Extrait de la *Revue des Questions scientifiques*, 20 juillet 1948

PUBLICATIONS DU LABORATOIRE D'ASTRONOMIE
ET DE GÉOMÉTRIE DE L'UNIVERSITÉ DE
LOUVAIN

N° 110

L'hypothèse de l'atome primitif

Un des portraits qui nous est parvenu du philosophe et mathématicien *René Descartes* est accompagné d'une devise qu'il paraît convenable de rappeler au début de cet exposé : *Mundus est fabula*. Le monde est une belle histoire que chaque génération s'efforce d'améliorer. Les tourbillons de Descartes n'ont pas survécu aux progrès des sciences; peut-être pourtant reste-t-il quelque chose de l'attitude mentale qui faisait dire à Descartes « *Mundus est fabula* » dans ce que *Poincaré* appelait plus tard les hypothèses cosmogoniques, par lesquelles l'homme ne peut s'empêcher d'essayer de se raconter l'histoire de l'univers et de reconstituer son évolution passée.

Le problème cosmogonique a commencé à se poser d'une manière, lorsque, à la suite des recherches de *Galilée* puis de *Newton*, les lois de la mécanique ont été découvertes. L'existence de ces lois a enlevé, dans une certaine mesure, l'arbitraire qui avait jusque là régné dans les conceptions cosmogoniques. Pour la mécanique l'évolution d'un système matériel est entièrement déterminée, et peut se calculer, lorsqu'on connaît ce que les mathématiciens appellent les conditions initiales; et le but de la cosmogonie est de trouver des conditions initiales présentant quelque caractère de simplicité et telles que l'univers actuel a pu en résulter par le simple jeu des lois connues.

Assurément on peut se demander si les lois, qui sont valables à l'endroit où nous sommes et à l'époque où

nous vivons, sont encore valables au loin, là où nous ne pouvons penser en entreprendre la vérification, et si elles ont eu cours dans le lointain passé. Le problème cosmogonique peut être abordé dans des dispositions d'esprit les plus diverses. Ceux dont la disposition d'esprit est surtout de ne jamais rien admettre qui ne soit absolument certain feront sans doute mieux d'y renoncer. Aborder le problème cosmogonique comporte nécessairement un certain risque. Ce n'est pas seulement le risque de perdre son temps à essayer de résoudre un problème qui pourrait être insoluble, c'est aussi le danger de s'égarer. Mais ce risque n'est-il pas amplement compensé par l'espoir d'arriver à une solution, à une conception du monde dans toute son étendue actuelle et dans toute la durée de son évolution passée, conception dont la validité pourrait peut-être s'étayer sur quelque confirmation expérimentale ?

En essayant de vous expliquer l'hypothèse de l'atome primitif, je chercherai à vous faire comprendre en quoi elle consiste, plutôt que de discuter la portée exacte des arguments qui l'étayent. Je pense d'ailleurs qu'une conclusion définitive ne peut être apportée à l'heure actuelle, et qu'une telle conclusion dépendra du résultat de calculs difficiles qui n'ont pas encore pu être effectués et dont dépend la confrontation de l'hypothèse avec des faits expérimentaux. Ceux-ci la confirmeront peut-être, ou peut-être aussi lui feront-ils partager le sort des tourbillons de *Descartes* et de beaucoup d'autres hypothèses oubliées.

Après la mécanique, c'est naturellement l'astronomie qui apporte à notre problème la contribution la plus essentielle, en nous décrivant quel est l'état présent du monde autour de nous.

De même que *Copernic*, lançant la terre dans l'espace, nous avait appris que le lieu de l'intelligence n'était qu'un gros caillou tournant avec quelques autres autour de

l'astre incomparable, au centre de notre système, le soleil ; d'une façon semblable les progrès ultérieurs nous ont appris que le soleil, n'est qu'une étoile parmi beaucoup d'autres. C'est même une étoile classée parmi les naines, une dizaine de fois moins massive et des milliers de fois moins brillante que certaines autres étoiles, dites géantes.

L'étoile la plus proche est située à quatre années de lumière, distance bien grande si on pense que la lumière ne met que huit minutes, pour parcourir les cent-cinquante millions de kilomètres qui nous séparent du soleil.

Le nombre d'étoiles qui peuvent être aperçues dans les grands télescopes est d'un milliard environ, et leur répartition entre les diverses magnitudes, par lesquelles on mesure leur éclat, permet d'estimer leur nombre total à près de cent milliards, avec une masse totale de cent milliards de fois celle du soleil.

