ou, en tout cas, sur sa partie observable. Bien que l'horizon cosmologique, l'horizon de lumière et l'horizon de Planck constituent des limites à notre investigation, une étude fine du fond diffus à 2,7° K permettra peut-être d'en apprendre davantage et de découvrir des traces du « Big Bang » ou de ce qui l'a précédé.

Dans tous les cas, la cosmologie scientifique – sans exciper complètement de la philosophie ou même des mythologies d'autrefois – reste une science dont les théories, dûment mathématisées, ne peuvent être prises au sérieux que si elles sont étayées par de solides observations.

Mais pour l'instant – et même aux yeux des croyants qui, de fait, n'en savent pas plus que les autres – le « sens » de toute cette construction (pour autant que la question du sens ait elle-même un sens) – continue de nous échapper, ce qui est peut-être une bonne nouvelle.

Dans son roman de science-fiction intitulé *The black cloud* (Le nuage noir), Fred Hoyle suggèrait avec humour que la réponse à la question métaphysique par excellence, celle que se pose l'humanité concernant l'existence d'une intelligence d'une autre échelle que la sienne, trouvait sa réponse dans la simple existence d'un nuage de gaz interstellaire, ce qui ne saurait entièrement surprendre aujourd'hui car, après tout, l'implémentation de l'intelligence sur d'autres structures que les structures carbonées pourrait bien s'avérer possible, au moins aux yeux des partisans d'une conception

« fonctionnaliste » de l'esprit.

Mais, vers la fin du livre, le nuage intelligent révèle qu'il réfléchit lui-même à l'existence d'intelligences supérieures à la sienne. À sa connaissance, il n'y en a pas dans la galaxie ni dans les autres galaxies dont il a eu à connaître. Mais il admet qu'une telle intelligence pourrait jouer un rôle primordial dans l'explication de ce qui est : sinon, comment comprendre le comportement de la matière et la nature des lois physiques (pourquoi celles-là, plutôt que d'autres ?).

Aux dires mêmes du nuage, ces problèmes sont difficiles à résoudre, mais il existe une preuve que leur solution est possible. Et de raconter trois événements troublants : deux mille millions d'années auparavant, un des congénères du nuage a assuré avoir découvert une réponse à la grande question métaphysique. Mais la transmission du message qu'il a alors envoyé aux autres s'est brutalement interrompue, et personne n'a pu la rétablir. Par la suite, nulle trace physique de l'individu émetteur n'a été trouvée. Toujours selon le nuage, le même événement se serait reproduit il y a 400 millions d'années : un message triomphant, puis... plus rien, et aucune trace non plus de celui qui l'a émis. Mais voilà que le nuage a décidé de quitter l'environnement solaire où il se recharge au voisinage de la Terre car, à deux années-lumière de là, un troisième événement, de même nature que les précédents, vient d'arriver. Le nuage veut donc se déplacer sur zone, notamment dans le but de résoudre une vieille controverse entre ses congénères : « Il a été avancé, de manière peu plausible à mon avis, que ces phénomènes singuliers résultent d'un état neurologique anormal suivi d'un suicide. Il n'est pas rare qu'un suicide prenne la forme d'une vaste explosion nucléaire provoquant une désintégration totale de l'individu. Si cela s'est produit, alors l'incapacité à découvrir des traces matérielles des individus impliqués dans ces cas étranges pourrait s'expliquer. Dans le cas présent, il devrait m'être possible de mettre cette théorie à l'épreuve de manière décisive, car l'incident, quel qu'il soit, est arrivé si près que je pourrai atteindre les lieux dans deux ou trois cents ans seulement. C'est un laps de temps si court que les débris de l'explosion, s'il y a eu explosion, ne devraient pas s'être entièrement dispersés d'ici là » (voir [Hoyle 57], chap. 12).

