

Kuznetsov, Boris

Einstein et le principe de Mach

Organon 6, 265-277

1969

Artykuł umieszczony jest w kolekcji cyfrowej Bazhum, gromadzącej zawartość polskich czasopism humanistycznych i społecznych tworzonej przez Muzeum Historii Polski w ramach prac podejmowanych na rzecz zapewnienia otwartego, powszechnego i trwałego dostępu do polskiego dorobku naukowego i kulturalnego.

Artykuł został zdigitalizowany i opracowany do udostępnienia w internecie ze środków specjalnych MNiSW dzięki Wydziałowi Historycznemu Uniwersytetu Warszawskiego.

Tekst jest udostępniony do wykorzystania w ramach dozwolonego użytku.



Boris Kuznetsov (U.R.S.S.)

EINSTEIN ET LE PRINCIPE DE MACH

En énonçant la relativité générale Einstein invoquait le principe de Mach, mais devait y renoncer par la suite, ce principe étant incompatible avec la conception du champ. L'abandon du principe de Mach par Einstein est dû à sa recherche d'une théorie unifiée du champ, et l'utilisation de ce principe correspond à un insuccès de cette recherche. La représentation de la régénération des particules dans les cellules de l'espace-temps discret sur le cône du lumière permet de prendre en considération l'influence du cosmos sur le microcosme dans le cadre d'une théorie cohérente du champ.

*

La théorie de la relativité générale, on le sait, eut largement recours au «principe de Mach», qui proclamait que tous les processus naturels dépendent de l'interaction entre les corps et attribuait la cause des forces d'inertie dans les systèmes accélérés à l'influence des corps de l'Univers sur ces systèmes. On sait aussi qu'Einstein montra en fin de compte la parenté qui relie le principe de Mach à la prémisse fondamentale de la science classique et la contradiction entre ce principe et l'esprit de la théorie du champ. L'opinion de Mach, écrit Einstein, «suppose implicitement que la théorie sur laquelle tout est fondé doit appartenir au même type général que la mécanique newtonienne»¹.

En effet, le principe de Mach part de la conception du monde où il n'y a rien hormis des corps discrets interagissants et mouvants. Aussi l'abandon radical du principe en question se révèle-t-il comme le plus fondamental des tournants anticlassiques de la pensée

¹ Albert Einstein, «Autobiographical Notes», *Albert Einstein: Philosopher Scientist*, ed. by A. Schilp, Tudor, New York 1951, pp. 3—95.

scientifique. Au principe de Mach s'oppose, en qualité de principe plus général d'une conception scientifique de l'Univers, une généralisation des idées initiales de la relativité et de la mécanique quantique sans laquelle il devient impossible, semble-t-il, de résoudre les problèmes présents de la physique des particules élémentaires et, probablement, de la cosmologie.

L'idée d'une contradiction entre le principe de Mach et «l'esprit de la théorie du champ» se trouve explicitement ou implicitement à la base de toutes les objections contre ce principe. Tels sont, notamment, les arguments d'Eddington qu'on peut résumer ainsi:

Le champ de gravitation, dans la relativité généralisée, est fonction non des potentiels mais des composantes d'un tenseur, à dix composantes, le tenseur d'énergie-impulsion. Ce dernier décrit la distribution de l'énergie responsable de la courbure de l'espace-temps. On se demande parfois si la rotation d'une sphère homogène ou d'un tore peut provoquer un effet physique puisqu'une telle rotation ne change en rien la répartition des masses et l'orientation du corps tournant par rapport aux autres corps. Mais la rotation d'une sphère homogène ou d'un tore change la distribution de l'énergie, ce qui est capable de déclencher un effet physique. Selon Eddington, un tel effet serait contraire au principe de Mach. Ce principe, il le formule de la sorte: «Tous les événements mécaniques peuvent être finalement réduits à une position relative et à des changements de la position des masses dans l'Univers entier»². A ce point de vue, la rotation absolue, c'est-à-dire la rotation conservant intacte l'orientation relative, ne peut pas être cause d'événements physiques et ne peut avoir aucun sens physique. Mais la notion de tenseur énergie-impulsion ne se ramène pas à une telle conception. «Dans le cadre de la relativité généralisée, cette conception apparaît tout à fait illogique vu que pour cette théorie la densité de la masse ne représente que l'une des dix composantes du tenseur d'énergie et il serait erroné de considérer l'une de ces composantes comme étant la seule entité déterminant les événements»³.

