NOUVELLE REVUE THÉOLOGIQUE

75 N° 3 1953

L'origine de l'univers selon la science

V. MERSCH

p. 225 - 251

https://www.nrt.be/fr/articles/l-origine-de-l-univers-selon-la-science-2493

Tous droits réservés. © Nouvelle revue théologique 2024

L'origine de l'univers selon la science *

La conquête de la durée de l'univers par l'esprit humain, comme celle de son étendue, de sa masse et de son énergie, se poursuit scientifiquement depuis de nombreuses années. Elle a fait récemment d'énormes progrès.

Ouvrons un grand dictionnaire d'il y a quarante ans au mot cosmogonie. Après une définition sommaire : la cosmogonie est la science de l'origine du monde, il ne signale qu'une seule question scientifique qui en relève : l'origine de la terre. Par contre, un dictionnaire récent de physique en donne d'abord une définition beaucoup plus large : la cosmogonie est la science de l'origine et de l'évolution du monde considéré comme un tout et de la signification génétique des divers objets qu'il contient; puis, il expose non seulement les théories actuelles de l'origine de la terre, mais encore celles de son âge et celles de l'origine, de l'évolution et de l'âge de l'univers tout entier.

D'autres faits sont tout aussi significatifs de l'avance réalisée en ces dernières décades. Pour bien la marquer, certains auteurs vont jusqu'à désigner les questions relatives à la terre de microcosmogonie, pour réserver le nom de cosmogonie à celles qui concernent l'univers.

La bibliographie commentée des « Reports of the Committee on the measurement of geologic time » énumère annuellement près de 350 travaux de valeur sur ces questions.

De cette conquête de la durée du monde, nous voudrions exposer

---

* *Bibliographie sommaire.* — H. Bondi, *Cosmology,* Cambridge, University Press, 1952. — P. Couderc, *L'expansion de l'Univers,* Paris, Presses Universitaires de France, 1950. — A. Holmes, *The Age of the Earth.* Annual Report of the Smithsonian Institution, 1948, p. 227 et s. — F. Hoyle, *La figure de l'Univers,* Paris, Presses Universitaires de France, 1952. — J. Javet, *La Figure de l'Univers,* Neuchâtel, Le Griffon, 1947. — G. Lemaître, *L'Hypothèse de l'Atome primitif,* Neuchâtel, Le Griffon, 1946. — G. Lemaître, *L'Univers,* Louvain, Nauwelaerts, 1951. — *Report of the Committee on the Measurement of Geologic Time,* Washington, National Research Council, 1924-1951. — L. Rudaux et G. de Vaucouleurs, *Astronomie,* IIIe partie, ch. 7, Paris, Larousse. — R. C. Tolmann, *The Age of the Universe,* dans *Review of Modern Physics,* 1949, p. 374 et s.

quelque peu les méthodes et les résultats. Pour situer le problème, nous commencerons par un bref aperçu de la figure de l'univers, telle que la révèlent les recherches contemporaines. Le corps même de notre étude comportera deux parties. La première, centrée sur l'observation, exposera les méthodes qui permettent de fixer, avec plus ou moins de garantie, l'âge des divers objets astronomiques. Nous commencerons par la terre, de notre planète nous passerons aux étoiles, puis aux galaxies, et enfin à la structure atomique de la matière elle-même. Ainsi seront déterminées, avec plus ou moins de garantie, répétons-le, des dates mémorables de l'histoire du monde, qui marquent, sinon son origine, du moins des événements de plus en plus primitifs. Dans la seconde partie, il sera question de quelques théories de l'origine du monde. Nous tâcherons de préciser leurs idées directrices et leurs positions relativement au problème qui nous occupe. Pour finir, nous jetterons un coup d'œil sur l'ensemble des résultats acquis par la science et sur ses hypothèses et nous conclurons.

FIGURE DE L'UNIVERS

La conquête du temps cosmique est étroitement unie à celle de l'espace, à l'inventaire et à la localisation des objets qu'il contient. On ne peut l'entreprendre sans tenir compte d'elle, tant ses arguments dépendent intimement de la structure de l'univers, de ses dimensions et de sa forme actuelle.

La conquête de l'espace, sans être terminée, est déjà très avancée, plus avancée, semble-t-il, que celle de la durée. On connaît assez bien les objets qui forment la partie de l'univers proche de nous, et, vu la grande distance jusqu'où se sont étendues les recherches, il est légitime d'admettre que le morceau exploré est suffisamment vaste pour constituer un échantillon bien représentatif du tout.

Le nombre des étoiles est de l'ordre du milliard de milliards. Comme les abeilles le sont en essaims, elles sont groupées en vastes agglomérations de plusieurs milliards, appelées nébuleuses spirales, nébuleuses extra-galactiques ou encore galaxies, dont la forme est celle d'une énorme lentille. Leur diamètre est de l'ordre de quelque dix mille années de lumière, leur épaisseur dix fois moindre. Parmi elles, il en est une que nous distinguerons parce qu'elle est la nôtre, celle dont le soleil et ses planètes, la terre et ses habitants font partie. On l'appelle la Galaxie. Toutes les étoiles que nous apercevons à l'œil nu et une multitude d'autres que révèlent les appareils astronomiques, en font partie.

Les galaxies sont séparées les unes des autres, par d'immenses espaces pratiquement vides, comme les villes le sont par des campagnes. De l'une à l'autre, la distance est de l'ordre d'un million d'années de lumière. A travers ces espaces, circule la lumière et s'exercent les

attractions qui lient ces vastes agglomérations les unes aux autres.

A part la nébuleuse d'Andromède, qui apparaît comme une petite tache ovale de lumière, les galaxies ne sont visibles que grâce au télescope et à la photographie. On évalue à 100 millions le nombre de celles que nous pouvons déceler. Les plus éloignées sont à environ 500 millions d'années de lumière.

Nous connaissons bien la Galaxie. En plus des étoiles, elle contient une quantité très importante de matière interstellaire, gaz et poussière. Elle est animée d'un mouvement de rotation autour d'un centre, dont la durée est d'environ 250 millions d'années. Ses étoiles sont de types divers, plus ou moins lourdes et plus ou moins brillantes. Elles ont leurs mouvements propres et tout en participant au mouvement général de rotation, se déplacent les unes parmi les autres. Fréquemment, elles sont associées par deux et forment ce qu'on appelle des couples ou des binaires. Souvent aussi elles sont groupées en amas, les uns globulaires présentant une concentration très grande, les autres diffus et ouverts de concentration nulle ou très faible.

Les galaxies proches, que l'on peut étudier en détail, présentent les mêmes caractères et il semble légitime d'admettre qu'il en est de même pour toutes.

PREMIERE PARTIE : QUELQUES DATES

La conquête de l'espace est déjà un début de conquête du temps. Elle fixe une limite inférieure à la durée du monde et oriente notre recherche. Si certaines nébuleuses spirales sont distantes de 500 millions d'années de lumière, la lumière que nous en recevons les a quittées il y a autant d'années. Elles existaient donc déjà alors.

Les étoiles nous apparaissent telles qu'elles étaient au moment où elles ont émis la lumière que nous en recevons aujourd'hui. Cela fait pour les plus proches quelques dizaines, pour d'autres quelques milliers, pour celles de certaines nébuleuses spirales que l'on peut encore observer individuellement, quelques millions d'années. Pourtant, moyennement, elles ne semblent pas différentes les unes des autres. Quelques millions d'années paraissent donc un temps insignifiant dans leur vie, insuffisant pour produire un vieillissement mesurable. Leur passé doit être beaucoup plus long.

Ne semble-t-il pas naturel de penser que la Galaxie et les nébuleuses spirales n'en sont pas à leur premier tour et que la durée d'une rotation complète n'est qu'une fraction de leur vie. Dès lors, leur origine remonte à des centaines de millions et peut être des milliards d'années.

Mais laissons ces travaux d'approche qui ne conduisent qu'à une limite inférieure de la durée de l'univers. Nous possédons des moyens d'aborder le problème qui nous conduiront à des résultats plus précis.

ÂGE DES FORMATIONS GÉOLOGIQUES

Nous ne savons pas encore comment la terre s'est formée; les faveurs du monde scientifique, après avoir oscillé de l'hypothèse de Laplace à la théorie des marées, vont aujourd'hui de préférence à la théorie des tourbillons de von Weiszäcker. Mais nous connaissons assez exactement l'âge de la terre; des méthodes basées sur la radioactivité de l'uranium permettent de fixer celui de la croûte terrestre à 2,5 milliards d'années et celui de la terre elle-même à environ 3,3 milliards d'années.

L'uranium est un corps simple qu'on rencontre dans un grand nombre de formations géologiques. Il se transforme spontanément, par étapes successives, en plomb et hélium, suivant une loi bien caractéristique, dite loi de demi-période. Le temps nécessaire pour transformer une même fraction d'une masse d'uranium est constant et ne dépend aucunement de la grandeur de cette masse. Si pour transformer 10 % d'une quantité donnée, il a fallu autant d'années, il en faudra encore autant pour transformer 10 % de ce qui reste et ainsi de suite.

