

# Cosmologie et genèse

Autor(en): **Courvoisier, T.J.-L.**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Orion : Zeitschrift der Schweizerischen Astronomischen Gesellschaft**

Band (Jahr): **54 (1996)**

Heft 273

PDF erstellt am: **22.09.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-898117>

## **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

## **Haftungsausschluss**

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.



# Cosmologie et genèse

T. J-L COURVOISIER

## Introduction

Nombreuses sont les civilisations qui ont été fascinées par la question des origines de la société, de l'humanité, de la vie ou encore du monde en général. Nous n'échappons pas à cette règle. Plusieurs démarches scientifiques ont en effet pour objet de tenter d'apporter des réponses au désir profond de savoir qui nous sommes, d'où nous venons et vers quoi nous nous dirigeons. Des historiens se penchent sur l'évolution de notre civilisation. Certains biologistes étudient l'évolution des espèces, donc de l'humanité, avec des chimistes et parfois des astronomes ils considèrent la question de la définition et de l'émergence de la vie. Des géologues retracent la façon dont la terre a changé au cours du temps alors que certains astronomes observent et calculent comment les planètes, le soleil, les autres étoiles et les galaxies se sont formées et sont devenues les astres que nous connaissons. Il est même possible de comprendre comment l'univers a évolué au cours du temps et de se demander quel sera son avenir. C'est cet aspect de l'étude de nos origines qui fait l'objet principal de cet article.

On entend par «univers» notre environnement dans le cadre le plus large qui soit accessible à l'investigation scientifique. L'étude de l'univers, de sa structure et de son évolution est la cosmologie. Pour se rendre compte de ce que cette étude englobe, et surtout n'englobe pas, nous pouvons partir des échelles qui nous sont familières, notre environnement quotidien, notre appartement ou bureau par exemple. Les propriétés de ces objets ne sont pas décrites dans le cadre de la cosmologie. Pour trouver ce qu'il est possible de décrire avec les outils de la cosmologie il faut aller beaucoup plus loin, dépasser notre environnement géographique, la terre, et aller encore plus loin, au delà du système solaire, où les distances se comptent en heure lumière (c'est la distance que la lumière, dont la vitesse est 300'000 km/seconde, parcourt en une heure), au delà des grandes collections d'étoiles, les galaxies, dans lesquelles les distances se comptent en milliers d'années lumière (distance parcourue par la lumière en une année). Il faut encore aller plus loin et dépasser les concentrations de galaxies, dont les tailles sont de plusieurs dizaines de millions d'années lumière. C'est seulement au-delà de ces objets que l'univers devient assez simple pour qu'une description générale ait quelque chance de succès. Aucune des structures plus petites ne peut être décrite dans le cadre de la cosmologie. Il est aussi juste de garder présent à l'esprit que la cosmologie ne décrit que l'univers observable. La cosmologie n'est donc ni l'étude des structures astronomiques qui nous entourent (par contre la question de l'origine de ces structures génériques forme un des chapitres important de la cosmologie moderne) ni l'étude d'un tout mystique.

## Le principe cosmologique

Sur une échelle de milliards d'années lumière il semble que l'univers est homogène, c'est à dire qu'il a les mêmes propriétés partout, et isotrope, c'est à dire qu'il nous apparaît identique dans quelque direction que nous observions.

Aucune de ces deux propriétés n'est vérifiée sur de plus petites échelles. Un simple coup d'oeil sur le ciel une nuit sombre montre en effet que le ciel n'est pas parsemé d'un même nombre d'étoile dans des directions différentes. Ce sont des observations d'objets beaucoup plus faibles et lointains qui permettent de penser que les propriétés à grande échelle de l'univers sont identiques dans toutes les directions et en tout endroit. L'isotropie et l'homogénéité de l'univers forment le principe de base de la cosmologie et le point de départ de notre discussion. Ce principe est aussi un prolongement du principe de Copernic: la place de la terre n'est particulière, ni dans le système solaire, ni dans la galaxie, ni dans l'univers. Il n'y a pas de raison que nous soyons dans un endroit spécial, tous les endroits et tous les points de vue doivent donc être équivalents.