Ignorer les composantes autres que celle qui détermine la répartition et le changement des masses discrètes ne fait qu'exprimer une tendance fondamentale de la pensée classique. «Une théorie du type de la mécanique newtonienne» étudie le comportement des corps, leur localisation dans l'espace et le changement de cette localisation avec le temps. Outre une telle localisation spatio-temporelle il n'y a pas d'autres prédicats dont les changements s'avèreraient comme des causes fondamentales des événements. La science classique trou-

² A. S. Eddington, *The Mathematical Theory of Relativity*, 2nd edn, Cambridge University Press, 1924, § 71.

³ *Ibid.*

vait son idéal cinématique dans l'image de déplacements mutuels des corps discrets. Le talon d'Achille de cet idéal fut l'impossibilité de séparer la matière (l'«être» chez Démocrite) de l'espace (le «non-être» chez Démocrite). La science du XVII^e au XX^e siècle s'imposa comme tâche essentielle de trouver un «être-principe», qui aurait permis d'inclure dans chaque constatation du mouvement en plus du prédicat («comment cela se meut-il?») le sujet («qu'est-ce qui se meut?»). Ce principe devait notamment séparer les corps en tant que notions physiques, (c'est-à-dire quelque chose d'expérimentalement concevable) des notions géométriques.

La science classique exigeait implicitement l'intelligibilité physique, l'observabilité en principe des processus figurant comme causes et conséquences, autrement dit, elle exigeait un sens physique des notions initiales et finales. La physique n'a conservé cette exigence qu'en modifiant la notion de l'observabilité en principe. Il fut un temps où on considérait comme processus observables en principe ceux qui étaient du même type que les corps macroscopiques, et ces derniers passaient pour agissant immédiatement sur nos sens. Mais la physique classique et la physiologie classique ont appris que la vue était régie par les ondes électromagnétiques; d'autres faits nouveaux ont conduit à élargir la sphère de l'«observable en principe». Supposons que certains événements observés ont pour cause des ondes électromagnétiques. Bien sûr, leur observabilité en principe n'est pas moindre que celle des déplacements des corps. Pareils processus sont décrits par des composantes du tenseur d'énergie, ces neuf composantes qui n'entrent pas en ligne de compte dans la représentation du changement de l'orientation mutuelle des corps en tant que cause unique des effets physiques.

La relativité générale pouvait-elle aboutir à une telle représentation, qui serait une pure image de champ? Il eut fallu pour cela inclure dans la conception du champ une explication de l'existence même des particules matérielles et de leur comportement (position, vitesse, accélération, etc.). C'est cet espoir toujours déçu, cette aspiration à généraliser la théorie de la gravitation, qui sortaient des limites d'une conception qui n'envisage que des distributions de particules déjà existantes, indestructibles et identiques à elles-mêmes, et sortaient du cadre d'une théorie qui n'admet que le prédicat («comment cela se meut-il») en méconnaissant le sujet («qu'est-ce qui se meut?»).

Faute d'une telle généralisation, l'élimination du principe de Mach restait un programme sans devenir un acte du développement de la Relativité générale. Une élimination pure et simple du principe de Mach n'aurait été que s'affranchir verbalement de l'emprise de l'idéal classique d'une «théorie du type de la mécanique newtonienne» et de la contradiction avec l'esprit de la théorie du champ.

Certes, le principe de Mach est contraire à l'esprit d'une théorie de champ, mais peut-on aujourd'hui élaborer une conception du monde uniquement fondée sur la notion de champ? Le principe de Mach est lié à une représentation de l'Univers du type newtonien, de l'Univers où tout est défini par la position et l'interaction des corps. Mais pouvons-nous en fait déduire des lois du champs l'existence de ces corps et leur interaction? Le principe de Mach réduit les causes possibles des effets dynamiques d'un mouvement accéléré au changement de la seule composante du tenseur d'énergie-impulsion qui décrit la répartition des masses. Mais pourrions-nous lier cette composante aux autres, attribuer une signification unique à la notion de tenseur d'énergie-impulsion et, le considérant comme la description d'une substance unique, éliminer ainsi la répartition des masses en tant que concept initial?

Toutes ces questions contiennent toujours, au fond, une même constatation, qu'on peut formuler en se servant d'une analogie historique.