Précisons. Soit une masse de 100 kg. d'uranium pur, sans plomb ni hélium. Le tableau suivant exprime ce qu'elle deviendra au cours du temps. La première colonne donne la date, les trois suivantes les quantités d'uranium, de plomb et d'hélium, la cinquième la proportion en pour cents du plomb à l'uranium.

Temps	*Uranium*	*Plomb*	*Helium*	*Pb./Ur.*
Aujourd'hui	100 kgs	0 kg	0 kg	0 %
Dans 0,9 milliard d'années	87	11,25	1,75	13
Dans 1,8 » »	76	20,8	3,2	27,4
Dans 2,7 » »	66	29,4	4,6	44,5
Dans 4,5 » »	50	43	7	86

Ce tableau est à double entrée; il se lit de gauche à droite ou inversément. Dans le premier sens, il exprime le pourcentage du plomb à l'uranium après tel et tel temps; dans l'autre la durée qui correspond à tel pourcentage; si l'on observe par exemple dans un minerai originairement exempt de plomb, un pourcentage de 13, c'est que la transformation dure depuis 900 millions d'années.

On voit dès lors comment utiliser ces données pour déterminer l'âge des formations géologiques contenant de l'uranium. On prélève un échantillon; on détermine en laboratoire sa teneur en uranium et plomb; à partir de ces résultats, on calcule le rapport de l'un à l'autre. Celui-ci connu, il suffit de consulter le tableau et d'y lire à quelle durée il correspond, c'est le temps qu'il a fallu à l'uranium primitif

pour fournir cette quantité de plomb, c'est l'âge de la formation géologique, à condition toutefois qu'il soit établi que tout le plomb provienne de l'uranium.

Nombreux sont les résultats obtenus de cette façon, leur liste s'allonge considérablement chaque année. Ils permettent de placer dans le temps tous les terrains sédimentaires et de retracer l'histoire de la croûte terrestre, depuis que ces terrains ont commencé à se former, c'est-à-dire depuis qu'il y a sur la terre de l'eau à l'état liquide et que la température y est inférieure à 100 degrés. Le commencement du tertiaire, le carbonifère, le dévonien remontent respectivement à 60, 215 et 255 millions d'années. La pechblende du Katanga est âgée de 580 millions d'années. Les terrains sédimentaires les plus primitifs ont environ 2 milliards d'années. On atteint ainsi l'âge du commencement de la sédimentation terrestre. Ce n'est ni celui de l'origine de la terre, ni celui de sa première solidification superficielle, mais tout de même un jalon important dans notre recherche. Tout ce qu'on sait par ailleurs de ces roches établit qu'elles remontent presque aux origines de la croûte terrestre. L'âge de celle-ci ne peut dépasser le leur que de quelques centaines de millions d'années. En lui donnant 2,5 milliards d'années on doit être proche de la vérité.

Il existe parmi les ustensiles de ménage des sabliers qui servent à mesurer des durées pratiques, par exemple le temps nécessaire pour cuire un œuf. L'analogie est immédiate. La disparition de l'uranium et l'apparition du plomb correspondent à la disparition du sable dans le réservoir supérieur et à son apparition dans le réservoir inférieur. Les mécanismes ne sont sans doute pas identiques, puisque d'un côté il s'agit d'un simple écoulement régulier et de l'autre d'une véritable transformation qui en valeur absolue se ralentit avec le temps. Pourtant le rapprochement fait comprendre que la mesure du plomb apparu, comme celle du sable écoulé, est une mesure du temps pendant lequel l'écoulement s'est prolongé. La transformation du plomb est un vaste sablier naturel, une immense horloge cosmique. Le dépôt de plomb qui s'accumule avec les siècles est l'équivalent d'une aiguille qui parcourt un quadrant ; comme on y a inscrit les « heures », grâce aux travaux de laboratoire, il marque le temps.

La méthode prête à des objections que les savants, les tout premiers, se sont formulées à eux-mêmes. La principale concerne ses fondements. Les expériences ne portent que sur le taux actuel de la transformation de l'uranium en plomb. Qui garantit qu'il était le même autrefois, à l'origine de la formation de la croûte terrestre et pendant toute l'époque qui nous en sépare ? Signalons d'abord, c'est une première réponse à l'objection, que le taux de transformation se montre aujourd'hui insensible à toutes les causes physiques, les pressions les plus fortes et les plus faibles, les températures les plus élevées. Dès lors, on n'aperçoit aucune condition qui ait pu modifier sa grandeur

dans le passé. La seconde réponse repose sur toutes les applications qu'on a faites de cette méthode; elles ont toujours été cohérentes entre elles, aucun résultat anormal ou bizarre, tels que seraient des âges contradictoires avec les données de la géologie, n'a suscité de doute sur sa valeur.

On pourra soulever une objection analogue contre les méthodes que nous développerons plus loin. Le temps, sur lequel porte nos observations, est toujours, dans le domaine astronomique, relativement très court. Que sont quelques dizaines ou centaines d'années par rapport au temps cosmique? De même notre connaissance détaillée du monde stellaire est relativement peu étendue, elle ne concerne que quelques étoiles parmi une multitude innombrable. Les faits établis de cette façon sont-ils suffisamment caractéristiques pour fonder des conclusions qui s'étendent à l'univers tout entier, à toute sa durée et à toute son extension?

Sans doute, il est toujours périlleux d'étendre, au delà ou en deçà du domaine observé, les lois expérimentales les mieux établies. Pourtant, ce danger, il est normal de le courir, après avoir pris toutes les précautions possibles, sinon on enserrerait la science en un domaine trop étroit. Il faut avoir l'audace de l'affronter, tout en étant prêt à revenir en arrière, si un jour il devenait évident qu'on s'est trompé. Dans la méthode de la transformation de l'uranium, les précautions prises semblent suffisantes. Ailleurs, il nous sera plus difficile de garantir qu'il en est ainsi, l'état de la science ne permettant pas encore une telle assurance.

Il y avait une condition à la légitimité de la méthode : tout le plomb devait provenir de l'uranium. Il est toujours difficile et parfois impossible, sans faire appel à l'isotopie dont il va être question, d'établir jusqu'à quel point il en est bien ainsi, souvent une partie notable est d'origine étrangère. C'est pourquoi les résultats obtenus ne peuvent être considérés, la plupart du temps, que comme une limite supérieure, généralement assez proche, des âges réels.

MÉTHODE DES ISOTOPES

La méthode des isotopes, introduite en ces dernières années, améliore celle que nous venons de décrire, grâce à la substitution de l'étude des abondances relatives des divers isotopes du plomb et de l'uranium à celle de l'abondance relative totale, et à la distinction qu'elle permet de faire, entre plomb originel et plomb provenant de la transmutation de l'uranium.

Il est établi que les atomes de plomb, comme ceux d'uranium ne sont pas tous identiques. Il y a onze espèces, onze isotopes dit-on, d'atomes de plomb et cinq d'atomes d'uranium. Nous n'avons pas à exposer ici la cause profonde de cette multiplicité, il nous suffit de savoir

qu'elle existe et se traduit par une différence de masse. Notre sujet ne demande pas non plus que nous parlions de tous ces isotopes, quatre seulement du premier nous intéressent et deux du second. Il existe donc des atomes d'uranium de masse 235, en unités atomiques, et d'autres de masse 238, soit 390 et 395 millionièmes de milliardième de milliardième de gramme. On les désigne respectivement par les symboles U 235 et U 238. De même, il existe des atomes de plomb de masse 204 et d'autres de masse 206, 207 ou 208 en unités atomiques, soit 338, 342, 343,5 et 345 millionièmes de milliardième de milliardième de gramme. On les désigne par Pb 204, Pb 206, Pb 207 et Pb 208. Pour chaque échantillon, on peut déterminer la teneur en chaque isotope, c'est ce qu'on appelle l'analyse isotopique. L'uranium 238 est toujours 139 fois plus abondant que le 235. Quant au plomb, les abondances relatives sont variables quand il s'agit de minerais radioactifs, et fixes quand il s'agit d'autres minerais.

La transformation de l'uranium en plomb a été précisée conformément à ces connaissances nouvelles; l'uranium 235 se transforme en plomb 207, et l'uranium 238 en plomb 206. Le temps nécessaire pour transformer la moitié d'une masse d'uranium est différent pour les deux types d'atomes, pour les premiers 880 millions d'années, soit approximativement un milliard, pour les seconds 4,5 milliards.

L'analyse isotopique et ces données nouvelles permettent d'améliorer la méthode radioactive de la détermination de l'âge des terrains. Elles fournissent d'abord, comme nous allons le montrer sur un exemple, le moyen de connaître, pour chaque échantillon, l'origine du plomb qu'il contient, de séparer pour chaque isotope ce qui est d'origine radioactive et ce qui ne l'est pas et de travailler sur des données plus précises. Elles permettent ensuite de considérer séparément la transformation de l'uranium 238 en plomb 206 et celle de l'uranium 235 en plomb 207, de les traiter comme deux horloges cosmiques distinctes, fonctionnant simultanément, et de mesurer ainsi par deux voies différentes l'âge des minerais.

L'exemple généralement cité est celui d'un échantillon de samarskite provenant de Portland, analysé par Alfred Nier. L'analyse générale qui ne tient pas compte des isotopes, donne en grammes :

Plomb 0,314. Uranium 6,91. Thorium 3,05.