Il faut ajouter à ce principe, qui s'appuie sur l'observation, une seconde hypothèse nécessaire mais difficile à vérifier expérimentalement. Les lois de la physique sont les mêmes partout dans l'univers et nous les connaissons suffisamment bien pour qu'une description de l'univers ait un sens. Sans cette seconde hypothèse, toute construction scientifique de la cosmologie est vaine.

## Géométrie et expansion de l'Univers

Le premier élément d'une description d'un espace, et l'univers est avant tout l'espace dans lequel nous nous trouvons, consiste à donner une prescription pour mesurer la distance entre deux points. Sur un espace à deux dimensions, nous connaissons plusieurs de ces prescriptions. Sur une feuille de papier, un plan, nous utilisons le théorème de Pythagore pour calculer la distance entre-deux points. Sur la surface d'une sphère comme la terre nous savons qu'il est plus difficile de savoir qu'elle est la distance par exemple entre Moscou et Genève. Nous n'avons pas de raison a priori de savoir quelle est la prescription à utiliser dans l'univers pour calculer la distance entre deux galaxies éloignées. En d'autres termes, nous ne savons pas a priori à quoi ressemble la géométrie de l'univers.

Le principe cosmologique énoncé plus haut simplifie grandement ce qui pourrait être une tâche difficile. On peut déduire en effet de l'isotropie et de l'homogénéité de l'univers que deux paramètres sont nécessaires et suffisants pour décrire les propriétés géométriques de l'univers. Connaissant ces deux paramètres, il est possible de calculer la distance entre n'importe quelle paire de points de notre espace. Un de ces paramètres caractérise le type de géométrie avec laquelle on pourra décrire l'univers, l'autre est un facteur d'échelle, qui indique comment la distance entre deux points dans l'univers évolue dans le temps.

Le premier paramètre peut prendre trois valeurs distinctes seulement. Celles ci correspondent à un univers dont un analogue à deux dimensions serait soit la surface d'une sphère, soit la surface d'un plan, soit celle d'une selle de cheval ou d'un col entre deux sommets (figure 1).

Pour comprendre la nature du paramètre d'échelle, supposons que l'univers soit un élastique sur lequel sont crochés quelques papiers de couleurs représentant les galaxies. Selon

