

Zeitschrift: Bulletin de la Société Vaudoise des Sciences Naturelles
Band: 62 (1942-1945)
Heft: 261

Artikel: Une nouvelle figure de l'Univers : la théorie cinématique de Milne
Autor: Javet, Pierre
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-273250>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. [Voir Informations légales.](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 24.11.2024

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

Une nouvelle figure de l'Univers(La théorie cinématique de Milne ¹.)

PAR

Pierre JAVET

(Séance du 15 décembre 1943.)

SOMMAIRE. — La notion de particules équivalentes et le principe cosmologique permettent de construire un système de particules en mouvement — le système cinématique — reproduisant plusieurs des propriétés connues des nébuleuses extra-galactiques et conduisant à une vue rationnelle de l'Univers.

Le système statistique — basé sur les mêmes principes que le système cinématique — conduit à des résultats plus précis sur les nébuleuses spirales et suggère une théorie cohérente du rayonnement cosmique ainsi que de l'origine et du développement du nuage cosmique.

Depuis plusieurs années, les théories relativistes n'ont rien apporté de nouveau au problème de la figure de l'Univers. Au contraire, de nombreux auteurs (Brillouin, Lecornu, Painlevé, Dive, Tiercy, pour ne citer que des auteurs de langue française) ont été amenés à émettre différentes critiques à l'égard de ces théories. Nous en citerons une, faite par A. Mercier : la relativité générale procède par généralisation d'une théorie restreinte, qui doit être connue préalablement. Une théorie reposant sur des postulats ou des axiomes fondamentaux, sans faire appel à une théorie d'ordre moins élevé, serait préférable. Cela serait particulièrement désirable pour une théorie dont la portée est d'ordre cosmologique. La théorie de Milne échappe entièrement à cette critique.

Observateurs-particules équivalents.

Milne introduit tout d'abord le concept physique de particule, à chacune desquelles est associé un observateur. Chaque

¹ E. A. MILNE : *Relativity, gravitation and world-structure*. Oxford, Clarendon press, 1935.



observateur est supposé doué d'une expérience temporelle continue, de sorte que les événements qui apparaissent à une particule peuvent être ordonnés suivant la suite des nombres réels. Cette correspondance entre événements et nombres réels constitue une horloge.

Considérons alors deux observateurs A et B et voyons quelles expériences ils peuvent faire, munis chacun de leur horloge.

A envoie un signal à B qui le lui retourne immédiatement. A peut lire sur sa propre horloge les temps t_1 et t_2 du départ et du retour du signal. La réflexion du signal en B constitue un événement (E_B) dont l'époque, pour A, doit être postérieure à t_1 , mais antérieure à t_2 . Le plus simple est de poser que cette époque est :

$$T_B = \frac{1}{2} (t_2 + t_1)$$

Mais au moyen des deux nombres t_1 et t_2 l'observateur A peut encore construire le nombre :

$$R_B = \frac{1}{2} c (t_2 - t_1)$$

que nous appellerons distance de l'événement E_B . (c est un nombre fixe choisi arbitrairement.)

L'observateur A a ainsi déterminé deux coordonnées relatives à l'événement E_B : son époque et sa distance. Ces deux coordonnées sont purement conventionnelles, et rien ne permet de dire qu'elles ont la même signification que les coordonnées de même nom de la physique.

L'observateur B peut faire les mêmes expériences que A et déterminer l'époque et la distance d'un événement E_A , en utilisant pour cela les mêmes règles que celles choisies par A. Il est important de remarquer que les deux observateurs n'emploient, pour construire les coordonnées conventionnelles d'un événement, que des lectures faites sur leur propre horloge. Ces deux coordonnées époque et distance permettent de définir différentes grandeurs dérivées, telles que vitesse et accélération.

Avant de poursuivre, remarquons que Milne met à la base de sa théorie de simples nombres, lus par chaque observateur sur sa propre horloge, donc des observables, au sens que Dirac a donné à ce mot. La relativité, au contraire, postule l'existence d'une métrique définie par un ds^2 approprié, et les grandeurs observables n'apparaissent que plus tard. La tentative de Milne pourrait ainsi se comparer à celle de Heisenberg fondant la mécanique des matrices. Mais, tandis que cette mécanique, si différente dans sa forme de la mécanique ondulatoire, lui est cependant entièrement équivalente; il n'en

va pas de même pour les deux théories d'Einstein et de Milne, radicalement différentes sur plusieurs points essentiels.