Si l'on considère que tout le plomb est d'origine radioactive, le rapport du plomb à l'uranium fixe son âge, d'après la méthode précédente, à 295 millions d'années.

Mais voici l'analyse isotopique de l'échantillon.

Pb 204 : 0,00041 ; Pb 206 : 0,243 ; Pb 207 : 0,0185 ;
Pb 208 : 0,052 ; U 235 : 0,049 ; U 238 : 6,86.

Fixons d'abord notre attention sur le plomb 204. On sait qu'il ne provient pas de l'uranium et est donc originel. Il fournit cette donnée essentielle sur la composition primitive en plomb de l'échantillon, qu'il

renfermait 0,00041 de l'isotope 204. Contenait-il aussi les autres espèces de plomb et en quelles quantités? Comment le savoir?

On possède des plombs qui n'ont été aucunement influencés par l'apport des décompositions radioactives et sont encore dans leur état originel. Pour un atome de plomb 204, ils contiennent, en moyenne, 18 atomes de plomb 206 et 16 de plomb 207. Il y a tout lieu d'admettre que cette proportion est celle du plomb primitif et qu'il en était ainsi de celui qui fut initialement incorporé dans la samarskite de Portland. Dès lors, on est à même de calculer ce qu'elle contenait originairement de chaque isotope de plomb, puisque l'on sait la quantité initiale de l'un d'entre eux et leurs rapports. Le calcul donne les chiffres suivants. Pb 204 : 0,00041; Pb 206 : 0,0074; Pb 207 : 0,0064; Pb 208 : 0,0154.

Une simple soustraction et l'on a le plomb engendré par les transformations radioactives, soit en chiffres ronds : Pb 206 : 0,236; Pb 207 : 0,012; Pb 208 : 0,036.

Les éléments nécessaires au calcul de l'âge de l'échantillon sont ainsi réunis. Soit d'abord l'Uranium 235. Sa quantité actuelle est 0,049, la quantité de plomb qu'il a produit depuis l'origine du minerai jusqu'aujourd'hui est 0,012. On en déduit facilement le rapport de l'un à l'autre, 25 % environ. Si l'on applique alors la loi de la décomposition radioactive, en tenant compte que l'U 235 se transforme de moitié en 880 millions d'années, on trouve que cette proportion demande une durée de 254 millions d'années. C'est l'âge du minerai. L'étude similaire de l'U 238 et du Pb 206 donne 255 millions d'années. L'accord des deux déterminations à quelques millièmes près est une garantie de l'exactitude du procédé.

La méthode des isotopes a confirmé et précisé les résultats pratiquement déjà acquis par la méthode radioactive simple. Elle fixe à environ 1970 millions d'années l'âge des uraninites incluses dans des pegmatites de l'Huron Clain (Manitoba) qui sont les roches les plus anciennes qui aient été datées jusqu'à présent. Quatre analyses ont donné 1950, 1955, 1985 et 1990 millions d'années.

ÂGE DE LA TERRE

C'est encore la radioactivité qui permet de remonter plus avant vers l'origine de la terre. Si, par l'étude des terrains sédimentaires, elle fixe une limite inférieure de son âge de l'ordre de 2,5 milliards d'années, elle en fixe aussi une limite supérieure de la façon suivante.

Supposons que tout le plomb 207 que contient actuellement notre planète lui est venu uniquement par la transmutation de l'uranium 235, et demandons-nous depuis combien de temps ce mécanisme doit être en activité pour rendre compte de la proportion actuelle de ces deux

corps. La réponse est évidemment l'âge maximum de l'uranium terrestre et aussi celui de la terre dont il est un élément primitif.

Les spécialistes estiment que c'est dans les granites les plus récemment formés que la transmutation de l'uranium 235 en Pb 207, depuis les origines de la terre, s'exprime le mieux. C'est en eux que l'horloge cosmique a marché le plus régulièrement et a été le moins troublée. Or ces granites contiennent par kilogramme 0,025 mgr. d'uranium 235 et 4,2 mgr. de plomb 207. En tenant compte du taux de production, on calcule que, pour atteindre cette proportion, il a fallu 5400 millions d'années. C'est l'âge maximum de l'uranium 235 qui se trouve sur terre, et aussi celui de notre planète elle-même.

Il est possible de préciser davantage, toujours en s'appuyant sur la radioactivité, et de fixer, entre ces deux limites, inférieure et supérieure, l'âge de la terre à environ 3.350 millions d'années. Un exposé complet de la méthode demanderait quelques formules, nous nous contenterons d'en indiquer la marche générale.

L'étude de la composition des minerais de plomb conduit à admettre qu'à l'origine la terre contenait un plomb de composition isotopique bien déterminée et que les différences qu'on observe actuellement proviennent de l'apport de la radioactivité. La question est de savoir si l'on peut retrouver, par l'observation de la composition actuelle, ce moment de composition uniforme. Si oui, en le déterminant c'est l'âge de la terre que l'on trouvera.

Considérons, c'est l'exemple exposé par les spécialistes, deux galènes, l'une prélevée dans une formation précambrienne, l'autre dans une formation carbonifère, âgées respectivement de 1330 et 220 millions d'années. Pour chacune, on a déterminé leurs teneurs actuelles en plomb 207 et calculé, à partir de là, leurs teneurs en cet isotope aux moments de leur formation. Ces dernières sont par rapport au plomb 204 respectivement 15,30 pour la plus ancienne, 15,61 pour la plus récente. D'où vient cette différence? Evidemment de ce que pendant l'intervalle de 1.110 millions d'années qui sépare leurs formations, la transmutation de l'uranium s'est poursuivie; la seconde s'est formée dans un milieu plus riche en plomb d'uranium.

A partir de ces données, on résoud le problème suivant : Quelle était la composition uniforme du plomb à l'origine de la terre, selon qu'elle est plus ou moins âgée, pour que, aux époques où se sont formées ces galènes, elle soit devenue, grâce à l'apport de la radioactivité, celle que donne l'analyse, à la fois en valeur absolue et en valeur relative. On trouve, selon que l'origine de la terre remonte à 2.500, 3.000 et 3.500 millions d'années, les proportions suivantes, progressivement décroissantes, du plomb 207 au plomb 204, 14,1 ; 12,4 et 10,59.

Ce même problème on le pose et le résoud pour d'autres couples de galènes et de minerais de plomb. On trouve ainsi de nouveau les proportions initiales selon l'âge de la terre. Si l'on rapproche tous les

résultats, on constate que l'ensemble des couples étudiés indique que c'est seulement si la terre remonte à environ 3.350 millions d'années que la composition isotopique du plomb a été uniforme à l'origine. Il ne peut en être ainsi si elle est plus jeune ou plus vieille. Son âge est ainsi fixé.

ÂGE DES ÉTOILES

Pour construire une horloge qui fixe exactement l'âge de la terre, il a fallu découvrir un processus naturel qui ait agi depuis sa naissance jusqu'aujourd'hui, puis mesurer son effet total, déterminer son taux de production au cours du passé et enfin, de l'effet total, déduire le temps pendant lequel le processus a été en activité, c'était l'âge cherché. Le décès des éléments radioactifs répondait bien à ces conditions.

Existe-t-il pour les étoiles des phénomènes répondant à ces mêmes conditions, qui puissent permettre d'aborder la question de leur âge? On en connaît plusieurs, nous en étudierons quelques-uns en particulier : d'abord trois qui dépendent de la dynamique stellaire : la séparation des binaires, la désagrégation des amas, la distribution de l'énergie cinétique, ensuite un quatrième qui dépend de la source de l'énergie stellaire.

Nous ne nous occuperons pas de toutes les étoiles, ni de telle ou telle en particulier, mais du groupe de celles qui entourent le soleil, que nous pouvons voir séparément et connaître avec quelques détails. Il n'est évidemment qu'une fraction minime de la Galaxie et plus minime encore de l'univers. Il est pourtant déjà assez vaste pour être considéré comme un échantillon du tout.

Toutes les étoiles ne sont pas nées en même temps, il en est d'anciennes et de récentes ; il y aurait même encore actuellement des étoiles en formation. On observe en effet, dans les nuages de matière diffuse, nombreux dans la Galaxie, des globules qu'on interprète comme un commencement de groupement de matière, qui, avec le temps, se condensera toujours davantage et deviendra une étoile.

En conséquence le mot étoiles dans les paragraphes qui suivent désignera directement les cent mille étoiles qui sont proches de nous, plus spécialement les plus anciennes et celles qui ont été étudiées avec plus de soin, et implicitement toutes les étoiles.

DYNAMIQUE STELLAIRE

Toute la Galaxie est en mouvement autour de son centre. Sa rotation n'est pas celle d'un corps solide, une roue par exemple, dans lequel les diverses parties ne changent pas de place les unes par rapport aux autres au cours du mouvement ; elle est différentielle, les étoiles tournent d'autant plus vite qu'elles sont plus près du centre. Il se

produit ainsi des déplacements mutuels, chacune se rapproche de celles qui en sont plus éloignées et la précèdent, elle s'écarte de celles qui la suivent ou sont au même niveau.