Newton ne parvint pas à l'idéal classique, (ce qu'Einstein nomma le «programme de Newton») car plusieurs causes l'obligèrent de rattacher les forces d'inertie non pas aux corps mais à l'espace vide et d'introduire les notions de mouvement et d'espace absolu. Nombre de penseurs, y compris des contemporains de Newton, tels Huygens et Leibniz, comprenaient le caractère illicite de ces notions. Mais pour les éliminer il fallait des conceptions nouvelles, et l'idéal classique ne triompha qu'au prix de généralisations qui celaient un renoncement radical à cet idéal en tant que principe fondamental de la science.

Da la même façon, Einstein ne put réaliser ce que l'on pourrait appeler le «programme d'Einstein» et qui comportait un renoncement au principe de Mach. Bien des physiciens (y compris Einstein lui-même, dans l'essai autobiographique de 1949) comprenaient qu'il était illégitime d'inclure le principe de Mach au nombre des postulats de la relativité générale en tant que théorie de champ. Mais de même qu'en physique classique où, pendant deux cent cinquante ans, la critique de l'espace absolu n'aboutit pas au principe de Mach, la critique du principe de Mach dans la physique relativiste n'aboutit pas (pas encore et, certes, on n'aura pas besoin de deux cent cinquante ans) à une théorie cosmologique éliminant ce principe d'une manière univoque. Et ceci malgré l'existence d'arguments impeccables au point de vue logique, non moins forts que les arguments contre l'espace absolu.

Le principe de Mach est opposé à la théorie de la relativité, théorie du champ. Mais est-elle dès à présent et complètement une théorie du champ?

«Une théorie diffère d'une autre, écrit Einstein, surtout par le

choix qu'elle fait des „briques” de son fondement, c-à-d. des concepts principaux qui ne se réduisent à aucun autre et qui soutiennent toute la théorie. La théorie classique (la mécanique) a pour concepts principaux le point matériel, la force d'interaction entre les points matériels et le système inertial (ce dernier est composé du système cartésien de coordonnées et de la coordonnée de temps). Nos connaissances sur le champ électromagnétique une fois acquises, nous avons ajouté au nombre des concepts principaux la notion de champ considéré comme second porteur de l'énergie»⁴.

Mais voyons les modifications apportées par la théorie de la relativité au critère du choix des «briques» et à ce concept lui-même. La relativité ne se borna pas à changer le sens de cette notion qu'était le système inertial (en y incluant le postulat sur la constance de la vitesse de la lumière). «La théorie admet ensuite que nous pouvons nous débarrasser du concept de point matériel pour ne conserver que celui de «champ», continue Einstein, après les lignes citées sur les «briques» d'une théorie physique. Il en va ainsi en relativité restreinte. Ayant rendu relative la simultanéité, elle a fait disparaître l'image de l'Univers en tant que système de points matériels dont la distribution et la valeur instantanée des énergies potentielles déterminent l'état de l'Univers aux instants postérieurs.

La relativité générale est plus radicale encore dans la transition de cette image (introduite par le principe de Mach) en une conception de champ. Le système inertial est éliminé du nombre des concepts initiaux élémentaires. «La relativité généralisée remplace le système inertial par le champ des déplacements, ce champ faisant partie du champ unifié qui est le seul moyen de décrire le monde réel. Ainsi, l'aspect spatial d'objets réels est entièrement exprimé par le champ qui est fonction de quatre coordonnées-paramètres; l'aspect spatial des objets est une propriété de ce champ»⁵.

Il s'agissait là de la relativité générale en tant que théorie du champ. Mais loin d'être un objectif effectivement atteint, une telle théorie de la relativité ne fut pour Einstein qu'un idéal (tout comme le schéma de l'Univers composé de seuls points matériels interagissants aurait pu être un idéal pour Newton et l'était vraiment pour la mécanique classique en entier). A la fin du livre *L'Essence de la théorie de la relativité*, Einstein indique la nécessité d'une représentation du champ afin d'éviter l'inclusion du système inertial au nombre des concepts initiaux. Il écrit en substance:

«Pour cette cause je ne vois pas dans la situation présente d'autre voie possible sauf une théorie du champ qui, au demeurant, doit ré-

⁴ A. Einstein, «Generalization of Theory of Gravitation», *The Meaning of Relativity*, 4th edn, Princeton 1953, § 5.

⁵ *Ibid.*

soudre une tâche aussi extrêmement difficile qu'est la déduction du caractère atomistique de l'énergie»⁶.

Par rapport à une théorie de champ pur (et seule la théorie unifiée du champ peut l'être), la théorie de la relativité devient une construction préliminaire.