En transposant la grande question métaphysique au niveau des « nuages », Hoyle suggère ainsi avec humour que la solution qu'on croit lui avoir trouvée pourrait bien correspondre à un dérèglement mental, et qu'un tel dérèglement conduit inmanquablement au suicide par explosion nucléaire. Visiblement, l'astrophysicien anglais veut qu'on comprenne que c'est aussi ce qui guette l'humanité. Les hommes qui croient follement avoir résolu la grande question métaphysique sont également au bord de la guerre nucléaire. Autant dire que, dans le contexte, il vaudrait mieux laisser la grande question métaphysique ouverte et éviter de s'étriper sur Dieu, Allah ou toute

autre entité imaginaire, les croyances imbéciles qui vont avec empoisonnant la vie des hommes.

Références

- [Adams-Laughlin 20] Adams, F., Laughlin, G., *The Five Ages of the Universe : Inside the Physics of Eternity*, Free Press, New York, 2000.
- [An et al. 22] An, D., Meissner, K. A., Nurowski, P. and Penrose, R., " Apparent evidence for Hawking points in the CMB *ArXiv* :1808.01740v5 [astro-ph.CO] 9 Août 2022.
- [Bachelard 72] Bachelard, G., "Univers et réalité", *L'engagement rationaliste*, 103-108, P.U.F., Paris, 1972.
- [Bañados et al. 18] Bañados, E., Venemans, B., Mazzucchelli, C. et al., "An 800-million-solar-mass black hole in a significantly neutral Universe at a redshift of 7.5", *Nature* 553, 473–476 (2018).
- [Barrau et al. 10] Barrau, A. (et al.), *Multivers. Les mondes multiples de l'astrophysique, de la philosophie et de l'imaginaire*, Paris, La Ville brûle, 2010.
- [Barrau-Parrochia 10] Barrau, A., Parrochia, D. (ed.), *Forme et origine de l'Univers, regards philosophiques sur la cosmologie*, Dunod, Paris, 2010.
- [Bekenstein 73] Bekenstein, J. D., "Black Holes and Entropy", *Phys. Rev.*, D 7, 2333-2346, 1973.
- [Caplan 20] Caplan, M. E., "Black Dwarf Supernova in the Far Future", *arXiv* : 2008.02296 [astro-ph.HE], 2020.
- [Carter 74] Carter, B., "Large number coincidences and the anthropic principle in cosmology", in M. Longair (ed.), *Confrontation of cosmological theories with observational data*, 291-298. D. Reidel, Dordrecht, 1974.
- [Celier 20] Celier, G., *Saint Thomas d'Aquin et la possibilité d'un monde créé sans commencement*, Via Romana, Versailles, 2020.
- [Dawkins 03] Dawkins, R., *Le Gène égiste*, Odile Jacob, Paris, 2003.
- [Deutsch 03] Deutsch, D., *L'étoffe de la réalité* (1997), Paris, Cassini, 2003.
- [d'Inverno-Vickers 22] d'Inverno, R., Vickers, J. *Introducing Einstein's relativity : a deeper* , Oxford, Oxford University Press, 1992, rééd. 2022
- [Eddington 34] Eddington, A., *L'univers en expansion*, tr. fr. Hermann et Cie éditeurs, Paris, 1934.