Revenons aux deux observateurs A et B. Ils sont dits équivalents (et cette notion joue un rôle essentiel) si la totalité des observations que A peut faire sur B est décrite par A de la même manière que B décrit la totalité des observations qu'il peut faire sur A. Illustrons cette définition par l'exemple suivant :

Supposons que le premier observateur A voie en B une lumière d'intensité variable. Pour décrire ce phénomène, A dira que l'intensité est fonction du temps, et il écrira: $I = f(t)$.

Si l'observateur B voit lui aussi une lumière variable en A il dira que $I' = f'(t)$.

La définition de l'équivalence entre A et B revient à dire que $f \equiv f'$. Ainsi A décrit ce qui se passe en B dans les mêmes termes que B décrit ce qui se passe en A.

La relativité procède autrement. Elle postule que les lois de la nature doivent être indépendantes de l'observateur. Et alors, si une certaine grandeur (un tenseur) est nulle pour un observateur, elle doit être aussi nulle pour tous les autres. La relativité postule donc une conservation de valeur tandis que Milne postule une conservation de forme ($f \equiv f'$).

En utilisant les coordonnées conventionnelles construites par les deux observateurs, et la définition de l'équivalence, on peut former deux équations fonctionnelles simples qui contiennent l'ensemble de la théorie de la relativité restreinte; en effet on déduit immédiatement de ces deux équations:

1. que si les deux particules-observateurs sont en mouvement relatif, les temps marqués par leurs deux horloges sont différents;

2. et que si A et B sont en mouvement relatif uniforme les coordonnées relatives à un même événement sont liées par les formules de transformation de Lorentz.

Ces formules, qui constituent la base de la relativité restreinte, sont donc une conséquence de l'équivalence supposée des deux observateurs. Pour les établir, on n'a fait aucune hypothèse supplémentaire, ni supposé un transport de règles rigides ou d'horloges, comme en relativité restreinte. La constante c introduite plus haut est égale à la vitesse de la lumière, et ainsi le fameux postulat de la constance de cette vitesse est aussi une conséquence de l'équivalence des deux observateurs. De plus, puisque les coordonnées conventionnelles introduites sont liées par les formules de Lorentz, c'est que ces coordonnées (et leurs notions dérivées) ont la même signifi-

cation que les coordonnées du même nom de la physique.

Jusqu'ici les deux observateurs n'étaient munis que d'horloges. Si l'on considère maintenant un événement P non aligné sur A et B , nous devons gratifier nos deux observateurs d'un deuxième instrument leur permettant de faire des mesures d'angles (un théodolite par exemple). Chaque observateur peut alors déterminer les trois coordonnées spatiales d'un événement à une particule quelconque P en faisant usage des règles de la géométrie euclidienne. Et quand les deux observateurs voudront comparer leurs coordonnées relatives à un même événement P , ils le feront encore suivant les règles de la géométrie euclidienne. Cette validité de la géométrie euclidienne est en fait une hypothèse de calcul, mais il se trouve qu'elle est parfaitement légitime à condition que les deux observateurs soient en mouvement relatif uniforme.

A partir de ces bases, et au moyen des deux équations fonctionnelles citées plus haut, on obtient les formules de Lorentz à trois dimensions. Ces formules apparaissent donc simplement comme un moyen de passer de l'espace euclidien et du temps newtonien d'un premier observateur, à l'espace euclidien et au temps newtonien d'un deuxième observateur.

Le système cinématique.

Considérons maintenant un grand nombre de particules, formant un système. Ce système satisfera au principe cosmologique d'Einstein si deux quelconques de ses observateurs-particules, supposés équivalents, décrivent de la même manière le système entier. Milne donne ainsi un sens précis à l'affirmation d'Einstein: « Alle Stellen des Universums sind gleichwertig ». Ce principe cosmologique est pris comme définition remplaçant le concept inapplicable de l'homogénéité.

La question de savoir s'il est possible de construire un système de particules satisfaisant au principe cosmologique relève des mathématiques. La question de savoir si un tel système, une fois construit, peut être proposé comme modèle de l'Univers découvert par l'astronomie, relève de l'observation.

Milne montre qu'un tel système peut effectivement être construit, et d'une manière simple, en se basant uniquement sur la notion de l'équivalence des particules.