Ces étoiles forment avec des nébuleuses qui leur sont associées ce qu'on appelle la galaxie, et ces nébuleuses sont dites des nébuleuses galactiques, c'est-à-dire faisant partie de la galaxie.

La galaxie est un système aplati et la voie lactée, d'où lui vient son nom, est formée des régions les plus lointaines, vues de l'intérieur, suivant le plan de symétrie du système. Il s'y présente une grande accumulation d'étoiles et de nébuleuses galactiques, qui fait tout le tour du ciel.

La galaxie est animée d'un mouvement de rotation autour d'un centre situé à trente mille années environ. La vitesse du soleil autour de ce centre est de trois cents kilomètres par seconde, vitesse grande, au point de vue astronomique, puisqu'elle est dix fois celle de la terre autour du soleil ou quinze fois celle du soleil par rapport aux étoiles qui l'entourent.

En dehors de la galaxie, il existe des galaxies. Le mot galaxie est donc employé comme un nom propre pour désigner le système d'étoiles dont nous venons de parler,

il est employé comme nom commun pour désigner des systèmes semblables à celui-ci, mais situés en dehors de lui. On comprend ainsi comment ces galaxies sont aussi appelées des nébuleuses extra-galactiques de même que l'on peut dire que les étoiles sont des soleils situés en dehors du système solaire.

Les plus proches des nébuleuses extra-galactiques sont les nuées de Magellan, puis la grande nébuleuse d'Andromède; elles forment avec quelques autres ce qu'on appelle l'amas local et notre galaxie en fait partie.

Plus loin, on observe d'autres nébuleuses, réduction en petit et en moins brillant de ces grandes nébuleuses. Ce sont, en fait, des objets semblables mais situés plus loin. On en observe jusqu'à une distance estimée à près d'un milliard d'années. Ces nébuleuses sont situées à des distances mutuelles de un million et demi d'années; leur distribution présente de grandes fluctuations de densité, mais sans aucune tendance à une diminution de densité dans les régions extérieures, de telle façon qu'il n'y a aucune indication que nous soyons parvenus à la limite du système des nébuleuses comme nous sommes parvenus à observer la région extérieure de la galaxie, là où les étoiles commencent à se raréfier.

En outre des simples fluctuations dans la distribution des nébuleuses extra-galactiques, il existe de véritables amas de nébuleuses, où plusieurs centaines de nébuleuses sont rassemblées à des distances une dizaine de fois moins grandes que leur distance normale.

Ces amas ont, d'un point de vue technique, joué un rôle essentiel pour l'étude des nébuleuses, puisqu'ils nous présentent plusieurs centaines d'objets situés à la même distance de nous. Ils ont, entre autres, montré qu'il est très rare d'observer une nébuleuse dix fois plus brillante ou dix fois moins brillante que la moyenne, tandis que cela est courant pour des étoiles. La détermination des distances relatives des nébuleuses, et surtout

des amas de nébuleuses, est donc comparativement un problème facile.

A en juger par la position des raies de leur spectre, les nébuleuses sont animées de vitesses extrêmement grandes. Dans l'amas le plus proche, celui de *Virgo*, les vitesses observées s'échelonnent de zéro jusque trois mille kilomètres par seconde. En outre de cette grande dispersion des vitesses dans un même amas, il y a un mouvement moyen d'éloignement qui est d'autant plus grand que la distance de l'amas est plus grande.

Un phénomène semblable s'observe pour les nébuleuses isolées. La vitesse d'éloignement est telle quelle suffisait pour parcourir la distance qui nous sépare de la nébuleuse en question en deux milliards d'années.

C'est en cela que consiste l'expansion du système des nébuleuses ou expansion de l'univers.

Si l'astronomie et la mécanique céleste ont une part essentielle pour poser le problème cosmogonique il est une troisième science qui lui apporte une contribution importante, c'est la physique.

La matière est radioactive. La radioactivité est un phénomène de grande importance au point de vue cosmogonique, parce que c'est un phénomène qui s'épuise et donc un phénomène qui a dû être plus important jadis.