- [Dyson 79] , Dyson, F., «Time without end : Physics and biology in an open universe», *Reviews of Modern Physics*, Vol. 51, No. 3, 447-460,1979.
- [Egan et al. 10] Egan, C.A., Lineweaver, H., "A larger Estimate of the Entropy of the Universe", *Astrophysical Journal*, 710, 1825-1834, 2010.
- [Fantino 96] « L'origine de la doctrine de la création ex nihilo. À propos de l'ouvrage de G. May", *Revue des sciences philosophiques et theologiques*, 80, 589-602, 1996.
- [Friedman-Lemaître 97] Friedman, A., Lemaître, G., *Essais de cosmologie*, précédé par "L'invention du Big Bang" par Jean-Pierre Luminet", Seuil, Paris, 1997.
- [Gasperini-Veneziano 03] Gasperini, M. ; Veneziano, G., "The pre-big bang scenario in string cosmology", *Physics Reports*, Volume 373, Issue 1-2, p. 1-212.
- [Gasperini-Veneziano 03] Gasperini, M. ; Veneziano, G., "Non-singular pre-big bang scenarios from all-order α' corrections, *arXiv* : 2305.00222v3 [hep-th] 19 Jul 2023.
- [Gupta 23] Gupta, R. P., "JWST early Universe observations and Λ CDM cosmology", *Monthly Notices of the Royal Academic Society (MNRAS)* 524, 3385-3395, 2023.
- [Gurzadyan-Penrose 10] Gurzadyan, V. G., Penrose R., "Concentric circles in WMAP data may provide evidence of violent pre-Big-Bang", *ArXiv*, Novembre 2010.
- [Gurzadyan-Penrose 15] Gurzadyan, V. G., Penrose R., "CCC and the Fermi paradox", *arXiv* :1512.00554v2 [astro-ph.CO], 14 Déc 2015.
- [Hartle-Hawking 83] Hartle J., et Hawking, S., "Wave function of the Universe", *Physical Review D*, vol. 28, No 12, 2960, 1983.
- [Hawking et al. 00] Hawking, S., Hertog, T. et Reall, H., "Brane new world", *Physical Review D*, vol. 62, No 4, 043501, 2000, arXiv hep-th/0003052.
- [Hawking 74] Hawking, S., "Black holes aren't black", Wellesley, Gravity Research Foundation, 1974.
- [Hawking 89] Hawking, S., *Une brève histoire du temps*, tr. fr. Flammarion, Paris, 1989, rééd. 2020 et 2022.
- [Hawking 92] Hawking, S., *Commencement du temps et fin de la physique ?*, tr. fr. Flammarion, Paris, 1992.
- [Hawking 94] Hawking, S., *Trous noirs et bébés univers*, tr. fr. Flammarion, Paris, 1994.
- [Hawking 01] Hawking, S., *L'univers dans une coquille de noix*, tr. fr. Odile Jacob, Paris 2001.

- [Hawking-Penrose 03] Hawking, S., Penrose, R., *La nature de l'espace et du temps*, tr. fr. Gallimard, Paris, 1997, folio, 2003.
- [Hawking-Mlodinow 14] Hawking, S., Mlodinow, L., *Y a-t-il un grand architecte dans l'Univers ?*, tr. fr. Odile Jacob, Paris, 2011, Poche, 2014.
- [Hoyle 57] Hoyle, F., *The Black Cloud*, Heinemann, Londres, 1957.
- [Kant 68] Kant, E., *Critique de la Raison pure*, tr. fr. P.U.F, Paris, 1968.
- [Kant 16] Kant, E., *Critique de la Raison pratique*, tr. fr. P.U.F., Paris, 2016.
- [Koyré 62] Koyré, A., *Du monde clos à l'univers infini*, Gallimard, Paris, 1962.
- [Koyré 71] Koyré, A., "Du monde de l'à-peu-près à l'univers de la précision", *Études d'histoire de la pensée philosophique*, 341-362, Gallimard, Paris, 1971.
- [Labbé et al. 23] Labbé, I., van Dokkum, P., Nelson, E. et al., "A population of red candidate massive galaxies ~ 600 Myr after the Big Bang", *Nature* 616, 266-269 (2023).
- [Lachièze-Rey 96] Lachièze-Rey, M., *initiation à la cosmologie*, Masson, 2^e ed., Paris, 1996.
- [Larson et al. 23] Larson R. L. (et al.) , "A CEERS Discovery of an Accreting Supermassive Black Hole 570 Myr after the Big Bang : Identifying a Progenitor of Massive $z > 6$ Quasars", *The Astrophysical Journal Letters*, Volume 953, Issue 2, id.L29, 1-26, 2023.
- [Linde 90] Linde, A. D., « Inflation and Quantum Cosmology », Academic Press Inc., San Diego, 1990.
- [Lopez et al. 22] Lopez, A. M., Clowes , R. G., et Willinger, G. M., "A Giant Arc in the Sky", *arXiv :2201.06875v2 [astro-ph.CO]*, 2 August 2022.
- [Lopez et al. 24] Lopez, A. M., Clowes , R. G., et Willinger, G. M., "A Big Ring on the Sky", *arXiv : 2402.07591 [astro-ph.CO]*, 12 February 2024.
- [Luminet et al. 03] Luminet, J.-P., Weeks, Riazuelo, A., Lehoucq, R., et Uzan, J.-P., "Dodecahedral space topology as an explanation for weak wide-angle temperature correlations in the cosmic microwave background", *Nature*, vol. 425, 593-595, 9 octobre 2003.
- [Marion 82] Marion, J.-L., *Dieu sans l'être*, Communio/Fayard, Paris, 1982.
- [May 94] G. May, *Creation ex nihilo. The Doctrine of "Creation out of Nothing" in Early Christian Thought*, T & T Clark Ltd, Edimbourg, 1994.
- [Merleau-Ponty 65] Merleau-Ponty, J., *Cosmologie du XX^e siècle, étude épistémologique et historique des théories de la cosmologie contemporaine*, Paris, Gallimard, 1965.