Les propriétés du système de particules ainsi obtenu sont les suivantes :

1. Le système est décrit de la même manière par chaque observateur, employant ses propres coordonnées.

2. Il possède la symétrie sphérique autour de chaque particule.
3. La densité des particules est homogène au voisinage de chacune d'elles.
4. La densité des particules, calculée par un observateur quelconque, croît vers l'extérieur.
5. Près de chaque particule la densité décroît à un taux inversement proportionnel au cube du temps.
6. A une époque donnée t le système est contenu à l'intérieur d'une sphère en expansion, de rayon $R = ct$ ($c =$ vitesse de la lumière). Le rayon de cette sphère croît donc avec la vitesse c de la lumière.
7. Quand la distance tend vers ct la densité des particules tend vers l'infini. Il n'y a pas de particules sur la surface de la sphère.
8. Le nombre total des particules du système est infini.
9. Chaque particule du système est animée d'un mouvement uniforme de récession.
10. Les vitesses des différentes particules sont proportionnelles à leurs distances, et ces vitesses tendent vers celle de la lumière quand les distances tendent vers ct .

C'est ce système de particules que Milne appelle le système cinématique. Il mérite ce qualificatif de cinématique, car il est construit sans aucun appel à des notions dynamiques, telles que masse ou force.

Relativement à la propriété 6 ci-dessus, on peut se demander quelle est la valeur du temps t qui fixe le rayon $R = ct$ de la sphère en expansion¹ ?

Les propriétés du système cinématique fournissent la réponse. Si nous remontions le cours du temps, ce système nous apparaîtrait en contraction, et en remontant suffisamment haut dans le passé, nous arriverions à un instant où le système entier se réduirait à un point. C'est cet instant — le zéro naturel du temps — qui doit être pris comme origine du temps.

Identification astronomique.

On sait que les nébuleuses extra-galactiques (ou nébuleuses spirales) qui apparaissent comme les éléments essentiels constituant l'Univers possèdent plusieurs des propriétés des particules du système cinématique (en particulier les propriétés nos 2, 3, 9 et 10). Aussi Milne propose-t-il d'assimiler les

¹ A ce propos, voir le chap. VII de MILNE : Creation.

particules de ce système aux nébuleuses spirales de l'Univers matériel et d'identifier le système cinématique lui-même à l'Univers découvert par l'astronomie. Les propriétés du système cinématique traduiraient ainsi celles de l'Univers des nébuleuses.

Cet Univers est décrit dans l'espace euclidien, avec un temps newtonien, par un observateur situé sur une particule (nébuleuse) quelconque du système. Ainsi se trouve résolu le problème de donner une vue rationnelle de l'Univers, problème qui n'avait pu être résolu que par l'emploi d'espaces courbes ou en expansion.

Un autre avantage de ce modèle d'Univers, c'est qu'il reste valable quelles que soient les théories ou lois de gravitation adoptées, puisque ses propriétés sont des conséquences purement cinématiques de l'équivalence des observateurs.

Ce modèle du monde diffère essentiellement, sur plusieurs points, des modèles proposés par les théories relativistes courantes. En particulier le nombre des nébuleuses est infini, et si nous voulions employer un langage dynamique, nous dirions donc que la masse de l'Univers est infinie.

A ce propos on peut faire un petit calcul, faux, mais intéressant tout de même. Un observateur quelconque trouve donc que la densité des nébuleuses est homogène dans son voisinage. La théorie permet de calculer cette densité à un instant t . Au même instant t l'Univers est une sphère de rayon $R = ct$. Supposons alors que l'observateur croie que la densité soit partout dans l'Univers égale à celle qu'il découvre autour de lui. Il croira déterminer la masse totale de l'Univers en multipliant son volume par cette densité, et il trouvera naturellement une masse finie... mais fautive. Cette masse serait de $2,4 \times 10^{55}$ g¹. Or c'est justement cette masse que la plupart des théories relativistes déterminent comme devant être la masse de l'Univers. Pour Milne, cette masse est privée de toute signification physique profonde, puisque dans la théorie cinématique, le nombre des nébuleuses est infini.

Le système statistique.