A ce mouvement d'ensemble, se superposent, le troublant en partie, des mouvements particuliers. Il est des astres qui s'écartent du centre et d'autres qui s'en rapprochent, tout en tournant autour de lui ; il en est qui traînent et d'autres qui courent. La configuration des étoiles est ainsi en perpétuelle évolution. Pour nous la représenter, nous n'imaginerons pas un défilé militaire impeccable, mais l'avance d'une foule le long d'un boulevard en arc de cercle, avec ses remous et ses déplacements continuels.

Les mouvements des étoiles occasionnent des rapprochements temporaires, on parle de rencontres. Le mot éveille probablement chez le lecteur l'idée d'une collision. Ce serait minimiser sa signification. Sans doute, deux étoiles pourraient dans leur mouvement se heurter et provoquer un accident de circulation stellaire. Ce qu'on sait des vitesses de déplacement, des distances mutuelles et des dimensions permet de calculer la probabilité de telles catastrophes. Il ne doit s'en produire dans la Galaxie que tous les millions d'années, quoique le nombre des étoiles en circulation y soit de 200 milliards. Les routes de la Galaxie ne sont pas encore encombrées !

Les rencontres dont il s'agit ici sont des passages d'étoiles à une distance telle qu'elles produisent l'une sur l'autre, par attraction mutuelle, un effet perceptible. Pour cela, il suffit qu'elles se rapprochent à moins de 15 années de lumière. Ces rencontres à distance sont rares à l'échelle humaine du temps, à l'échelle cosmique elles sont relativement fréquentes. Si, pour chaque étoile, elles n'ont lieu que tous les 200 mille ans, cela fait, tout de même, pendant la durée d'une rotation galactique, environ 1000 rencontres.

Le phénomène des rencontres s'est produit depuis que les étoiles existent. Il satisfait donc à la première condition d'une horloge stellaire pour le passé. Répond-il également aux autres ? Produit-il des effets qui s'accumulent avec le temps, que l'on puisse mesurer et dont il soit possible de calculer le taux de production ? A chaque rencontre, les étoiles agissent par attraction les unes sur les autres. Ces actions, en se répétant, ont pour effet de séparer progressivement les binaires, de dissoudre les amas ouverts, de réaliser une égale distribution de l'énergie cinétique. Ces effets sont d'autant mieux réalisés que le temps pendant lequel la cause a travaillé est long. A chaque durée, correspond un état d'avancement caractéristique et réciproquement à chaque état d'avancement correspond une durée de fonctionnement. Les tableaux de ces correspondances constituent autant de cadrans d'horloges stellaires.

Une dernière question se pose alors, celle de savoir où se trouve actuellement l'aiguille. L'observation y répondra en établissant l'état

actuel de ces phénomènes. Pour tous les trois, elle montre qu'il correspond à une durée de fonctionnement qui ne dépasse pas 10 milliards d'années et se situe assez bien vers 4 ou 5 milliards.

ÉTOILES DOUBLES

Les étoiles sont fréquemment associées par deux et forment des couples. On estime qu'une étoile sur trois est dans ce cas. Ces couples ont fait l'objet d'études nombreuses et l'on connaît assez bien leurs caractères ; on les a classés selon la dimension et la forme de leurs orbites. Il y a les couples à grand et petit écartement, les couples à orbite circulaire et à orbite allongée.

Au moment de ses rencontres avec une étoile, chaque membre d'un couple est soumis à une force attractive. Dans l'ensemble, selon la mécanique, ces actions sont perturbatrices et leur répétition conduit à la séparation des composantes. L'événement ne se produit pas en une fois, il demande de nombreuses rencontres. Sa rapidité dépendra de leur fréquence, de la forme géométrique initiale, de la proximité des partenaires. Un couple à grand écartement se dissout plus rapidement qu'un couple serré.

La théorie détermine avec quelle rapidité, dans une agglomération de binaires, la dissolution se poursuit avec le temps. Elle donne, à chaque moment de l'évolution, la distribution probable des systèmes doubles, l'abondance relative des systèmes à orbites circulaires ou elliptiques et celle des systèmes à grand ou petit écartement. De cette façon, elle fournit une échelle du temps, une horloge stellaire.

Pour fixer l'aiguille sur le cadran, adressons-nous à l'observation. Elle établit la distribution actuelle des écartements. Comparons-la au tableau des distributions théoriques. De l'avis des spécialistes, elle est primitive et correspond à une relative jeunesse du monde stellaire. Précisons : la comparaison démontre que le mécanisme de dissolution par le mécanisme des rencontres est en jeu depuis seulement quelques milliards d'années. C'est l'« Heure » du monde des étoiles.

AMAS OUVERTS

Les amas ouverts sont des groupes d'étoiles associées entre elles, dans lesquels la condensation est relativement faible. Ces petites agglomérations ont quelques centaines ou dizaines d'étoiles. Leur unité est réelle, il ne s'agit pas d'une simple proximité, mais bien d'une communauté : les membres du groupe sont animés d'un même mouvement et voyagent de conserve. Comme exemple, citons les Pléiades et les Hyades. Ce dernier amas est relativement très proche de la terre et nous pouvons l'étudier en détail. Il contient 150 membres,

son centre est situé à 130 années de lumière et son diamètre atteint 30 années de lumière.

Un amas ouvert n'est tenu que par de faibles forces d'attraction mutuelle; ses membres sont trop éloignés les uns des autres pour s'attirer fortement. Deux grand ennemis lui font une guerre sans merci : les rencontres et l'attraction du centre de la galaxie; tous deux tendent à le disloquer. Les étoiles sont en effet soumises à une attraction vers le centre de la galaxie, d'autant plus forte qu'elles en sont plus proches. Cette attraction différentielle produit un effet qui se compare à la marée que la lune produit sur la terre, elle allonge l'amas, et le disperse progressivement, si ses forces de cohésion ne la dominent pas, ce qui est le cas des amas peu denses. De même, les rencontres d'étoiles étrangères près desquelles passe un amas, et qui parfois même le traversent, sont autant de sollicitations sur ses membres, dont l'effet général est aussi la dislocation progressive. Deux étoiles qui voyageaient parallèlement auront normalement après la rencontre des directions légèrement différentes, le groupe sera moins uni qu'il ne l'était. Le résultat final de ces actions est la dispersion complète. Combien de temps faut-il pour l'atteindre? Le calcul indique que dans 2 milliards d'années, il ne restera rien de l'amas des Hyades, les étoiles qui le composent auront été totalement séparées les unes des autres et poursuivront des chemins tout à fait indépendants; le cortège qu'elles formaient se sera complètement disloqué. L'amas des Pléiades et celui de Praesepe, plus denses, subsisteront davantage, mais leur vie ne peut guère dépasser 20 milliards d'années.

Nous voilà de nouveau en possession d'un processus qui s'est poursuivi depuis que les étoiles existent. On a pu calculer quel devait être l'état général de désagrégation de l'ensemble des amas d'une galaxie avec le temps, après 1, 2,... milliards d'années. Un tel tableau est une échelle des temps, un cadran d'horloge cosmique.

A l'observation de situer l'aiguille sur le cadran. La seule subsistance d'amas ouverts dans la Galaxie est déjà un signe d'une certaine jeunesse relative des étoiles; si elles étaient âgées de nombreux milliards d'années, la désagrégation serait plus avancée. Plus exactement, l'état général actuel des amas, comparé au tableau théorique, place l'aiguille du temps stellaire sur quelques milliards d'années.

DISTRIBUTION DE L'ÉNERGIE CINÉTIQUE

Les rencontres d'étoiles produisent des transferts d'énergie cinétique. On sait que celle-ci répond à la formule $1/2\,mv^2$ et dépend à la fois de la masse du corps et du carré de sa vitesse. Quand une étoile riche en énergie cinétique rencontre une étoile qui en est pauvre, elle subit le plus souvent, par le jeu de l'attraction mutuelle des masses, une diminution de son avoir au profit de la seconde. Après la rencontre,

sa vitesse est un peu diminuée, celle de la seconde augmentée. Pour un ensemble important de corps en mouvement, si le phénomène se répète, il s'établit petit à petit un régime d'équipartition, les riches perdent au profit des pauvres et les énergies cinétiques se groupent de mieux en mieux autour de leur valeur moyenne, selon une loi bien déterminée. Un nivellement général des avoirs s'opère progressivement, comparable à celui des fortunes dans une société où les échanges sont fréquents. La théorie détermine le temps normalement nécessaire pour qu'un tel nivellement soit accompli dans un ensemble d'étoiles, jusqu'à tel ou tel degré, quel qu'ait été l'état initial. Ce tableau est de nouveau un cadran d'horloge stellaire avec ses chiffres. La question reste alors de situer l'endroit où l'aiguille se trouve aujourd'hui. C'est la tâche de l'observation.

Les premières statistiques de l'état cinétique des étoiles avaient semblé indiquer que l'équipartition était à peu près réalisée, on en avait conclu que les étoiles avaient vécu le temps nécessaire à la réaliser, c'est-à-dire quelques milliers de milliards d'années. On a repris depuis lors cette étude à partir de données nouvelles et plus adéquates et remarqué qu'il y a lieu de classer les étoiles en groupes distincts. Les résultats ainsi obtenus témoignent d'une relative jeunesse du monde des étoiles. L'équipartition est encore loin d'être réalisée; la répartition actuelle correspond seulement à quelques milliards d'années d'existence.