- [Michon 04] Michon, C., *Thomas d'Aquin et la controverse sur l'éternité du monde*, Garnier-Flammarion, Paris, 2004.
- [Mugler 53] Mugler, C., *Deux thèmes de la cosmologie grecque - Devenir cyclique et pluralité des mondes*, Klincksieck, Paris, 1953.
- [Nesle-Aland 69] Nestle, E., Aland, K., *Novum Testamentum Graece et Latine*, United Bible Society, London, 1963/1969.
- [Neves 17] Neves, J. C. S., "Bouncing cosmology inspired by regular black holes", *Gen. Relativ. Gravit.* 49, 124, 2017.
- [Novello et al. 08] Novello, M., Perez Bergliaffa, S. E., "Bouncing cosmologies", *Phys. Rept.* 463, 127, 2008.
- [Parrochia 19] Parrochia, D., "Some remarks on history and pre-history of Feynman path integral", *arXiv :1907.11168v1 [physics.hist-ph]*, 20 juin 2019.
- [Parrochia 21] Parrochia, D., *Antidote ; contre le climato-dogmatisme et les discours apocalyptiques*, Le Corridor Bleu, 2021.
- [Penrose 06] Penrose, R., "Before the Big Bang : an outrageous new perspective and its implications for particle physics", *Proceedings of EPAC 2006*, 2759-2762, Edinburgh, Scotland, 2006.
- [Penrose 13] Penrose, R., *Les Cycles du temps : une nouvelle vision de l'Univers*, tr. fr. Odile Jacob, Paris, 2013.
- [Perru 03] Perru, O., *De la société à la symbiose, une histoire des découvertes sur les associations chez les êtres vivants, volume 1 : 1860-1930*, Vrin/IEEE Lyon, Paris, 2003.
- [Perru 06] Perru, O., « Aux origines des recherches sur la symbiose vers 1868-1883 », *Revue d'histoire des sciences*, Tome 59, 5-27, 1, 2006.
- [Peter-Uzan 05] Peter, P., Uzan, J.-Ph., *Cosmologie primordiale*, Belin, Paris, 2005.
- [Pie XII 51] Pie XII, *Discours à l'Académie Pontificale des Sciences, le 22 novembre 1951*, La Documentation catholique, 33e année, n° 48, 16 décembre 1951.
- [Pricopi 18] Pricopi, V. A., "Augustine of Hippo on creatio ex nihilo", *AGATHOS*, Volume 9, Issue 1, 16, 35-44, 2018.
- [Redford 11] Redford, *The Physics of God and the Quantum Gravity Theory of Everything*, Social Science Research Network, 2011.
- [Reeves 95] Reeves, H., *La première seconde - Dernières nouvelles du cosmos, 2*, Seuil, Paris, 1995.
- [Robredo 06] Robredo, J.-F., *Du cosmos au big bang - La révolution philosophique*, P.U.F., Paris, 2006.