Il est possible de pénétrer plus profondément dans la structure du monde en complétant le système cinématique de la manière suivante : lançons dans ce système, à un ins-

¹ Son expression analytique est $\frac{c^3 t}{\gamma}$ comme dans les théories relativistes.

tant quelconque, et avec une vitesse quelconque, une particule qui sera dite libre. L'analyse permet alors d'établir un fait remarquable : le principe cosmologique et l'équivalence des particules fondamentales suffisent à déterminer le mouvement de cette particule libre. Ce mouvement, décrit par un observateur quelconque, est régi par les équations¹ :

$$\frac{\vec{dP}}{dt} = \vec{V} \quad \frac{\vec{dV}}{dt} \equiv \vec{g} = (\vec{P} - \vec{V}t) \frac{Y}{X} G(n)$$

dans lesquelles X et Y sont des fonctions déterminées de \vec{P} et \vec{V} et $G(n)$ une fonction arbitraire d'un simple nombre n .

Ces équations peuvent être intégrées complètement, et cela sans connaître la forme de la fonction G qui reste arbitraire. La trajectoire d'une particule libre est plane. C'est en général une courbe. La particule subit constamment des accélérations et sa vitesse peut croître jusqu'à celle de la lumière. Un résultat plus important encore peut être établi : c'est que la gravitation (pour employer un langage dynamique) apparaît localement comme un phénomène d'attraction. Ce résultat est extrêmement remarquable, surtout si l'on songe qu'il est établi à partir de bases purement cinématiques et sans aucun appel à l'expérience.

Au lieu d'introduire dans le système cinématique une particule libre, introduisons-en une infinité, leur distribution étant caractérisée par une fonction ψ . On obtient ainsi le système statistique, et le problème à résoudre est de déterminer statistiquement le mouvement de ces particules libres. Or il se trouve que les équations qui le déterminent sont de même forme que celles qui déterminent le mouvement de la particule unique introduite précédemment. La fonction $G(n)$ qui était arbitraire est maintenant déterminée. Elle prend la forme :

$$G(n) = -1 - \frac{C}{(n-1)^{\frac{3}{2}} \Psi(n)} \quad (C = \text{constante}).$$

La fonction Ψ décrit entièrement le système (elle donne le nombre des particules libres présentes dans chaque élément de volume, ainsi que la distribution de leurs vitesses). Ces

¹ Ces équations déterminent aussi le mouvement des particules fondamentales. En effet, si on pose :

$$\vec{V} = \frac{\vec{P}}{t} \quad \text{on a} \quad \vec{g} = 0 \quad \vec{V} = \text{constante} \quad \text{et} \quad \vec{P} = \vec{V}t$$

relations sont extrêmement remarquables, car elles déterminent l'accélération des particules en fonction de toute la matière en mouvement présente dans l'Univers. Aucune autre théorie de la gravitation n'avait pu obtenir un résultat aussi général.

L'intégration des équations du mouvement faite dans le cas d'une particule libre est encore valable dans le cas du système statistique. On en déduit que les particules libres ne s'éparpillent pas au hasard dans le système, mais restent au voisinage des particules fondamentales et forment ce que Milne appelle des sous-systèmes, chacun de ces sous-systèmes contenant une infinité de particules. Chaque sous-système possède une vitesse d'ensemble constante, qui est celle de son noyau (la particule fondamentale correspondante).

Parmi les propriétés de ces sous-systèmes on peut encore citer :

Chaque sous-système est fortement concentré autour de son noyau.

Les membres d'un sous-système sont en mouvement relatif non uniforme ; leurs accélérations étant dirigées vers l'extérieur.

Ces propriétés des sous-systèmes conduisent Milne à faire la deuxième hypothèse suivante : celle d'identifier les sous-systèmes aux nébuleuses spirales, considérées comme des unités possédant une structure.

En première approximation (celle du système cinématique) l'Univers possède le phénomène de l'expansion avec la loi de proportionnalité entre les distances et les vitesses, il est localement homogène et occupe une sphère finie de rayon égal à ct . En deuxième approximation (celle du système statistique) il possède des concentrations autour de chaque particule fondamentale, et une structure locale.

Les théories relativistes courantes arrivent aussi à rendre compte de la condensation de la matière en galaxies, mais ces théories rencontrent sur ce sujet de grandes difficultés et les avis des différents auteurs sont souvent contradictoires. Suivant la théorie cinématique, l'existence des galaxies est une conséquence nécessaire du principe cosmologique.

Rayons cosmiques.