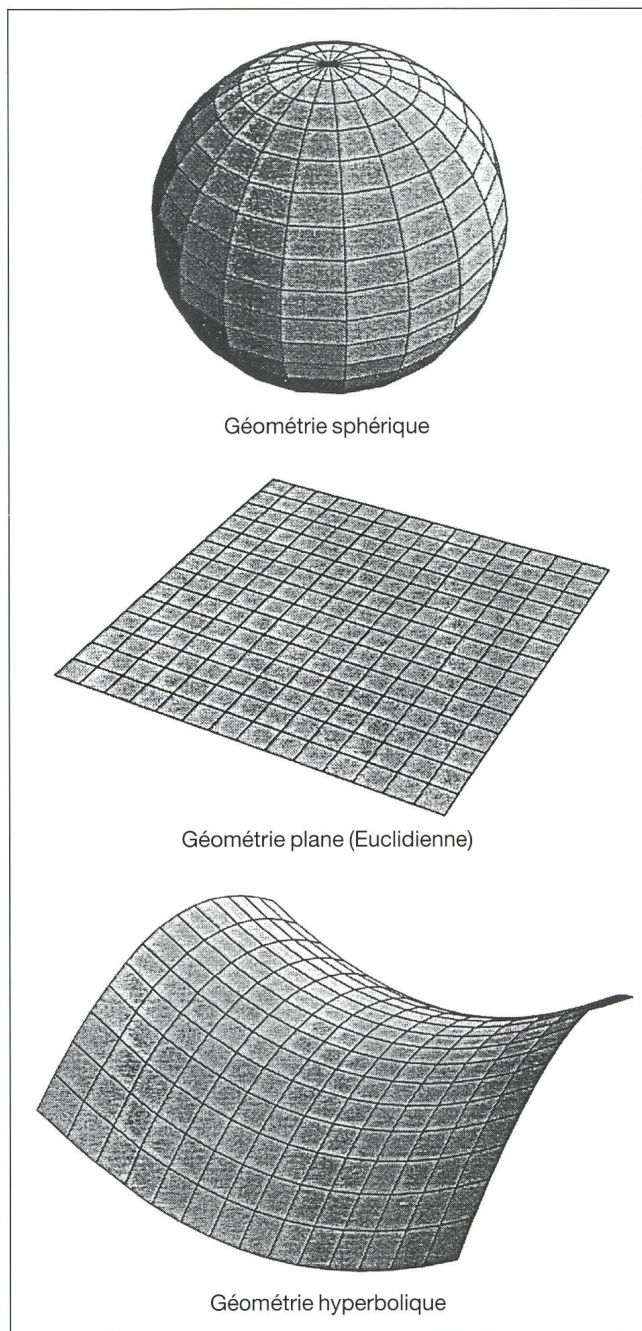


Figure 1: Illustrations bi-dimensionnelles des trois types de géométries possibles d'un univers homogène et isotrope.

l'effort de traction sur l'élastique, la distance qui sépare les papiers va augmenter ou diminuer (figure 2). Toutes les distances mesurées sur l'élastique seront multipliées par le même nombre, c'est un facteur d'échelle. De la même manière, le facteur d'échelle dans l'univers, que l'on appelle le plus souvent  $R$ , indique comment les distances entre les galaxies se modifient au cours du temps.

Dans l'univers, ce facteur d'échelle peut soit augmenter indéfiniment, soit augmenter toujours mais de plus en plus lentement, soit encore augmenter dans un premier temps pour

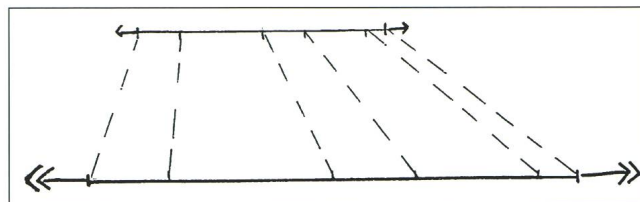


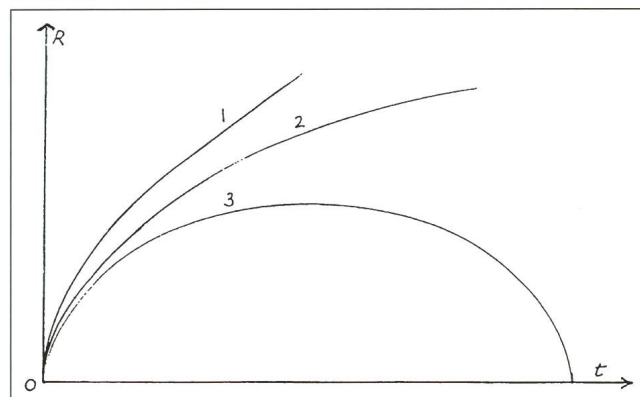
Figure 2: Si l'on change la traction exercée sur un grand élastique, la distance entre des petits objets crochés sur cet élastique se modifie d'une manière similaire à la façon dont les distances varient dans l'univers. Les modifications des distances sont proportionnelles à la distance entre les objets.

ensuite diminuer (figure 3). Ce type de comportement est lié au premier paramètre, celui qui donne la forme de l'univers. Un univers ressemblant à une sphère a un facteur d'échelle qui augmente puis diminue, une phase de contraction suit l'expansion. Cet univers a débuté avec un big bang et finira en un «big crunch». Dans les deux autres cas, il n'y a pas de phase de contraction après l'expansion. Si l'univers est l'analogue d'une feuille de papier, l'expansion se poursuivra toujours, mais de plus en plus lentement; alors que si l'univers est l'analogue d'un col, la vitesse d'expansion ne s'approchera jamais de zéro.