Le radium disparaît de moitié en seize cents ans. Si nous pouvons encore trouver du radium sur notre vieille terre, c'est parce qu'il existe un corps radioactif de vie plus longue, l'ancêtre du radium, l'uranium. Celui-ci s'épuise de moitié en 4,4 milliard d'années, en donnant lieu à toute une série de produits parmi lesquels se trouve le radium.

Laissant de côté les détails de ces transformations on peut dire que finalement l'uranium s'est brisé en un atome de plomb et huit atomes d'hélium. Ces derniers sont éjectés avec de grandes vitesses et constituent les rayons alpha.

S'il existait un minerai d'uranium vieux de quatre milliards d'années, il devrait contenir autant de plomb que d'uranium. Un tel minerai n'existe pas. On conçoit que l'observation de la teneur en plomb des minerais d'uranium trouvés dans les diverses couches géologiques puisse fixer la durée de celles-ci; on trouve ainsi qu'il y a des roches vieilles de deux milliards d'années.

Mais l'uranium lui-même, d'où vient-il ? A-t-il lui-même un parent disparu ? Existe-t-il depuis beaucoup plus que quatre milliards d'années. Mais alors qu'est devenu le plomb produit ? Il n'y a pas beaucoup plus de plomb que d'uranium.

Plus récemment il est apparu que la radioactivité, loin d'être un phénomène spécial à quelques familles de corps, était un phénomène tout à fait général.

Il n'y a pas que le plomb qui soit un élément stable produit par la désintégration d'un corps radioactif. A côté de la radioactivité naturelle existe la radioactivité artificielle qui montre que tous les corps stables ont pu être le produit de la désintégration de corps radioactifs qu'il est possible de produire artificiellement. Ces corps n'existent plus, sans doute parce qu'il n'y a pas dans leur ascendance un ancêtre tel que l'uranium ayant une vie moyenne suffisante, mais on peut artificiellement leur faire parcourir en sens inverse, les derniers stades que parcourent encore les éléments des familles radioactives naturelles.

L'hypothèse suivant laquelle tous les corps actuels résultent de transformations radioactives a donc trouvé récemment une certaine base expérimentale.

Cette hypothèse a pourtant été proposée alors que ces faits expérimentaux n'étaient pas encore connus, en partant de considérations d'une autre nature.

On sait que, si l'énergie se conserve en quantité totale, elle a pourtant une tendance à se dégrader, c'est-à-dire à se modifier d'une façon unilatérale de telle façon qu'une

certaine quantité, « l'entropie », augmente dans tout système fermé.

Le cas le plus simple et le plus fondamental est celui où on applique ces notions à des radiations de corps noirs accompagnés du minimum de matière nécessaire pour réaliser les équilibres thermodynamiques.

On trouve dans ce cas, que l'entropie de la radiation noire est mesurée par le nombre de photons qui la constitue, et que lors des mélanges irréversibles, l'énergie, dont le montant est demeuré le même, s'est répartie en un nombre plus grand de paquets élémentaires, de quanta, de photons distincts.

Au point de vue quantique, le principe de dégradation de l'énergie apparaît donc comme un principe de pulvérisation de l'énergie.

Les transformations radioactives fournissent un autre exemple de transformations irréversibles, où un noyau atomique se brise en neuf fragments; pulvérisation de l'énergie primitivement condensée.

Ces deux exemples extrêmes permettent d'affirmer que la transposition en langage quantique du principe de la dégradation de l'énergie, c'est que la matière existe par paquets d'énergie ou quanta distincts et que, dans le jeu naturel des transformations, l'énergie totale toujours la même se trouve finalement répartie en un nombre toujours croissant de fragments.

Envisageant une origine photonique de la matière, *Jeans* a suggéré ainsi comme un commencement possible, de la radiation électromagnétique de très courte longueur d'onde, cela présenterait sans doute, dit-il, les possibilités nécessaires. Mais, qui dit très courte longueur d'onde, dit grande fréquence, et puisque l'énergie individuelle des photons est proportionnelle à leur fréquence, photons de grande énergie individuelle et donc en petit nombre.

Ces considérations conduisent à envisager comme condition initiale d'où l'univers actuel à pu évoluer par le

jeu des lois physiques et mécaniques connues, ce que j'ai appelé *l'hypothèse de l'atome primitif*.

D'après cette hypothèse, l'univers aurait commencé dans un état où l'énergie totale était concentrée en un seul quantum, en un seul paquet d'énergie qui ne peut se représenter autrement que comme un noyau atomique.