COMBUSTIBLE ET CENDRE STELLAIRE

La source principale de l'énergie des étoiles est la conversion thermonucléaire de l'hydrogène en hélium, en présence du carbone. Le mécanisme s'amorce de lui-même au centre de l'étoile, dès que la température atteint le niveau requis. Petit à petit, l'hydrogène disparaît et à sa place apparaît de l'hélium, le premier est le combustible nucléaire, le second sa cendre. Nous avons donc là un processus continu qui fonctionne depuis l'origine des étoiles, toujours dans le même sens.

La hauteur d'un terril est souvent une indication de l'âge d'une exploitation minière. Dans une chaufferie, l'augmentation, jour par jour, des cendres et la diminution du charbon est un signe de l'avancement de l'hiver et marque sa durée. L'étude du contenu des étoiles en hydrogène et hélium, pratiquement en combustible et en cendres, ne pourrait-elle pas fixer leur âge? Pour cela, il faudrait fixer le tableau de la diminution du combustible et de l'augmentation des cendres avec le temps et lui comparer l'état actuel dans les étoiles, si toutefois il est possible de le déceler.

Voyons d'abord la théorie. La luminosité d'une étoile, c'est-à-dire scientifiquement la quantité d'énergie qu'elle rayonne, dépend évidem-

ment de la production d'énergie en son centre, et l'on comprend qu'elle soit fonction de la proportion du combustible et de ses cendres, en d'autres mots de l'hydrogène et de l'hélium. Elle dépend aussi du mécanisme qui transporte l'énergie depuis le foyer central jusqu'à la surface, et l'on sait que la masse de l'étoile et son rayon jouent là un rôle. On établit entre la luminosité d'une étoile, sa masse et son rayon, une relation qui est différente selon son contenu en hydrogène et hélium. C'est une fonction rapidement croissante de la masse et faiblement influencée par le rayon.

De la croissance de la luminosité avec la masse, il résulte que, dans une étoile de masse élevée, la production d'énergie est accélérée et qu'une même fraction de l'hydrogène y est d'autant plus rapidement consommée qu'elle est plus massive. On précise et dresse le tableau qui donne pour chaque masse stellaire le temps nécessaire à la consommation d'une partie notable de son combustible.

Adressons-nous alors à l'observation. Elle fixe, avec une bonne approximation, l'état du foyer des étoiles en fonction de leur masse. En grande majorité, les étoiles obéissent à la relation entre luminosité, masse et rayon, prédite par la théorie, pour les étoiles riches en hydrogène et pauvres en hélium. La plupart n'ont donc pas encore eu le temps de consommer une partie notable de leur combustible. Si l'on détermine leurs masses et consulte le tableau théorique, on observe que ce sont toutes des étoiles de masse relativement faible qui demanderaient pour cela une durée d'au moins 5 milliards d'années.

Les étoiles qui ne vérifient pas cette relation constituent une minorité appréciable. Il est raisonnable de supposer qu'elles font exception parce qu'elles ne réalisent pas la condition nécessaire pour être de la première catégorie : elles sont pauvres en hydrogène et riches en hélium. Elles ont donc eu le temps de transformer une partie considérable de leur combustible en cendre. Ce sont toutes des étoiles de masse importante et de grand diamètre et, pour toutes, le temps nécessaire à la consommation d'une partie notable de l'hydrogène est de 3 à 5 milliards d'années.

Nous pouvons conclure. L'observation et la théorie établissent que des étoiles qui demandent moins de 5 milliards d'années pour consommer une bonne partie de leur combustible l'ont fait, et par contre, que celles qui demandent davantage n'en sont pas encore là. Dès lors, il paraît légitime de considérer que 5 milliards d'années est l'âge des étoiles.

ÂGE DES GALAXIES

Il y a une trentaine d'années, les astronomes des observatoires de Flagstaff et du Mont Wilson signalaient une particularité bien marquée des spectres des nébuleuses extragalactiques. Ils présentent tous

le même aspect général que le spectre solaire : ce sont des bandes continues de lumières colorées, interrompues par une même suite de raies sombres, plus ou moins larges et accentuées, plus ou moins resserrées. Mais si ces raies se suivent dans le même ordre que dans le spectre du soleil, elles sont pourtant toutes déplacées, dans la gamme des couleurs, ou plus scientifiquement, dans celle des longueurs d'onde, vers le rouge, et cela d'autant plus que la nébuleuse paraît plus faible et est plus éloignée. Le phénomène est particulièrement visible pour la raie K du calcium ionisé : alors que normalement elle est dans le violet extrême à 3933 Angströms, elle se trouve pour les nébuleuses les plus distantes dans le bleu à 4341 Angströms.

La théorie de la lumière aussi bien que l'expérience établissent que lorsqu'une source de lumière s'écarte d'un observateur, ou inversément, ou les deux à la fois, ses radiations se déplacent vers le rouge et d'autant plus que la vitesse relative du mouvement est plus grande. Il est dès lors normal d'attribuer le déplacement des raies dans les spectres des nébuleuses spirales à leurs mouvements par rapport à nous. Si elles sont déplacées vers le rouge, et d'autant plus qu'elles sont plus éloignées, c'est qu'elles s'écartent de nous, et d'autant plus vite qu'elles sont déjà plus loin. On est ainsi amené à admettre que le monde des galaxies est animé d'un mouvement général d'expansion. La vitesse de récession de chacune peut être calculée : pour les plus proches, elle est de quelques centaines de kilomètres par seconde; pour les plus lointaines connues actuellement, elle atteint 40 à 50 mille kilomètres par seconde.

Une telle hypothèse entraîne des conclusions concernant notre sujet. Si l'univers est en expansion, il était hier moins vaste qu'aujourd'hui et les nébuleuses étaient alors un peu plus rapprochées. Il y a cent ans, mille ans... elles l'étaient encore davantage. Si l'on suppose que les vitesses de récession n'ont pas changé au cours du passé, il est possible de remonter dans le temps, et d'établir, pour chaque date, l'aspect général de l'univers. Il y a deux milliards d'années, il était relativement très petit. Les galaxies étaient si proches l'une de l'autre, qu'il ne pouvait y avoir de séparation entre elles. Il ne pouvait non plus être question à ce moment d'étoiles distinctes, pas plus qu'on ne peut parler de gouttes d'eau séparées, quand elles sont rassemblées dans un même vase; les surfaces de séparation disparaissent d'elles-mêmes, dans une telle proximité.

Mais la supposition que la vitesse est restée constante peut n'être qu'une première approximation et certains auteurs admettent qu'elle a été en croissant. Dès lors, si elle était plus petite autrefois qu'aujourd'hui, ce ne sont pas deux milliards d'années qu'il faut remonter, pour arriver à un état de condensation extrême où toute distinction s'évanouit, mais davantage, d'autant plus que la vitesse a augmenté plus lentement. Il semble raisonnable de fixer à quatre ou cinq milliards

d'années cette époque où les galaxies n'existaient pas encore et déterminer ainsi leur âge maximum. Nous pouvons parler de la matière de l'univers à cette époque comme d'une masse sans forme.

ÂGE DES ATOMES ET DES ÉLÉMENTS CHIMIQUES

Tout l'univers est formé avec les mêmes éléments chimiques. Ceux qu'on rencontre sur la terre sont aussi ceux qui forment les autres planètes, le soleil, les étoiles et les nuages galactiques. De tous, c'est l'hydrogène qui est de loin le plus abondant, à ce point qu'on pourrait affirmer, en première approximation, que l'univers se compose d'hydrogène. Vient ensuite l'hélium. Il y a des raisons sérieuses de croire qu'ils représentent à eux deux 90 et parfois 99 % de la masse des étoiles et de la matière interstellaire. Le carbone, l'oxygène, l'azote et les métaux forment la plus grande partie du reste.

Par la méthode radioactive, on détermine l'âge maximum de quelques-uns des éléments qui composent la terre. Nous avons exposé précédemment que si l'on suppose, cas extrême, que tout le plomb 207 provient de l'uranium 235, il faut admettre que le mécanisme de production n'est pas en activité depuis plus de 5,4 milliards d'années et qu'avant cette date l'uranium 235 n'existait pas.

Il existe parmi les éléments d'autres transformations qui fondent des déductions analogues, par exemple celle du potassium 40 (K 40) en calcium 40 (Ca 40). On a établi que la demi-période de cette transformation est 1,11 milliard d'années, et que, actuellement, il y a 150.000 atomes de Ca 40 pour 1 atome de potassium 40. Supposons que tout ce calcium provienne du potassium et qu'initialement il n'y ait pas eu de calcium 40, et calculons le temps nécessaire pour qu'une quantité quelconque de potassium pur donne cette proportion de 1 à 150.000, suivant la loi de la demi-période. On obtient 19 milliards d'années. Le potassium 40 ne peut avoir existé avant, sinon il y aurait une proportion plus grande de calcium 40. En plaçant à cette date sa formation, on remonte certainement assez haut, peut-être même trop haut.