L'outil physique que l'on utilise pour comprendre comment ces paramètres évoluent dans le temps est la théorie de la relativité générale qu'Einstein a développée en 1915. Il est arrivé alors à trouver un système d'équations qui relie le contenu matériel et énergétique d'un ensemble physique à la structure géométrique de son espace-temps (c'est à dire à la façon de mesurer les distances entre les éléments de l'ensemble). Dans le contexte de la cosmologie ceci revient à relier les deux paramètres que nous avons décrits au contenu énergétique et matériel de l'univers.

Les observations faites par E. Hubble (l'astronome d'après lequel le satellite spatial a été nommé) dans les années 1920 ont donné une assise empirique très importante à ces réflexions. En effet, Hubble a montré que plus les galaxies sont éloignées de nous, plus elles s'éloignent de nous rapidement. Ce phénomène

Figure 3: Le facteur d'échelle  $R$  en fonction du temps. La courbe 1 correspond à un univers à géométrie hyperbolique, dont l'expansion continuera à grande vitesse. La courbe 2 correspond à un univers plan, l'expansion de celui-ci est également sans fin, la vitesse d'expansion tend vers zéro. La courbe 3 représente le facteur d'échelle d'un univers sphérique, dont l'expansion est suivie par une phase de contraction. Cet univers ayant commencé par un «Big Bang» finira par un «Big Crunch».





est le même que celui décrit par l'élastique ci dessus: plus deux papiers sont distants sur l'élastique, plus leur vitesse d'éloignement est grande quand l'élastique est tendu (essayez!). La constante ( $H_0$ ) de Hubble, décrit ce phénomène de manière quantitative. De nombreuses observations permettent de déterminer la valeur de cette constante. Cette constante  $H_0$  est telle qu'une galaxie située à 3 millions d'années lumière de la Terre, s'éloigne de nous à une vitesse de 50 kilomètres par seconde environ. Une autre galaxie, située elle à 30 millions d'années lumière de nous, s'éloigne à une vitesse de 500 kilomètres par seconde environ et ainsi de suite.

En connaissant la vitesse d'expansion de l'univers (la constante  $H_0$  donne cette information) et la distance de quelques galaxies, nous pouvons déduire que la distance entre les galaxies a été nulle, il y a à peu près 15 milliards d'années. Le raisonnement est le même que celui que l'on fait pour calculer l'heure de départ d'un train en connaissant son emplacement actuel, son point de départ et sa vitesse. Le moment où les distances entre les objets dans l'univers étaient nulles est le moment du début de l'expansion, c'est le Big Bang et le début de notre Univers.

Il ne nous est aujourd'hui pas possible de savoir si l'univers dans lequel nous vivons est en expansion perpétuelle, si cette expansion s'arrêtera ou si une phase de contraction suivra la phase d'expansion actuelle. La difficulté principale réside dans la mesure de la quantité de matière contenue dans l'univers. Nous pouvons bien sur compter la matière que nous observons, c'est-à-dire la matière lumineuse. Malheureusement, nous ne sommes capables de mesurer que ce que nous pouvons observer. Et il existe probablement beaucoup de matière dans l'univers qui n'émet pas suffisamment de lumière pour être observée avec les outils à notre disposition.