La tendance de la matière à se pulvériser ne serait ici autre chose que l'instabilité radioactive de l'atome primitif ; les fragments, eux-mêmes radioactifs, se désintègreraient à leur tour comme le font les membres successifs des familles naturelles de corps radioactifs. La fragmentation s'est arrêtée lorsqu'on en arrive aux éléments stables, ou à des corps de longue vie moyenne, comme l'uranium.

L'atome primitif ne doit pas être considéré comme un trans-uranien. Ce peut être un isotope de masse extrêmement grande des corps actuels et même, plus probablement, du neutron.

Il existe actuellement une tendance à conférer aux noyaux atomiques une certaine structure et une certaine complexité. La physique du noyau est encore dans l'enfance, et il ne semble pas établi que le noyau soit réellement un complexe de particules élémentaires. Pourtant si cette tendance devait prévaloir, il suffirait de considérer l'atome primitif comme réalisant un maximum de concentration et minimum d'entropie. On serait sans doute amené à lui donner un rayon qui ne serait pas tout à fait nul, mais qui aurait quelques minutes de lumière et donc, astronomiquement parlant, serait tout à fait négligeable en face des dimensions actuelles de l'univers.

Une hypothèse comme celle de l'atome primitif se heurte à des objections, qui, à première vue, paraissent devoir lui être fatales.

Tout d'abord, où était-il, cet atome, lors de sa désintégration et comment comprendre qu'ayant à l'origine un phénomène aussi strictement localisé, on puisse obte-

nir finalement un univers que les observations astronomiques montrent être globalement homogène.

Une deuxième difficulté est causée par le rayonnement dont sont accompagnées les transformations radioactives, rayonnement qui ne peut manquer de s'être produit et sans doute, avec une énergie bien plus grande encore, pour les transformations qui ont dû mettre en jeu des masses atomiques fort considérables. Qu'est devenu ce rayonnement, ne devrait-on pas l'observer ?

Enfin, troisième difficulté, comment concevoir, que, partant de la désintégration primitive, on obtienne, en un temps qui ne soit pas beaucoup plus grand que celui de la vie moyenne de l'uranium, l'univers actuel formé d'étoiles organisées en galaxies.

Nous allons essayer d'expliquer comment ces trois difficultés se résolvent.

La première s'explique par les conceptions géométriques introduites en 1854 par *Riemann*. Riemann a fait la remarque très simple qu'il n'existe aucune connexion logique entre les deux notions suivantes : celle d'un volume de mesure finie et celle d'une étendue limitée par une frontière qui la sépare d'une étendue extérieure. La connexion que le « bon sens » établit entre ces deux notions, logiquement indépendantes, est due uniquement à l'intuition géométrique que nous acquérons dans les expériences géométriques sur lesquelles se fonde notre bon sens. En d'autres termes nous rejetons la possibilité d'un espace sans borne qui ait pourtant un volume fini, non pas pour ce qui serait absurde mais parce que nous n'avons jamais rien vu de semblable.

Comme nous n'avons aucune intuition directe d'un espace de millions ou de milliards d'années de lumière, et comme les propriétés géométriques peuvent très bien dépendre de leurs dimensions, de telle façon que la similitude géométrique ne serait qu'une approximation pour des figures très petites, les seules que nous connaissons

directement, il se pourrait très bien que l'espace réel soit de volume fini et n'ait pas de frontière.

Nous pourrions ainsi concevoir, qu'en portant dans toutes directions une longueur, mettons de dix milliards d'années de lumière, nous aurions rencontré sur l'un ou l'autre de ces rayons, menés en toutes directions, toutes les nébuleuses qui existent. En dehors de l'espace ainsi délimité, il n'y a rien. Mais alors, me direz-vous, qu'arrivera-t-il si nous voulons prolonger un de ces rayons de dix milliards d'années-lumière. La solution des géomètres est la suivante: ce rayon butte par son extrémité contre l'extrémité du rayon semblable mené dans la direction opposée. Il est impossible de s'imaginer cela avec une imagination qui n'a pu s'entraîner que dans des volumes minuscules à l'échelle humaine. Mais il n'y a aucune difficulté à concevoir que deux émissaires parcourant dix milliards d'années-lumière dans les deux directions opposées se trouvent finalement nez à nez. Si nous représentons en petit à l'échelle humaine ce que nous venons d'affirmer pour l'espace total, nous sommes conduits à représenter tout l'espace à l'intérieur d'une petite sphère; a une frontière, mais sur cette frontière les points réels sont représentés deux fois, comme sur un planisphère les points du cent quatre-vingtième méridien sont représentés deux fois aux deux bords de la carte.