L'idée majeure de la relativité générale qui est en question ici, est exprimée par dix équations du champ de gravitation avec, d'une part, les valeurs caractérisant la courbure de l'espace-temps et, d'autre part, les composantes du tenseur d'énergie-impulsion. Ce tenseur est inscrit à droite du signe d'égalité et il comprend, selon l'expression d'Einstein, «tout ce qui, pour le moment, ne peut pas être réuni dans une théorie unifiée du champ».

On connaît bien les remarques d'Einstein concernant l'équation du champ de gravitation: celle-ci s'appuie sur le tenseur de courbure et sur le tenseur d'énergie-impulsion; le premier est pareil à une colonne de marbre, mais le second est plus faible. Sa déficience relève du caractère préliminaire, transitoire de la relativité générale par rapport à la théorie unifiée du champ, ce qui nous empêche de trouver un lien rationnel entre le concept de champ et celui de particule.

«Si nous avons des équations pour un champ unifié complet il faudrait exiger que les particules elles-mêmes soient représentées comme solutions d'équations complètes du champ n'ayant nulle part de singularités. Alors seulement la relativité générale deviendrait une théorie *a c h e v é e*»⁷.

Dans la théorie unifiée du champ, la composante du tenseur d'énergie-impulsion qui décrit la répartition des masses, c'est-à-dire, en dernière analyse, la position des points matériels, se dissout, pourrait-on dire, dans une représentation de champ, et les changements du tenseur en entier deviennent des descriptions de processus irréductibles au regroupement des points matériels. Einstein pensait aux champs gravifique et électromagnétique. Aujourd'hui, le problème du champ unifié est inséparable de l'interaction d'une multitude de champs, de la transmutation des particules élémentaires, de la déduction des valeurs des masses et des autres grandeurs de chaque type de particules à partir de certains principes généraux.

Il est à supposer que le changement de l'appréciation d'Einstein sur le principe de Mach résulte d'une concentration toujours accrue de ses forces sur les recherches d'une théorie unifiée du champ. Mais le changement d'appréciation n'a nullement influencé la structure de la relativité généralisée. Adressons-nous encore une fois à la comparaison déjà proposée entre cette situation et le concept d'espace absolu. Une

⁶ *Ibid.*

⁷ A. Einstein, «Autobiographical Notes», *loc. cit.*, p. 90.

certaine analogie surgit entre la critique moderne du principe de Mach et cette critique de la mécanique newtonienne qui a fait naître ce principe. Dans les années quatre-vingt du siècle passé, emboîtant le pas à tout une pléiade de critiques de la notion newtonienne d'espace absolu, Mach rapporte les mouvements accélérés aux corps matériels. Il n'y avait pas encore, à l'époque, de relativité restreinte, on ignorait la courbure de l'espace-temps, la courbure des rayons de lumière dans le champ de gravitation, et la science était encore privée des prémisses de la relativité générale. Si Newton avait vécu encore cent cinquante ans, pris connaissance des arguments de Mach et si ces derniers l'avaient impressionné, le fondateur de la mécanique classique n'aurait tout de même pu renoncer à l'espace absolu.

Newton, tout comme Einstein plus tard, n'avait pas la possibilité de refuter une notion épistémologique incorrecte (chez Newton c'est l'espace absolu, chez Einstein c'est le principe de Mach) sans édifier une théorie unifiée.

Le «programme d'Einstein» qui n'était pas réalisé dans les *Principes fondamentaux de la relativité générale* nous apparaît aujourd'hui plus général que la théorie unifiée du champ sous la forme que lui donna Einstein dans les années 30 à 50, c'est-à-dire en tant que relations géométriques définissant l'orientation des lignes d'Univers dans le champ électromagnétique aussi bien que dans le champ de gravitation. Apparemment, le programme d'Einstein sera rempli dans une autre voie qui ne prendra pas en considération la seule carcasse des lignes d'Univers répondant à tels ou tels rapports géométriques macroscopiques, mais qui se penchera encore sur les événements ultramicroscopiques transformant les lignes d'Univers de notions géométriques en notion physiques. Et peut-être ces événements ultramicroscopiques seront-ils fonctions de la structure de l'Univers.

Abordons le problème du côté de l'«être-principe». Dans la mécanique quantique non relativiste, et surtout dans la physique quantique relativiste, ce principe se fraye un chemin sous la forme d'une représentation de complémentarité entre le schéma des lignes d'Univers et les événements ultramicroscopiques.