Comme la quantité de matière est liée aux propriétés géométriques de l'univers, on pourrait imaginer comme alternative approcher cette mesure en étudiant la géométrie de l'univers. Ce programme est en principe possible, il se heurte toutefois également à de grandes difficultés. En effet, la vitesse de la lumière est grande, mais elle est finie. Quand nous observons des objets lointains, ceux là même dont nous avons besoins pour mesurer les propriétés géométriques de l'univers à grande échelle, nous les observons tels qu'ils étaient au moment où ils ont émis la lumière que nous captions maintenant. C'est-à-dire il y a quelques milliards d'années. Or ces objets changent avec le temps et la façon dont ils changent n'est pas encore bien connue. En conséquence, nous connaissons mal les objets dont nous voulons nous servir comme des bornes dans l'univers lointain. C'est cette méconnaissance qui nous empêche de bien mesurer les caractéristiques de la géométrie de l'univers et donc son contenu en matière. Nous avons donc encore un travail considérable à fournir avant de savoir quel sera le sort à très long terme de l'univers.

Nous pouvons conclure de cette analyse que l'univers a eu un début, que ce début s'est passé il y a quelque 15 milliards d'années et que, depuis, l'univers est en expansion. La découverte que les galaxies s'éloignent les unes des autres avec une vitesse qui augmente avec la distance est une assise observationnelle très solide de ce modèle.

### Histoire thermique de l'univers

L'expansion de l'univers a comme conséquence directe qu'il se refroidit au cours du temps et donc qu'il était beaucoup plus chaud dans le passé. Cet effet est similaire à celui que l'on observe en gonflant un pneu de vélo. Il est en effet facile de constater que la pompe se réchauffe en comprimant l'air. De

manière similaire, une bombe à aérosol se refroidit lorsqu'elle est vidée rapidement. Il en va de même pour l'univers, il se refroidit au fur et à mesure de son expansion. Il est donc possible de remonter l'histoire thermique de l'univers et de décrire quelques étapes clés dans son évolution.

Cette description ne peut être détaillée, des aléas tels que la formation des étoiles voire de notre galaxie se passent sur une échelle beaucoup trop petite pour être décrite par la cosmologie. Il est cependant intéressant, lorsque l'on étudie nos origines de mentionner que le système solaire s'est formé il y a 5 milliards d'années. L'histoire est la même que celle des autres étoiles de notre galaxie, le soleil et les planètes sont le produit de la contraction d'un nuage de gaz, de molécules et de poussières interstellaires. On observe de nombreux nuages de cette nature dans notre galaxie au sein desquels des étoiles sont encore maintenant en formation. L'univers avait au moment de la formation du système solaire un âge d'environ 10 milliards d'années.

La première étape cosmologique très importante que nous rencontrons en remontant l'histoire thermique de l'univers a eu lieu quand l'univers avait un âge de 100'000 ans. Il s'était alors suffisamment refroidi, en se dilatant progressivement, pour permettre, que d'un proton chargé positivement et d'un électron libre chargé négativement un atome d'hydrogène se forme, dans lequel le proton et l'électron sont liés. Jusque là, une température supérieure à quelque 3000 degrés avait empêché une telle combinaison. Ceci en raison des violents mouvements, caractéristiques de cette température, qui empêchaient les électrons et les protons de s'assembler, pour former un atome.

Tant que les électrons et les protons ne pouvaient pas se lier, donc avant que l'univers n'ait eu quelque 100'000 ans, l'univers était totalement opaque. En effet, la lumière ne peut se propager librement dans un milieu dominé par des électrons libres. Elle est constamment défléchiée par ces derniers. Mais, une fois les électrons capturés par les protons, le rayonnement a pu se propager librement. Et le rayonnement libéré à cette époque reste encore observable aujourd'hui. Il est ce que les astrophysiciens appellent le fond de ciel cosmique. L'existence de ce rayonnement a été prédite dans les années 40 par un physicien russe du nom de Gamow. Ce n'est toutefois que 20 ans plus tard que deux ingénieurs préoccupés d'améliorer la qualité d'antennes radio et sans connaissance de la prédiction de Gamov, Penzias et Wilson, ont observé ce rayonnement. Cette découverte est une seconde confirmation par des observations que les idées décrites ici donnent une représentation fiable de l'univers.