Des calculs semblables ont été faits pour le rubidium 87, le samarium 152, le lutetium 176, qui se transforment respectivement en strontium 87, neodymium 148 et hafnium 176. Les dates ultimes de l'existence des premiers sont respectivement 19, 90 et 8 milliards d'années. Ils ne peuvent avoir existé avant sinon, de nouveau, les seconds seraient plus abondants qu'ils ne le sont.

On arrive ainsi à un moment où il n'existait pas de potassium 40, ni non plus de rubidium 87, de samarium 152, de lutetium 156, d'uranium 235. Il ne s'agit que de quelques éléments, mais il y a lieu de croire que ce qui vaut pour les uns s'applique aux autres, puisqu'il n'existe pas entre eux de différence radicale de structure et qu'on ne

voit pas les raisons pour lesquelles les uns existeraient de préférence aux autres. On objectera que ces déductions, basées sur des analyses et des observations terrestres, ne s'appliquent qu'à la terre. Mais celle-ci est un échantillon du soleil et par lui de la Galaxie et du monde. Il est raisonnable de penser que sa composition ne représente pas trop mal celle de l'univers. Et la conclusion générale sera que la science conduit à une époque où les éléments chimiques n'étaient pas encore formés.

Cette époque peut-on la dater? Des éléments différents donnent des dates différentes. Quelle est la bonne? Si l'on admet que tous les éléments se sont formés à peu près en même temps, l'âge qu'il faut prendre est l'âge minimum, celui que donne l'étude de l'uranium 235, soit 5,4 milliards d'années. On expliquerait alors que les autres conduisent à des durées différentes parce que tous les produits qu'ils donnent, le calcium 40, le strontium 87, etc., existaient déjà en partie à l'origine et ne proviennent pas intégralement de la décomposition des substances mères. Par contre, si l'on admet que les éléments ont été formés successivement, dans l'ordre de leur complexité, les chiffres précédents donnent les dates maximum de l'apparition des divers éléments, soit respectivement pour le potassium, le rubidium, le lutetium et l'uranium 19, 19, 8 et 5,4 milliards d'années. Dans tous les cas, il fut un temps où la structure atomique n'existait pas encore et cela remonte à moins de 100 milliards peut-être seulement à environ 5 milliards d'années.

Avant ce moment, la matière était sous une forme préatomique. Nous nous la représentons comme une substance gazeuse composée des particules, — protons, électrons, neutrons, — dont sont formés les atomes, ou simplement de neutrons, ou plus simplement encore comme un préatome. Les événements qui allaient la transformer en éléments, — hydrogène, fer, carbone... — n'avaient pas encore commencé; l'univers était en attente.

DEUXIEME PARTIE : LES THEORIES

Jusqu'à présent, l'observation a été notre guide principal. Elle nous a montré que l'univers est en évolution et qu'il y a dans sa vie des dates mémorables qui marquent le commencement de l'un ou l'autre de ses aspects fondamentaux. En particulier, nous avons daté l'origine de la terre et celles des étoiles, des galaxies et des atomes. Toutes ces découvertes capitales ne constituent pourtant, dans le problème de l'origine de l'univers, que des renseignements épars.

Quelques documents permettent à l'historien de décrire la vie d'un homme. A partir des observations de ses prédécesseurs, Kepler détermine la structure du système solaire et les lois qui y président. Ne

pourrait-on pas aussi, à partir des documents recueillis par l'observation, retracer l'histoire totale de l'évolution de l'univers, fixer la date de sa naissance, déterminer son état initial, décrire ses étapes principales ?

Divers essais ont été tentés en ce sens. Il semblerait, à première vue, que le principal fil directeur de ces tentatives doive être les résultats acquis par l'observation. Il n'en est rien. Ils n'y jouent que le rôle de jalons. Pour aborder le problème de l'univers, dans l'ensemble de son extension et de son évolution, les théoriciens partent de considérations générales portant sur tout son ensemble et permettant de le saisir intellectuellement tout entier, d'un seul regard.

Notre but n'est pas de faire l'histoire des cosmogonies. Nous ne nous intéressons à elles que pour autant qu'elles aient une valeur scientifique, dans le cadre actuel de la science, et puissent nous donner quelques renseignements de valeur sur l'origine de l'univers.

Les cosmogonies scientifiques actuelles sont inductives ou déductives. Les premières partent de la théorie de la relativité et de théories physiques. Elles les étendent, les extrapolent, dit-on, du domaine limité où elles ont été vérifiées, à l'univers tout entier. Les secondes déduisent l'univers et le construisent, presque entièrement à priori, à partir d'un principe général, le principe cosmologique. Dans les unes comme les autres, domine la même idée directrice de l'unité profonde de l'univers, à la fois dans l'espace et le temps, sans laquelle il semble bien que toute cosmogonie soit illusoire. Les premières découvrent l'expression de cette unité par extrapolation de la théorie de la relativité, les secondes la posent à priori.

COSMOGONIES RELATIVISTES

La théorie de la relativité recèle une possibilité d'aborder le problème de la figure et de l'évolution du monde. Pour elle, l'univers est caractérisé par une expression mathématique, son invariant dit-on, ou encore, avec plus de précision, son « d.s. carré », qui fixe sa structure générale. Son problème fondamental au sujet de l'univers est de trouver, selon ses méthodes, cet invariant, en tenant compte d'un certain nombre d'exigences.

Trois solutions, trois formules ont été proposées, et trois univers leur correspondent qui portent les noms de leurs auteurs : Einstein, de Sitter et Lemaître. Ce ne sont évidemment que des univers possibles. Ils présentent à la fois des traits communs et des différences marquées. Ils sont sphériques, finis et sans limite. Les deux premiers ont un rayon fixe, le troisième est en expansion et a par conséquent un rayon variable avec le temps. Dans les deux premiers, il n'est pas question d'évolution ; par contre celle-ci est essentielle au troisième.

La découverte de la récession des nébuleuses spirales devait fournir

un appui très considérable à la solution, de M. le chanoine Lemaître, d'un univers en expansion, et la faire accepter par une partie considérable du monde savant, comme une hypothèse satisfaisante en accord avec la réalité. Les deux autres sont considérées comme purement théoriques.

Un des traits fondamentaux de l'univers selon les conceptions relativistes est l'existence d'une force de répulsion, appelée force cosmique. Les expressions fondamentales, qui fixent la structure générale du monde, dépendent en effet de la matière et impliquent cette force à côté de l'attraction universelle des masses, découverte par Newton. Elle est proportionnelle à la distance et donc d'autant plus forte que celle-ci est plus grande.

Alors que ses prédécesseurs, Einstein et de Sitter, avaient considéré la force cosmique comme équilibrée, M. le chanoine Lemaître a admis que, dans le monde actuel, elle était partiellement dominante. Entre des objets relativement proches, elle est très faible, infiniment plus faible que l'attraction, qui donc l'emporte et règle, pratiquement seule, tous les phénomènes. Il en est ainsi dans le système solaire entre le soleil et les planètes, et aussi dans les galaxies entre étoiles, et encore parfois entre galaxies quand elles sont rassemblées en amas et assez proches les unes des autres. Entre galaxies éloignées, la force cosmique de répulsion est plus grande que l'attraction universelle, et ses effets l'emportent sur les siens.

La théorie de la relativité conduit donc à l'hypothèse d'un univers en expansion. Les galaxies qui le composent s'étalent et se dispersent comme le font les oiseaux d'une volière que l'on a ouverte. On essaiera de ne pas penser à un espace autre que l'univers dans lequel il se disperserait; ce serait sortir de ce qui existe. Il faut penser à une croissance intérieure; c'est son propre espace qui grandit. Par le fait même, l'univers a une histoire, celle de son expansion; il est dans le temps et le problème se pose de remonter de son état actuel à ceux qui l'ont précédé.

Histoire de l'univers. — Dans le cadre de la théorie de la relativité, en tenant compte des dates établies dans la première partie, on retrace comme suit la série des étapes successives de l'univers.

Origine. — Le monde a connu un état primitif. Tout au commencement, la totalité de la matière qui forme l'univers était rassemblée en un volume infime à l'échelle astronomique. Il n'y avait en elle ni vide, ni séparation; elle était une. L'espace qu'elle occupait avait les dimensions du système solaire, c'était le plus petit qu'elle put avoir.

M. le chanoine Lemaître conçoit cet état originel sous une forme atomique. L'univers tout entier était un unique atome, gigantesque : l'atome primitif. Il renfermait implicitement tous les atomes et tous

les corps célestes, parce qu'il contenait toute la matière dont ils allaient être formés et tous les mécanismes qui les feraient naître. D'autres ne spécifient pas la forme de la matière en son état initial. Ils considèrent simplement qu'elle se trouvait dans un état préatomique, précédant la subdivision en une multitude d'atomes et, peut-être aussi, celle en électrons, protons et neutrons.

En cette matière primitive, un événement initial se produisit, qui était le commencement de l'évolution de l'univers et devait l'amener progressivement à sa forme actuelle. M. le chanoine Lemaître le conçoit comme une explosion radioactive. Par un mécanisme propre, pour une raison interne qui tient à sa constitution et à son instabilité radicale, l'atome primitif se scinde violemment et projette ses morceaux. Ceux-ci font de même à leur tour et ainsi de suite. L'univers commence une expansion.