Les particules libres du système statistique peuvent atteindre la vitesse de la lumière, et cela dans un temps fini. Bien que la théorie cinématique ne fasse aucun usage de concepts dynamiques, on est en droit de se demander ce

qui arrive quand la vitesse d'une particule atteint celle de la lumière. La réponse est simple : c'est que la question n'a pas de sens physique, car aucune observation ne pourra montrer une particule ayant la vitesse de la lumière, et cela parce qu'on démontre que la probabilité d'existence d'une telle particule en un endroit donné et à un instant donné, est nulle.

Par contre on pourra observer des particules animées de vitesses voisines de celle de la lumière, et si de telles particules subissent une collision, il s'ensuivra des effets d'ionisation ou de désintégration extrêmement intenses. Si de telles particules pénètrent dans l'atmosphère terrestre, elles doivent y produire des effets observables à la surface de la Terre. Or ces effets existent : c'est le rayonnement cosmique. D'après la théorie cinématique, ce rayonnement serait dû à l'arrivée dans l'atmosphère terrestre de particules libres animées de vitesses voisines de celle de la lumière ; l'existence de ces particules étant une conséquence de l'équivalence des nébuleuses extra-galactiques. Ainsi le rayonnement cosmique apparaît comme un caractère fondamental de l'Univers, ce dont on se doutait sans pouvoir dire ni pourquoi, ni comment.

Le calcul montre que l'intensité de ce rayonnement est inversement proportionnelle à la troisième puissance du temps. Il va donc décroître, mais par contre il fut de plus en plus intense dans le passé, et ceci ouvre un champ immense aux spéculations...

Le nuage cosmique.

Revenons aux particules libres dont la vitesse croît jusqu'à celle de la lumière. L'analyse mathématique offre l'alternative suivante : ou bien ces particules conservent cette vitesse ¹, ou bien leur vitesse diminuera ensuite. Sans nous arrêter à la première face de l'alternative, étudiée ailleurs par Milne ², suivons la deuxième.

Les mêmes équations — qui déterminaient le mouvement des particules à vitesse croissante — le déterminent encore quand leur vitesse décroît. Cette vitesse tend vers une limite constante V' différente de la vitesse initiale V , mais dépendant d'elle. Ainsi ces particules tendent à être immobiles par rapport aux particules fondamentales animées de cette même vitesse V' .

¹ On aura à faire alors à un nuage de photons.

² *Zeits. für Astrophys.*, 6, 83, Part. III, 1933.

L'histoire complète d'une particule est maintenant connue et peut se résumer comme suit :

Considérons une particule animée à l'origine du temps d'une vitesse V donnée. Si cette particule est une des particules fondamentales du système cinématique elle conservera toujours cette vitesse V . Par contre, si c'est une particule libre, sa vitesse initiale V croîtra (à moins de collisions) jusqu'à celle de la lumière pour diminuer ensuite et tendre vers une limite constante V' différente de V . Au début cette particule libre faisait partie du sous-système (nébuleuse spirale) caractérisé par la vitesse V . Pendant son mouvement elle a quitté cette nébuleuse pour rejoindre finalement une autre nébuleuse, celle de vitesse V' , par rapport à laquelle elle tend à être immobile. Ainsi chaque nébuleuse perd constamment de ses membres, au profit d'autres nébuleuses. Mais il y a compensation et la nébuleuse qui perd des particules en reçoit à son tour d'autres nébuleuses.

Or on connaît dans notre galaxie un objet immobile par rapport à nous-mêmes : le nuage cosmique. On avait cru, jusqu'à ces dernières années, que ce nuage n'existait que par places, sous forme de condensations locales, mais des études récentes¹ ont montré que ce n'est pas le cas : un nuage de matière diffuse, immobile, existe dans toute notre galaxie, comme aussi dans les nébuleuses spirales vues de profil.

La théorie de Milne conduit alors naturellement à la conclusion que le nuage cosmique est formé par l'arrivée de particules venant d'autres galaxies ; et ainsi l'existence de ce nuage serait une conséquence directe du principe cosmologique.

* * *

Il faut distinguer nettement entre les systèmes de particules en mouvement construits théoriquement et leurs applications possibles à l'Univers.