La seconde étape importante en remontant vers l'origine de l'univers se situe lorsqu'il avait environ 100 secondes. Dans le milieu qui règne à ce moment, il y a en plus du rayonnement électromagnétique («la lumière») des neutrinos, des électrons, des protons et des neutrons, la température est d'environ 1 milliard de degrés. A cette température, deux protons et deux neutrons peuvent s'associer et devenir un noyau d'hélium. Plus tôt, la température était trop élevée, les mouvements des particules trop violents, pour permettre qu'une telle association soit stable. La quantité d'hélium formé peut être calculée en connaissant la température de l'univers et la vitesse de son expansion au moment de la formation. On trouve que l'hélium formé alors constitue environ 25 pour-cent de la matière disponible. Les 75 autres pour-cent restent des protons libres, qui, en ce combinant avec des électrons donneront 100'000 ans plus tard de l'hydrogène. Les observations de la quantité d'hélium présente maintenant dans différentes régions de





de température dans le rayonnement du fond de ciel. Ces différences sont le signe que l'emprunte des structures que nous observons maintenant existait au moment de la recombinaison des électrons avec les protons. Il reste à comprendre d'où viennent ces empruntes et comment à partir des minimales différences de température qui existaient quand l'univers avait 100'000 ans les structures très contrastées que nous observons ont pu se former.

### Cosmologie et mythes de la création

Les mythes de création qui sont présents dans de nombreuses civilisations ont pour objet de placer l'humanité dans son contexte naturel en racontant comment la terre, la vie et les hommes se sont formés. Souvent ces mythes décrivent aussi quelle est la relation des hommes avec un créateur. Le premier chapitre de la genèse est un tel mythe, c'est celui avec lequel la civilisation dans laquelle nous vivons s'est développée.

La science reprend une partie du programme des mythes de création. Il est en effet possible de connaître l'origine et l'histoire de notre civilisation, dans une certaine mesure aussi celle de la vie, celle de la terre et des planètes, celle du Soleil et des étoiles et même, de savoir d'où viennent les atomes dont nous faits. Même si ces connaissances sont encore lacunaires, le cadre général de l'étude paraît très solide. Le rôle de la cosmologie dans cette chaîne est de décrire le cadre le plus grand, l'univers, et son évolution sur les échelles de temps les plus longues. La cosmologie nous permet de remonter très loin dans le temps. Nous pouvons donc établir de manière précise notre relation avec tout l'univers observable. Ainsi la cosmologie, comme les mythes de la création permet de situer notre vie et notre action dans un cadre beaucoup plus grand que l'échelle humaine ou même que celui de l'histoire d'une ou de plusieurs civilisations.

Les connaissances que nous avons acquises au cours de ce siècle nous permettent de remonter avec une certaine confiance dans l'histoire de l'univers jusqu'à une fraction de seconde après le début de son expansion. Plus tôt, notre connaissance de la physique des très hautes énergies est encore imparfaite et notre description de l'univers à son tout début peu fiable. En particulier, l'origine de l'univers, par exemple sous forme de fluctuation quantique du vide est le sujet de spéculations plus que de connaissances scientifiques. En ce sens, la cosmologie ne nous permet pas d'établir, pour le moment du moins, une théorie de l'origine du monde.

La cosmologie n'est pas tout à fait une science comme les autres. On demande en effet souvent à une démarche de pouvoir être répétée et vérifiée expérimentalement pour lui donner nom de démarche scientifique. Ceci est le cas de la physique et de la chimie par exemple. Par contre en astronomie il n'est pas possible de faire des expériences. Nous sommes condamnés à observer les expériences que la nature met en scène pour nous. En cosmologie, nous sommes en plus limités à l'étude d'un seul univers. Si l'expérience se répète nous ne serons pas là pour observer dans quelle mesure cet autre univers confirme ou infirme les conclusions que nous aurons tirées de l'étude du présent univers.