On peut vraisemblablement dater cet événement et le situer à 5 milliards d'années. Il marque l'origine du temps. Avant cet instant, il ne pouvait en être question, car dans la matière originelle, il n'avait ni signification, ni réalité, puisqu'aucun événement ni aucune horloge ne le marquait.

Evolution. — L'évolution de l'univers à partir de l'événement initial n'intéresse pas directement notre sujet. Il nous suffira d'en indiquer l'allure générale. Trois causes l'ont réglée : l'explosion initiale, les forces d'attraction mutuelle, la force cosmique.

Les forces explosives dépendent de la violence de l'événement initial, elles tendent à disperser l'univers. L'attraction, proportionnelle aux masses et inversement proportionnelle aux carrés des distances, s'oppose aux premières. Elle retient la matière et tend à la rassembler de nouveau. Elle décroît rapidement à mesure que l'expansion progresse. La force cosmique, proportionnelle à la distance, collabore avec les forces explosives pour dilater l'univers. Très faible au début de l'explosion, elle croît avec l'expansion.

L'évolution du monde a connu diverses étapes. D'abord la force cosmique fut pratiquement inexistante. Tout fut réglé par les deux premières forces. L'expansion provoquée par l'explosion connut sa violence primitive, puis, petit à petit, contrariée par l'attraction mutuelle, elle se ralentit progressivement.

Au cours de cette étape, les atomes se formèrent. Suivant les diverses opinions sur l'état originel, ce fut ou bien par émiettement de l'atome primitif, ou bien par agglomération de particules élémentaires. En même temps, les premières concentrations de matière apparaissaient plus ou moins accentuées. C'étaient, en leur état primitif, les galaxies. L'agitation tourbillonnaire intérieure les faisait naître, l'attraction en unissait définitivement les parties. L'expansion sans doute les séparerait les unes des autres mais jamais ne les désagrégerait. En chacune,

de nombreuses concentrations de faible dimension se formaient qui devenaient progressivement des étoiles.

Peu à peu, freiné continuellement par l'attraction, le mouvement d'expansion se ralentissait. Peu à peu aussi, à mesure que les distances augmentaient, la force cosmique manifestait son existence. Plus faible que l'attraction mutuelle, elle n'avait d'autre effet que de diminuer son action, en s'opposant partiellement au ralentissement, mais elle le faisait toujours plus fort.

Un moment vint où la force répulsive fut exactement égale à la force d'attraction, puis la dépassa. Cet instant fut déterminant dans l'histoire de l'univers, comme l'est, dans une expédition, le dépassement d'un sommet. Si la force attractive avait pu empêcher cet événement de se produire, c'est elle qui aurait dominé. Après avoir arrêté le monde dans son expansion, elle l'aurait par la suite recroquevillé sur lui-même et ramené à son état primitif de condensation extrême. L'histoire de l'univers aurait été tout autre.

On estime que cet événement s'est produit deux milliards d'années après l'explosion, il y a de cela trois ou quatre milliards d'années. L'univers avait à ce moment un diamètre d'un milliard d'années de lumière. Sa structure était fort semblable à ce qu'elle est aujourd'hui, les galaxies étaient séparées les unes des autres, la plupart des étoiles étaient formées et le soleil avait déjà son cortège de planètes. Seulement les distances entre galaxies étaient dix fois plus faibles qu'elles ne le sont maintenant.

Depuis lors, la force cosmique règne définitivement dans le royaume des galaxies. Elle lui impose sa loi d'une expansion toujours plus accélérée et règle, si pas la vie intérieure, du moins les mouvements et les dispositions mutuelles des agglomérations stellaires. L'univers grandit, son rayon est décuplé par rapport à ce qu'il était au commencement de ce règne et atteint dix milliards d'années de lumière. Demain, il grandira encore et ainsi tous les jours jusqu'à la fin du monde.

COSMOGONIES DÉDUCTIVES

Il existe un second groupe de cosmogonies théoriques, les cosmogonies déductives. Deux d'entre elles, la théorie cinématique de Milne et la théorie de la création continue de Bondi, retiendront un instant notre attention.

Milne a édifié une cosmogonie en s'appuyant uniquement sur un principe qu'il appelle principe cosmologique, dont le contenu fondamental est que l'univers est homogène et que ses différentes régions ont une constitution identique. Un point de départ aussi général, à première vue aussi vague, semble être insuffisant pour l'édification d'une vue cohérente et rationnelle du monde. Les travaux de Milne répondent qu'il n'en est pas ainsi. Nous ne suivrons pas l'auteur dans

le détail de ses constructions logiques. Il suffit de noter que l'univers réel semble s'accorder pas mal à elles, en beaucoup de points.

Pour ce qui concerne la question ici traitée, notons que l'univers de Milne est contenu dans une sphère en expansion. Les éléments dont il est constitué sont animés de mouvements de récession; il fut un moment où il était réduit à un point. Il comporte ainsi un instant qui se présente comme un zéro naturel et par conséquent une origine du temps.

Dans la théorie de Milne, le principe cosmologique n'atteint pas toute la généralité dont il est susceptible; l'homogénéité qu'il formule ne concerne que l'espace; elle pourrait aussi concerner le temps. Il revient à un groupe d'astrophysiciens anglais, Bondi, Gold et Hoyle d'avoir envisagé un principe cosmologique d'extension maximum, parfait comme ils disent, et d'en avoir déduit une cosmogonie. Voici comment ils le formulent. L'aspect général de l'univers est non seulement indépendant de la position de l'observateur, mais aussi du moment où se fait l'observation.

Le principe cosmologique dans cette forme parfaite définit un univers et en fixe les propriétés fondamentales. Trois caractères le marquent : il est en expansion, la densité de la matière y reste en moyenne constante, sans subir de variation définitive, il est le siège d'une création continue de matière. Ce troisième caractère n'est en somme qu'une conclusion des deux premiers, car ce n'est qu'en compensant la diminution de densité, due à la dilatation, par une constante apparition de matière nouvellement créée, qu'un univers en expansion peut conserver un aspect permanent.

La création permanente est un élément tout à fait nouveau dans le domaine des cosmogonies scientifiques, et entraîne de nombreuses conséquences. Elle se produit partout dans l'univers, aucune région n'est exclue. Actuellement sa vitesse, pour l'univers observable, est d'environ cent mille milliards de milliards de milliards de tonnes par seconde, la matière de quelques milliers de soleils. Absolument parlant, cette quantité est énorme; relativement au volume où elle apparaît, elle est très petite. Les auteurs, qui sont anglais, précisent qu'elle n'est pas, pour un volume de la dimension de la cathédrale Saint-Paul de Londres, de un atome par an.

L'univers présentera toujours le même aspect, parce que la raréfaction que produit l'expansion sera toujours compensée par une nouvelle matière. Les galaxies se fuient, l'espace qui les sépare grandit sans cesse. Mais, dans cet espace, constamment de la matière naît. Il arrivera un moment où elle sera assez abondante pour qu'une condensation s'amorce et le noyau d'une nouvelle galaxie apparaîtra. Par apport des atomes constamment créés, elle grandira, prendra une importance toujours plus grande. En elle, des étoiles se formeront qui évolueront suivant la voie normale et elle revêtira peu à peu l'aspect

de notre Galaxie. L'espace qui la sépare de ses voisines grandira à son tour et de nouvelles galaxies y apparaîtront et ainsi de suite. Le monde sera perpétuellement un milieu en expansion, où naîtront sans cesse de nouvelles galaxies. Comme les nuages jaillissent de l'horizon et prennent la place de ceux qui ont fui, ainsi les galaxies sortent du néant et occupent les vides créés par la fuite des autres.

La théorie de la création continue ne pose ni origine du temps ni catastrophe initiale. Arrêtons-nous un instant devant un chêne majestueux de nos forêts ; faisons-lui, par la pensée et l'imagination, remonter son passé ; demandons-nous ce qu'il était, il y a un, deux, dix, cent ans. Nous voyons son sommet s'abaisser, son tronc s'amincir toujours plus. Bientôt ce n'est plus qu'un tout petit chêne, puis un germe sortant d'un gland, puis un gland et finalement plus rien. Ainsi en est-il de toute galaxie et en particulier de celle que nous habitons. Arrêtons-nous devant l'une d'entre elles et, par la pensée et l'imagination, parcourons son passé. A mesure que nous remontons plus haut, la matière rentre dans le néant, au rythme inverse de son apparition. Il fut un moment où elle n'était que le dixième, le centième, le millième de ce qu'elle est aujourd'hui. Ses voisines elles-mêmes, autant de fois moindres, étaient dix fois plus proches d'elle. Elle n'était alors qu'un nuage de matière en train de se condenser où les étoiles n'existaient pas encore. Plus nous remontons, plus ce nuage s'amincit, il devient tout petit, puis finalement il n'est plus rien. Toute la galaxie était alors dans le néant. Pour certaines galaxies la date de naissance remonte à un milliard d'années, pour d'autres davantage, pour la nôtre à 5 ou 10 milliards d'années. Avant, il y avait d'autres galaxies plus anciennes, déjà en mouvement d'expansion, et c'est dans leurs intervalles grandissant que la nôtre et celles qui sont du même âge sont apparues, comme elles-mêmes étaient apparues dans les intervalles de plus vieilles.