- [Scholem 56] Scholem, G., "Schöpfung aus nichts und Selbstverschränkung Gottes", *Eranos Jahrbuch* 25, 1956, p. 95-99.
- [Sechan 54] Sechan, L., "Devenir cyclique et pluralité des mondes chez les Grecs", *Les Études philosophiques*, Nouvelle Série, 9e Année, No. 3, 360-365, Juillet/Septembre 1954.
- [Selosse 24] Selosse, M.-A., *Nature et Préjugés : convier l'humanité dans l'histoire naturelle*, Acte Sud, Arles, 2024.
- [Silk 97] Silk, J., *Le Big Bang*, tr. fr. Odile Jacob, Paris, 1997.
- [Silk 03] Silk, J., *Une brève histoire de l'univers*, Odile Jacob, Paris, 2003.
- [Spinoza 65] Spinoza, B., *Œuvres III, Ethique*, tr. fr. Garnier-Flammarion, Paris, 1965.
- [Steiner et al. 08] Janzer, H. S., Steiner, F., "Do we live in a small Universe?", *arXiv :0708.1420 [astro-ph]*, 2008.
- [Stoffel 22] Stoffel, J.-F., "Saint Thomas d'Aquin et la possibilité d'un monde créé sans commencement - Grégoire CELIER" (recension), *Nouvelle Revue Théologique*, 144-1, 2022.
- [Susskind 08] Susskind, L., *Le Paysage cosmique - notre univers en cacherait-il des millions d'autres*, tr. fr. Gallimard, folio essais, 2008.
- [Theotex-Lecture] *Texte grec et traduction de la Bible des septantes*, Deuxième livre des Maccabées, https://theotex.org/septuaginta/2maccabees/2maccabees_7.html.
- [Thomas d'Aquin 20] Thomas d'Aquin, *L'éternité du monde*, introduction et traduction par G. Celier, Vrin, Paris, 2020.
- [Tipler 94] Tipler, F. J., *The Physics of Immortality : Modern Cosmology, God and the Resurrection of the Dead*, New York, Doubleday, 1994.
- [Tod 03] Tod, K. P., "Isotropic cosmological singularities : Other matter models", *Class.Quant.Grav.* 20, 521-534, 2003.
- [Tolman 31] Tolman, R. C., "On the Theoretical Requirements for a Periodic Behaviour of the Universe", *Phys. Rev.* 38, 1758 ; Novembre 1931.
- [Tolman 34] Tolman, R. C., *Relativity, thermodynamics and cosmology*, Clarendon Press, Oxford, 1934.
- [Tresmontant 76] Tresmontant, C., *Sciences de l'univers et problèmes métaphysiques*, Seuil, Paris, 1976.
- [Tresmontant 07] Tresmontant, C., *L'histoire de l'univers et le sens de la création (1985)*, Paris, Perrin, 2007.

- [Trinh Xuan Thuan 01] Trinh Xuan Thuan, *Le Chaos et l'Harmonie, la fabrication du réel*, Fayard, Paris, 1998.
- [Trinh Xuan Thuan 01] Trinh Xuan Thuan, "La place de l'homme dans l'univers", in B. d'Espagnat (dir.), *Implications philosophiques de la science contemporaine*, tome 1, Le chaos, le temps, le principe anthropique, P.U.F., Paris, 2001.
- [Veneziano 04] Veneziano, G., "L'univers avant le Big Bang", *Pour la Science*, N° 320, 40-47, Juin 2004.
- [Weinberg 88] Weinberg, S., *Les trois premières minutes de l'univers*, Points-Seuil, Paris, 1988.
- [Wen et al. 24] Wen, R. Y., Hergt, L. T., Afshordi, N. et Scott, D., "A cosmic glitch in gravity", *Journal of Cosmology and Astroparticle Physics*, Volume 2024, Mars 2024, DOI 10.1088/1475-7516/2024/03/045.
- [Whittaker 46] Whittaker, E., T., *Space and spirit - Theories of the Universe and the Arguments for the Existence of God*, Thomas Nelson, Londres, 1946. Réédition : Kessinger Publishing, Whitefish, MT, 2008.