Notre carte sphérique de l'espace est limitée par une frontière, bord de la carte. Quand nous atteignons ce bord et semblons forcés de sortir de la carte si nous voulons continuer à avancer, il suffit de nous rappeler que ce point du bord que nous atteignons est aussi représenté au point opposé de la sphère, nous pouvons donc en passant à cette autre représentation du même point, continuer le voyage en cheminant vers l'intérieur.

La ligne droite formée des deux rayons opposés de dix milliards d'années lumière est donc soudée en une seule ligne fermée, ayant comme longueur totale, ou

«tour de la droite» vingt ou trente milliards d'années-lumière. Pour des raisons techniques on désigne sous le nom de rayon de l'espace le tiers du tour de la droite.

Il est concevable que le tour de la droite, ou ce qui revient au même le rayon de l'espace, varie avec le temps. On obtient alors ce que l'on appelle un espace de rayon variable. Supposons que le rayon augmente avec le temps. Les nébuleuses qui sont réparties dans l'espace et le remplissent uniformément vont donc se séparer les unes des autres. Si, par exemple, sur le tour d'une droite sont alignées vingt mille nébuleuses qui divisent cette droite en parties égales, alors, lorsque la longueur de la droite augmente, il faut bien que la distance des nébuleuses individuelles augmente dans le même rapport. Nous retrouvons le phénomène astronomique de la dilatation du système des nébuleuses, et nous l'interprétons maintenant comme une indication de ce que le rayon fini de l'espace est en train d'augmenter.

Jadis, le rayon de l'espace a été plus petit. Rien ne nous empêche de supposer qu'au moment où l'atome primitif s'est désintégré, le rayon de l'espace était extrêmement petit, de telle façon que cet atome, que nous nous sommes représenté comme n'ayant qu'une dizaine de minutes de lumière de rayon, remplissait tout l'espace, le rayon de celui-ci n'étant pas plus grand. Astronomiquement parlant, nous dirons que le rayon de l'espace part de zéro, au moment où l'atome commence à se désagréger. Les fragments résultant de cette désintégration peuvent donc remplir uniformément l'espace de rayon croissant et lorsque la désintégration progresse et que le rayon s'accroît, la matière continue à remplir uniformément tout l'espace. On conçoit donc comment de la désintégration de l'atome primitif, peut résulter un univers globalement homogène.

Telle est l'explication de la première difficulté.

La deuxième difficulté est relative à ce qui est advenu

du rayonnement émis lors des désintégrations successives.

Tout d'abord, on peut montrer que l'intensité de ce rayonnement est réduite dans un rapport égal à celui du rayon de l'espace à l'instant d'émission, au rayon à l'instant de l'observation.

Les tout premiers rayons sont donc perdus pour l'observation, les rayons qui nous parviennent correspondent à un compromis entre l'énergie d'émission qui a sans doute diminué au fur et à mesure que s'avancait la fragmentation et le facteur de réduction qui augmentait au fur et à mesure qu'augmentait le rayon de l'espace.

Il semble que ce rayonnement puisse être identifié avec les rayons cosmiques. Ceci est en accord avec la qualité des rayons cosmiques, dont une partie au moins a une intensité individuelle qui dépasse tout phénomène, même nucléaire, actuellement existant. Ceci semble indiquer qu'il correspond à des phénomènes actuellement épuisés.

Au point de vue quantitatif, on doit comparer l'intensité totale des rayons cosmiques à celle de toute la matière, puisque c'est toute la matière, qui est actuellement organisée en étoiles, que leur a donné naissance jadis.

Einstein a montré que l'énergie est équivalente à la matière, et a donné une formule simple qui permet de dire combien de grammes pèse, l'unité d'énergie un erg. On peut donc transformer en grammes par centimètre cube les chiffres donnés par les physiciens pour l'intensité du rayonnement cosmique en ergs par centimètres carrés. (il faut diviser par c^3). On trouve 10^{-34} gramme par cm^3 , d'autre part on trouve 10^{-30} gr pour la matière des nébuleuses, supposée répartie uniformément dans tout l'espace. Pour un facteur de réduction dû à l'expansion de cent ou mille, on trouve que les rayons sont un ou dix pour cent de l'énergie matérielle. C'est ce qu'il faut attendre pour le rayonnement de transformations analogues aux transformations radioactives actuelles.