La physique théorique consiste essentiellement en l'étude de structures qui n'existent pas dans la nature (mais qui se rapprochent plus ou moins de situations naturelles) et qui sont cependant applicables à la nature. Par exemple, en astronomie, le problème des deux corps consiste à déterminer les mouvements d'une particule infiniment petite en présence d'une masse attirante. Dans la nature, on n'a jamais deux

¹ Travaux de STRUVE, ELVEY, EVANS, publiés de 1938 à 1942 (donc postérieurement à ceux de MILNE).

corps existant seuls, et l'un des deux n'est jamais assez petit pour être infiniment petit. Mais cela n'altère pas la validité des orbites képlériennes déterminées par l'analyse de la situation abstraite considérée.

Le simple système cinématique et le système statistique plus compliqué construits par Milne peuvent être envisagés de la même façon. La question de savoir s'ils sont réalisés ou non dans la nature est une question passionnante, mais leur validité ne dépend pas de la réponse à cette question, de même que la validité de la solution du problème des deux corps est indépendante de sa plus ou moins exacte réalisation naturelle. La validité — ou la vérité — des systèmes cinématiques dépend de la légitimité des idées sur lesquelles ils sont basés, ainsi que de l'exactitude des arguments employés.

Voici alors les propriétés abstraites des systèmes construits :

1. Les trajectoires se divisent en sous-systèmes.
2. Les particules, membres de chaque sous-système, sont concentrées autour d'un noyau.
3. Les noyaux suivent les mouvements du système cinématique :
 - a) ils s'éloignent les uns des autres;
 - b) leurs mouvements satisfont une proportionnalité vitesse-distance;
 - c) leurs vitesses sont constantes dans l'expérience de chacun d'eux;
 - d) chaque noyau est central par rapport à tous les autres;
 - e) la distribution des noyaux est approximativement homogène au voisinage de chacun d'eux;
 - f) la densité des noyaux s'accroît à grande distance de tend vers ct (où t est l'époque présente).
4. La totalité des sous-systèmes est contenue à l'intérieur d'une sphère en expansion de rayon $R = ct$ centrée à chaque noyau. La limite de cette sphère est inaccessible.
5. Les membres de chaque sous-système possèdent des mouvements accélérés vers l'extérieur.
6. Le nombre total des sous-systèmes est infini.
7. Chaque particule atteint la vitesse de la lumière à une époque finie et à une distance finie.
8. Dans un volume quelconque de l'espace il y a, à chaque époque, des particules animées de vitesses voisines de celle de la lumière.

9. Les particules qui ont atteint la vitesse de la lumière sont ensuite retardées, leur vitesse tendant vers une limite constante.
10. Les particules des différents sous-systèmes traversent les espaces inter-nucléaires.
11. Il arrive, au voisinage de chaque noyau (venant d'autres sous-systèmes) des particules qui restent finalement immobiles par rapport au noyau considéré.
12. Chaque noyau est associé à un groupe d'autres noyaux auxquels il envoie (et desquels il reçoit) des particules.

Milne identifie ce système à l'Univers découvert par l'astronomie. La principale identification (donc la principale hypothèse) est d'assimiler les sous-systèmes aux nébuleuses extra-galactiques, et les noyaux des sous-systèmes aux noyaux de ces nébuleuses (propriétés 1 et 2).

Les autres correspondances entre les propriétés du système abstrait et celles de l'Univers peuvent être considérées comme des confirmations de ces deux hypothèses.

Les propriétés 3 sont celles des particules fondamentales du système cinématique.

3 *a* et 3 *b* confirment la loi de Hubble.

3 *c* ne peut pas être vérifiée actuellement par l'observation.

3 *e* est confirmée par les statistiques du Mont Wilson.

3 *f* est propre à la théorie cinématique, mais échappe à la vérification par l'observation.

La propriété 4 est aussi en dehors des vérifications possibles, mais si la loi de Hubble est générale, il doit y avoir une limite supérieure des distances, sans quoi on serait conduit à des vitesses plus grandes que celle de la lumière.

La propriété 5 est confirmée par l'étude des mouvements dans notre galaxie et par la forme de beaucoup de nébuleuses spirales.

La propriété 6 ne peut jamais être confirmée par l'observation, mais il ne semble pas y avoir de limite au nombre des nébuleuses spirales.

Les propriétés 7 et 8 sont en accord avec le phénomène des rayons cosmiques et avec le caractère corpusculaire de l'agent primaire.

Les propriétés 9, 10 et 11 sont en accord avec l'existence du nuage cosmique.