Même avec cette limitation, la cosmologie moderne se distingue des mythes de la création entre autre par le souci d'obtenir des confirmations par des observations des déductions qui sont faites et par l'exécution d'expériences qui reproduisent certains aspects des conditions qui régnaient dans le très jeune univers. De telles expériences consistent par exemple à faire entrer en collisions des noyaux d'atomes lourds avec une grande énergie et ainsi de reproduire les

conditions thermiques rencontrées lors des premières secondes de l'univers. Ces études observationnelles et expérimentales de la cosmologie sont prolongées par le fait que la cosmologie fait également des prédictions qui pourront être ensuite vérifiées par de nouvelles observations. Une telle prédiction est la présence d'un fond cosmique de neutrinos de température un peu inférieure à celle du rayonnement électromagnétique. La confirmation expérimentale de l'existence de cette composante représente une difficulté majeure et ne peut être envisagée maintenant. Il n'en reste pas moins qu'il y a là une prédiction ferme qui, au moins en principe, pourrait une fois être vérifiée.

La cosmologie se distingue également des mythes de la création par l'absence de référence ou même de mention d'un créateur ou d'un dieu, de quelque nature qu'il soit. Comme le reste de la science, la cosmologie répond à la question comment et non à la question pourquoi. Le sens de l'univers n'est pas du ressort de la cosmologie. Ainsi, le soin de se pencher sur le sens de notre existence ou encore d'établir quelle est la relation entre la création et un éventuel créateur est laissée à d'autres textes ou recherches par exemple à un mythe de la création.

La place que nous nous découvrons dans l'univers au travers de l'étude scientifique du monde qui nous entoure n'est pas la même que celle que nous trouvons dans la genèse et dans beaucoup d'autres mythes. Ces derniers donnent à la terre, puis à l'humanité un rôle et une importance particuliers. Le monde décrit par plusieurs de ces mythes place l'humanité au centre de la vie (la Genèse donne aux hommes un grand pouvoir de domination sur les autres formes de vie) et place souvent la terre au centre du monde. Cette vision n'est pas celle qui se dégage de l'étude de la biologie ou de l'astronomie. Les formes de la vie évoluent, nous ne sommes pas tout à fait semblables à nos ancêtres lointains ou à ce que seront nos descendants lointains, si tant est que nous ne détruisions pas les conditions propres à la vie. Il n'y a rien de très particulier à notre époque. De même, la terre n'est pas dans un lieu privilégié de l'univers, c'est une planète autour d'une étoile parmi 100 milliards dans notre galaxie, laquelle est une parmi un très grand nombre de galaxies dans un univers qui va en s'agrandissant tous les jours. Cette vision de notre relation avec notre environnement n'est pas sans modifier profondément notre vision du monde et de notre action dans ce monde.

THIERRY J-L COURVOISIER  
Observatoire de Genève

## Partie centrale de la constellation d'Orion ►

*Cette partie du ciel est probablement une des plus photographiées par les amateurs, à cause de ses célèbres nébuleuses M42, IC 434 et la boucle de Barnard. Ces objets peuvent être facilement photographiés avec de simples appareils munis de leur objectif standard ou d'un petit télé. Un instrument plus puissant fera apparaître sur tout le champ une infinité de nébulosités très faibles. La photo a été prise le 17.1.96 avec la caméra Schmidt Ø 20 cm de l'OMG en 60 minutes de pose avec un filtre rouge, par une nuit exceptionnellement claire, due à l'absence de neige. L'image est un tirage direct du négatif, sans passer par un contretype.*

ARMIN BEHREND  
Observatoire de Miam-Globs  
Les Parcs, CH-2127 Les Bayards/NE