La densité 10^{-30} gr /cm³ a été obtenue en se basant sur la distance moyenne des nébuleuses et sur l'observation spectroscopique de la rotation autour de leur centre de quelques-unes des plus brillantes parmi elles. La masse est alors estimée en supposant que l'attraction gravifique qu'elle exerce sur un point du bord est suffisante pour compenser la force centrifuge due à la rotation qui tendrait à la faire s'échapper dans l'espace.

Pour éclaircir le troisième point, il nous faut parler de la théorie de la relativité.

Einstein a montré que la théorie de la gravitation de *Newton* est une approximation d'une théorie plus profonde, où la matière apparaît comme une manifestation du caractère non-euclidien de l'espace ou plutôt de l'espace-temps.

Cette théorie est confirmée par l'observation de petits écarts à la loi de *Newton* que prévoit la théorie, et dont le plus célèbre est une petite perturbation de la planète *Mercure* , pour laquelle *Leverrier* s'était hasardé jadis à prédire l'existence d'une planète, dont il avait calculé les éléments, et à laquelle il avait donné le nom de *Vulcain*, mais qui ne s'est pas montrée fidèle au rendez-vous mathématique. Cette perturbation est une conséquence de la nouvelle théorie.

La théorie de la relativité fait prévoir encore que, même à l'approximation newtonienne, une autre force pourrait être présente, à côté de l'attraction en raison inverse du carré de la distance; cette autre force, contrairement à la première, augmenterait avec la distance. Elle pourrait être totalement insensible dans l'observation des planètes, et ne se manifester que lorsque les distances deviennent fort grandes c'est-à-dire à l'échelle cosmique. Cette force dépend d'une constante à laquelle on a donné le nom de constante cosmologique. La théorie n'indique ni sa grandeur ni son signe (elle n'indiquait d'ailleurs pas non plus celle de la constante d'attrac-

tion universelle.) Le cas intéressant est celui où la nouvelle force serait une répulsion, car alors elle peut contrebalancer l'attraction newtonienne et conduire à un équilibre entre les deux forces.

Il est possible de calculer la constante cosmologique, si on connaît la densité de la matière. Pour la valeur 10^{-30} gr/cm³ indiquée plus haut, et pour la valeur de l'expansion en deux milliards d'années, on trouve que la répulsion cosmique l'emporte actuellement sur l'attraction gravifique et que ces deux forces se sont fait équilibre, lorsque le rayon de l'espace était une dizaine de fois plus petit qu'il ne l'est maintenant. Ces calculs donnent pour le rayon actuel la valeur d'environ dix milliards années-lumière dont nous avons fait usage plus haut.

Comme dans les amas de nébuleuses, la distance des nébuleuses est environ dix fois plus petite que pour les nébuleuses isolées on est conduit à interpréter ces amas comme des régions qui sont encore partiellement en équilibre. Il y a pourtant une difficulté provenant des grandes vitesses des nébuleuses de ces amas, vitesses qui sembleraient devoir faire se dissiper le système. Mais par ailleurs, l'amas constitue un centre d'attraction pour les nébuleuses extérieures et celles-ci peuvent, dans une certaine mesure, remplacer les nébuleuses qui s'échappent.

Nous sommes ainsi conduits à admettre que le rayon de l'espace, parti pratiquement de zéro, a augmenté avec une vitesse de moins en moins grande et a atteint et dépassé lentement la valeur du milliard d'années où attraction et répulsion se faisaient équilibre, l'expansion a repris ensuite à un rythme accéléré.

C'est ce passage lent à travers l'équilibre qui va nous donner la solution de notre troisième difficulté. En effet cet équilibre est instable. Il suffit de petits écarts locaux des densités et des vitesses, aux conditions moyennes qui assurent cet équilibre, pour que, localement, l'ex-

pansion ralentie, au lieu d'être suivie d'une reprise d'expansion, soit suivie par une contraction. Localement la matière retombe vers un centre accidentel de condensation, tandis que dans son ensemble le système reprend son expansion. Les condensations locales se séparent donc les unes des autres comme le font les nébuleuses extragalactiques.