La propriété 12 fournit une hypothèse rationnelle sur l'origine et l'histoire du nuage cosmique.

* * *

Descartes pensait que tous les phénomènes pourraient un jour s'expliquer par la figure et le mouvement; mais Newton, en introduisant la notion de force, orienta — et pour longtemps — les recherches dans une direction différente. Les théories relativistes courantes, qui font de la physique une branche des mathématiques, se rapprochent du rêve de Descartes, mais la théorie de Milne, qui supprime entièrement la notion de force, s'en approche encore davantage.

* * *

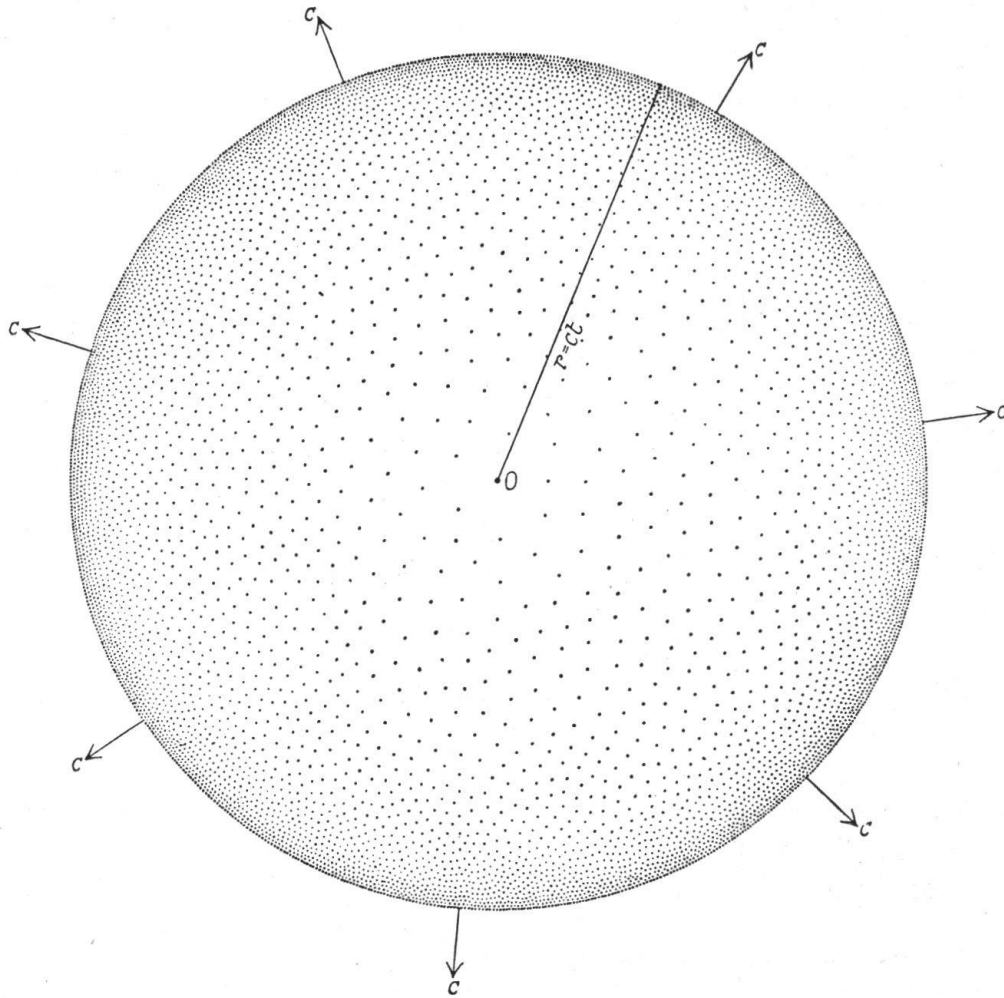


Diagramme représentant une coupe de l'Univers en expansion, fait par l'observateur O à une époque t de son expérience. Chaque point représente le noyau d'une nébuleuse et s'éloigne de O avec une vitesse constante. La densité des points s'accroît à partir de O et tend vers l'infini vers la frontière. La frontière s'éloigne de O avec la vitesse de la lumière. Il n'y a pas de points sur la frontière elle-même. Le nombre total des points est infini. Les particules près de la frontière forment un fond lumineux continu d'intensité finie.