En décrivant cet univers, nous pensons à un prestidigitateur qui tiendrait dans ses mains quelques cartes qu'il ferait grandir sans cesse et parmi lesquelles il ferait, sans cesse aussi, apparaître de nouvelles cartes.

*

* *

CONCLUSIONS

1. — De cet exposé nous retiendrons d'abord une conclusion principale. Actuellement la question du passé lointain de l'univers, jusqu'à ses origines, est abordée d'une manière scientifique, en s'appuyant sur des faits et des lois parfaitement établies, celles de la mécanique, de la relativité, de la statistique, de la physique, de la radioactivité surtout. Chaque année, l'appareil scientifique, théories et observations, qui est à la base des recherches devient plus vaste.

2. — La question, disons-nous, est abordée, elle n'est pas tranchée. A toutes les affirmations et déductions des savants, il convient de mettre un point d'interrogation, parfois plusieurs. Les divergences sont déjà, à elles seules, une invitation à la réserve.

La cosmogonie est un domaine excessivement intéressant, plein de promesses, et cependant encore très hypothétique de la science. Elle est à ses débuts et tâtonne souvent. Les savants ne prétendent nous montrer qu'une ébauche et encore, ils sont prêts à l'effacer, s'il le fallait, pour la remplacer par une autre. Ils croient tout de même à sa valeur et pensent qu'on ne devra pas en effacer les traits principaux.

Dans un livre de haute vulgarisation, G. de Vaucouleurs écrit : « les hypothèses cosmogoniques qui ont déjà vu le jour sont innombrables, depuis les cosmogonies naïves des temps antiques et du moyen âge, jusqu'aux spéculations de notre époque. Aucune n'a survécu et soyons persuadés que les théories actuelles sont appelées, dans un avenir plus ou moins proche, à subir le même sort. Mais elles marquent un moment de la pensée humaine et, à ce titre, valent tout de même d'être prises en considération ». Cette opinion nous paraît trop négative ; l'auteur lui-même d'ailleurs la corrige en ajoutant : « toutefois le fief des hypothèses gratuites a déjà été quelque peu réduit et différents problèmes ressortent actuellement du domaine très positif de la physique. »

Plusieurs savants évitent de trop préciser leurs conclusions. Ils préfèrent remplacer l'expression « âge de l'univers » par cette autre : « échelle des temps cosmiques », à laquelle ils attribuent la signification un peu vague d'une durée suffisamment représentative de l'évolution de l'univers.

A propos des théories de M. le chanoine Lemaître, M. P. Javet écrit : « L'auteur d'une cosmogonie peut-il prétendre que son hypothèse est exacte ? Certainement pas ; car d'une part, la théorie qu'il a construite ne permet pas de retrouver tous les caractères de l'univers réel, et, d'autre part, il n'est pas exclu, du moins à priori, qu'une autre hypothèse ne puisse conduire aux mêmes conclusions, ou à des conclusions peu différentes. Ainsi on ne peut dire qu'une hypothèse cosmique est vraie ou fausse. Elle est plus ou moins heureuse, suivant qu'elle rend plus ou moins bien compte de propriétés de l'univers. »

3. — La valeur de ces recherches et de leurs conclusions est évidemment celle des faits sur lesquels elles s'appuyent et des méthodes de déduction qu'on leur applique. Les faits ne sont parfois qu'imparfaitement connus et l'on se demande souvent si l'extension, l'extrapolation comme disent les spécialistes, des lois physiques et mécaniques à un objet aussi vaste et aussi total que l'univers, qui surclasse tout autre, est bien légitime.

Les hypothèses sont de moins en moins garanties, les preuves de-

viennent de plus en plus imprécises à mesure qu'il s'agit d'un domaine plus étendu et d'objets plus lointains et plus primitifs. Il semble qu'on peut accepter sans hésitation l'âge de la terre, mais une prudence de plus en plus grande s'impose pour celui des étoiles, des galaxies et des atomes. Notons pourtant que la convergence des dates obtenues par des voies diverses est une garantie d'exactitude.

Nous donnerons aux conclusions diverses de ces recherches l'adhésion réservée et la confiance prudente qu'on accorde à une entreprise sérieuse et audacieuse en cours de route. Leur rejet total serait déraison; une confiance absolue, naïveté. Si elles ne sont pas la solution définitive, elles sont tout de même une étape qui y conduit.

4. — Pour la plupart des astrophysiciens, la structure actuelle de l'univers a eu un commencement. Son étude nous conduit à un moment où il n'y avait ni terre, ni planètes, ni soleil, ni étoiles, ni nuées interstellaires, ni galaxies, ni molécules, ni atomes. A ce moment, l'univers était beaucoup plus petit qu'il ne l'est aujourd'hui. Il contenait déjà toute la matière qu'il a maintenant, mais elle n'avait pas encore sa forme.

5. — De ce commencement, on fixe, provisoirement et approximativement, la date. Il s'est produit il y a quelque 5 milliards d'années.

On s'attendait autrefois, à priori, à ce que la terre soit nettement plus jeune que le soleil, d'un âge plusieurs fois moindre, comme un enfant est plus jeune que son père. On a changé d'avis : la naissance de la terre et des planètes solaires remonte presque à l'origine du soleil. On imaginait aussi que les galaxies comme telles étaient antérieures aux étoiles, et que les éléments chimiques précédaient de beaucoup les galaxies, erreur encore. Les dates de naissance de la terre, du soleil, des étoiles, des galaxies, des éléments chimiques sont très proches les unes des autres, et semblent même parfois presque se confondre.

On attribuait alors à l'univers quelque dix mille milliards d'années, mille fois plus qu'actuellement. L'argument principal en faveur de cette opinion était l'état d'équipartition de l'énergie cinétique que les données qu'on possédait semblaient indiquer. Comme on l'a dit, de nouvelles observations et une meilleure utilisation des données anciennes ont montré que l'argument était faux et la conclusion non fondée.

6. — Le commencement auquel nous conduit la science était-il celui de la matière, sa naissance, sa création, sa sortie du néant à l'appel de Dieu, ou seulement celui de sa structure actuelle? Est-il absolu ou relatif?

La science comme telle ne répond pas à cette question. Nous rencontrons bien sous la plume des savants le mot création. Il ne faudrait pourtant pas lui donner là le sens philosophique et religieux que nous lui attribuons.

Pour certains d'entre eux, en tant que savants, la création ou le commencement est un point singulier au bord du royaume de la science physique. Toute question relative à ce qui a précédé ce commencement et à sa nature ne peut pas être résolue par la physique et ne la regarde pas. Pour d'autres le commencement est un état particulièrement simple, le plus simple, le plus harmonieux, le plus permanent qu'il soit possible d'imaginer. Comme une semence contient en elle toute une plante, il recélait en lui le germe de ses croissances et de son évolution, qui à un moment donné manifesterait sa présence et le lancerait dans son aventure.

Pour la science, l'insuffisance d'un présent, le fait de ne pas exister par soi-même, se traduit dans l'affirmation d'un antécédent. Ainsi agit-elle pour l'univers. Avant tout instant ou tout état, même celui qu'elle qualifie d'initial, elle en cherche un autre qui précède, elle le cherchera toujours. La simple pensée qu'il pourrait exister justifie sa démarche. Ne pas le rechercher serait, s'il existe, une défaillance de l'esprit humain devant lui-même et devant l'œuvre créatrice de Dieu, un manque de réponse à l'appel qu'elle contient à l'effort intellectuel. L'homme se doit de ne trouver l'action créatrice originelle que là où elle est.

La science ne répond pas à toutes les questions et son point de vue sur le monde n'est pas parfaitement adéquat. Elle nous donne une vue qui en prépare d'autres. Sa manière propre de chercher et de trouver Dieu n'est pas celle de la philosophie et de la religion. Son sort est de ne trouver jamais un monde qui se suffise à lui-même et de chercher toujours ce qu'il fut avant. Si l'instant initial, dont nous venons d'établir plus ou moins l'existence, devait se montrer perpétuellement infranchissable, il serait pour le savant le perpétuel appel à la considération du Créateur. Si on le franchit, la marche nouvelle vers le passé sera encore une réponse de l'homme à l'appel du Créateur et une affirmation de la création.

Au commencement était Dieu et le monde a été fait par lui. « L'esprit investigateur jamais satisfait du savant, sous une poussée incoercible, s'élance sur les traces des transformations radioactives, de l'évolution stellaire et des galaxies en fuite dans l'espace. Il refait à l'envers le parcours qu'elles ont suivi pendant les milliards d'années du temps passé et devient ainsi comme le spectateur des processus cosmiques qui se sont déroulés au premier matin de la création [1]. » Ce magnifique effort est au service du Créateur. Notre espoir est que ces succès d'aujourd'hui servent de base à de nouvelles recherches, qui nous fassent toujours mieux pénétrer l'œuvre de Dieu et soient à la louange de sa gloire.

Namur. V. MERSCH, S. J.
Faculté des Sciences N.D. de la Paix.

1. Allocution de Pie XII aux astronomes, 7-9-52. Cfr *N.R.Th.*, 1953, p. 76-78.