Le développement ultérieur de la théorie dépend de l'idée que l'on peut se faire de l'état de la matière au moment où se produisent ces condensations locales qui doivent s'interpréter comme des nébuleuses extragalactiques.

Il faut trouver pour cet état intermédiaire des conditions qui puissent résulter de la désintégration initiale et d'où puisse résulter le monde actuel.

Je crois qu'on doit se représenter, dans cet état intermédiaire, la matière comme formée de nuées gazeuses animées les unes par rapport aux autres de fort grandes vitesses.

Ces nuées auraient la densité d'équilibre et n'auraient guère de tendance à se contracter. Si, au contraire, deux de ces nuées venaient à se rencontrer, elles s'aplatiraient l'une sur l'autre tandis que l'énergie cinétique se dissiperait en rayonnement; une fois la contraction amorcée, l'attraction gravifique, dominant la répulsion cosmique, transformerait le système en une étoile, ou, si le moment angulaire est suffisant, en un système d'étoiles et de satellites.

Ces rencontres entre nuées se feront surtout dans les régions de condensation où les nuées se précipitent les unes sur les autres. Ceci aura deux conséquences. Tout d'abord une partie notable des nuées se transformera en étoiles. En second lieu par suite de la dissipation d'énergie, lors des chocs entre nuées, le système pourra acquérir un haut de degré de condensation centrale.

La supposition que les nuées sont animées de grandes

vitesse relative est nécessaire pour expliquer que, dans les amas de nébuleuses, les nébuleuses individuelles soient animées de grandes vitesses.

On doit en effet concevoir, qu'une nuée anormalement dense puisse servir de noyau de condensation autour duquel va se former une nébuleuse. Ce noyau ne pourra retenir, parmi les nuées qui passent près de lui, que celles qui ont presque la même vitesse que lui, les autres échapperont à son attraction. La vitesse des nébuleuses est donc une manifestation de la vitesse des nuées à partir desquelles elles se sont formées.

Les idées que nous venons d'indiquer sont susceptibles d'une étude quantitative. On doit pouvoir en déduire les conditions initiales de formation d'une nébuleuse, un noyau central retenant toutes les nuées jusqu'à la vitesse d'échappement. Ce problème est facile et il est résolu. Mais il faut encore suivre l'effet des chocs entre nuées sur leur répartition et le degré de concentration de la nébuleuse qu'elles forment.

Cet aspect du problème est beaucoup plus difficile et la solution en est loin d'être achevée.

Si ce calcul pouvait être effectué, il fournirait une distribution théorique des densités dans une nébuleuse. Comme la distribution réelle est connue par l'observation photométrique des nébuleuses extra-galactiques, la comparaison des deux résultats, astronomique d'une part, théorique d'autre part, pourrait fournir une confrontation décisive de la théorie avec les faits.

Maintenant que nous nous sommes rendu compte que l'état intermédiaire de la matière, ou état pré-stellaire, consistait en des nuées gazeuses animées de grandes vitesses, il nous faut examiner, si nous pouvons nous rendre compte de l'origine de ces nuées dans le cadre de notre théorie.

La question consiste à comprendre comment peut se former un gaz, en partant des produits de désintégrations successives de l'atome primitif et de ses fragments. Au

début on doit avoir des noyaux atomiques animés d'énormes vitesses, comme dans les rayons alpha lancés par le radium, qui sont des noyaux d'hélium. Même les noyaux plus massifs, doivent, comme des rayons canaux, posséder de grandes vitesses de recul. Assurément ces particules doivent parfois se rencontrer; mais les chocs trop violents ne peuvent être, comme dans les gaz, des chocs élastiques, ces chocs destructeurs doivent simplement provoquer de nouvelles transformations nucléaires. Comment cette radiation a-t-elle pu se séparer en une partie qui reste de la radiation et s'observe comme rayons cosmiques, et une partie qui a formé les nuées gazeuses d'où sont nées les étoiles et les nébuleuses ?

Il est un phénomène lié à l'expansion de l'espace qui fournit un élément de solution à ce problème. Ce phénomène est très analogue à l'atténuation des rayonnements par suite de l'expansion, que nous avons mentionnée à plusieurs reprises dans notre exposé.

Pour nous en rendre compte, reprenons notre image de points également répartis sur des droites issues d'un même centre et de longueurs égales à la moitié du tour de la droite.

Tous ces points s'éloignent du centre de la représentation avec des vitesses d'autant plus grandes qu'ils en sont plus éloignés.

Ils représentent la vitesse normale dans l'univers en expansion.

Supposons maintenant qu'un atome ait une vitesse anormale. Supposons, par exemple, qu'il soit au centre, où, dans notre représentation la vitesse normale est nulle, et qu'au contraire, il soit animé d'une grande vitesse. Alors, il s'éloignera du centre suivant un des rayons, il atteindra des régions de plus en plus éloignées, où la vitesse normale n'est plus nulle, la grande vitesse avec laquelle il se déplace deviendra donc de moins en moins anormale. Pourtant, il ne sortira pas de la représentation.

S'il en atteint le bord, il reviendra par la direction opposée. S'il revient au centre, il y reviendra avec une vitesse bien inférieure à celle qu'il possédait au départ.

La vitesse unique sera, en fait, réduite dans le rapport de l'expansion, c'est-à-dire le rapport des valeurs du rayon de l'espace au départ et à l'arrivée.

Dans les premiers stades de l'expansion, ce phénomène a dû réduire considérablement les vitesses propres, c'est-à-dire, la différence entre la vitesse individuelle et la vitesse normale à l'endroit où passe la particule.

On peut donc, comprendre que par suite de cette atténuation de la dispersion des vitesses, des atomes aient quelque chance de se rencontrer parfois, avec des vitesses relatives assez faibles pour que le choc soit élastique, et si cela se renouvelle assez souvent et intéresse un nombre suffisant d'atomes, pour qu'il se forme localement un gaz.

On comprend qu'il ne se forme que des nuées gazeuses, car le phénomène que nous invoquons est trop peu probable pour s'être produit partout à la fois.

On comprend aussi que ces nuées soient animées de grandes vitesses les unes par rapport aux autres, puisqu'elles proviennent de particules rapides, voyageant presque avec la même vitesse, mais pouvant avoir une grande vitesse commune.

Voilà quel est l'état présent de l'hypothèse de l'atome primitif, peut-être vous paraîtra-t-elle digne d'être prise en considération et d'être mise en œuvre d'un point de vue technique. Sans doute aussi, jugerez-vous prudent de suspendre votre jugement, en attendant qu'une confrontation cruciale puisse être faite avec les faits.

Nous ne pouvons terminer cet exposé, sans considérer un moment l'origine même que notre théorie donne à l'univers l'instant initial, la fragmentation initiale. L'instant où naissait l'espace avec un rayon partant de zéro, l'instant où naissait la multiplicité dans la matière.

Cette origine nous apparaît, dans l'espace-temps comme un fond qui défie notre imagination et notre raison,

en leur opposant une barrière qu'elles ne peuvent franchir. L'espace-temps nous paraît semblable à une coupe conique. On progresse vers le futur en suivant les génératrices du cône vers le bord extérieur du verre. On fait le tour du l'espace en parcourant un cercle normalement aux génératrices. Lorsqu'on remonte par la pensée le cours de temps, on s'approche du fond de la coupe, on s'approche de cet instant unique, qui n'avait pas d'hier, parce qu'hier, il n'y avait pas d'espace.

Commencement naturel du monde, origine pour laquelle la pensée ne peut concevoir une pré-existence, puisque c'est l'espace même qui commence et que nous ne pouvons rien concevoir sans espace. Le temps semble pouvoir être prolongé à volonté vers le passé comme vers l'avenir. Mais l'espace peut commencer, et le temps ne peut exister sans espace, on pourrait donc dire, que l'espace étrangle le temps, et empêche de l'étendre au delà du fond de l'espace-temps.

Mais cette origine est aussi le commencement de la multiplicité. C'est un instant où la matière est un seul atome, un instant où les notions statistiques qui supposent la multiplicité ne trouvent pas d'emploi. On peut se demander si dans ces conditions la notion même d'espace ne s'évanouit pas à la limite et n'acquiert que progressivement un sens au fur et à mesure que la fragmentation s'achève, que les êtres se multiplient.

Devons-nous nous plaindre que nos notions les plus familières s'évanouissent lorsqu'elles s'approchent du terme ultime qu'elles ne doivent pas dépasser ? Je ne le pense pas.

En terminant je ne puis mieux faire que de rappeler le mot de *René Descartes* par lequel je commençais et qui s'applique sans doute aussi à l'atome primitif « *Mundus est fabula* ».

G. LEMAITRE,
Professeur à l'Université de Louvain.