Le concept de processus ultramicroscopiques est dépourvu de sens sans concept de lignes d'Univers continues, et les lignes d'Univers sont vides de sens physique sans processus ultramicroscopiques remplissant ces lignes. Mais les processus ultramicroscopiques violent la continuité de la ligne d'Univers, étant, au point de vue spatio-temporel, des prototypes physiques réels de variations locales de la courbe spatio-temporelle à quatre dimensions.

Or, les événements ultramicroscopiques seuls, sans continuité des lignes d'Univers qu'ils violent, n'ont pas de sens physique. Supposons, par exemple, que les processus indiqués soient composés de transmuta-

tions élémentaires des particules dans les cellules de l'espace-temps discret. Mais la transmutation veut dire un changement de masse, de charge, de spin, c'est-à-dire des propriétés qui caractérisent la ligne d'Univers d'une particule, son orientation et sa courbure dans le champ donné. Les transmutions acquièrent un sens physique si elles signifient la transition d'une ligne d'Univers éventuelle à une autre. Sinon les processus ultramicroscopiques ne peuvent pas être l'objet d'enregistrements expérimentaux comme ne peuvent l'être les lignes d'Univers vides d'événements ultramicroscopiques. Les processus virtuels sont de tels processus ultramicroscopiques interdisant par eux mêmes toute possibilité d'enregistrement.

Examinons sous cet angle le rapport entre le cosmos et le microcosme. Le principe de Mach explique le comportement des corps mouvants identiques à eux-mêmes, ce qui revient à dire — les singularités des lignes d'Univers, par l'influence de tous les corps existants. Les champs locaux expliquent le mouvement accéléré tandis que le mouvement rectiligne est rapporté à l'ensemble de tous les corps de l'Univers, cet Univers étant la source des forces d'inertie. Pourtant il se pourrait que l'influence de l'Univers n'explique pas seulement la carcasse des lignes d'Univers mais aussi les particularités du remplissage de ces lignes d'Univers par les processus virtuels interrompant leur continuité.

Tant que la représentation du monde ne contient pas de trajectoires continues, ou dans la représentation quadridimensionnelle, de lignes d'Univers continues, tant que nous ne suivons pas le mouvement d'un objet physique d'un point à un autre et d'un instant à un autre, nous ne pouvons parler des variables dynamiques comme de fonctions des coordonnées, de même que nous ne pouvons parler des distances comme de fonctions des différences de coordonnées; c'est-à-dire nous ne pouvons parler de la métrique comme d'un concept physique. La spontanéité des processus virtuels empêche de mettre en ligne de compte les définitions quantitatives de grandeurs physiques: les valeurs des chemins parcourus, leurs premières et secondes dérivées par rapport au temps, c'est-à-dire les vitesses et les accélérations, et les valeurs de toutes les autres dérivées définies par la vitesse et par l'accélération.

Admettons le caractère discret de l'espace-temps composé des cellules dont les dimensions spatiales linéaires sont de l'ordre $\rho \sim 10^{-13}$ cm. et la durée temporelle de l'ordre $\rho/c = \tau \sim 10^{-24}$ sec. Quel est le sens physique de cette supposition? Sur le plan physique, la divisibilité de l'espace-temps en parties infiniment petites ne signifie que ceci: un objet physique est capable, durant un intervalle de temps infiniment bref, de modifier sa position d'une quantité infiniment petite. Ce qui revient à dire que la divisibilité infinie de l'espace-temps implique la continuité du mouvement. Le caractère discret de l'espace-temps signifie

l'impossibilité d'un mouvement à l'intérieur des cellules spatio-temporelles minimales. Un objet physique ne peut «passer» à travers une cellule. Un tel tableau exclut le mouvement. Alexandre d'Aphrodisée, penseur du 2^e siècle de notre ère, écrivait en relatant les idées des épicuriens: «Il n'y a pas de mouvement, il n'y a que le résultat du mouvement». Mais comment s'obtient le «résultat du mouvement», comment une particule après avoir existé dans une cellule se retrouve dans la cellule voisine? Manifestement, nous devons identifier la particule retrouvée dans la cellule voisine, avec la particule qui se trouvait à l'intervalle de temps élémentaire précédent dans la cellule initiale. Une telle identification, une telle transformation d'événements discrets en comportement d'un objet physique identique à lui-même est le premier maillon de l'analyse. Il exige une certaine représentation macroscopique du mouvement, une représentation de la ligne d'Univers: les particules disparaissant et apparaissant dans des cellules discrètes deviennent des particules mouvantes identiques à elles-mêmes s'il y a des champs macroscopiques. La notion même de naissance et d'annihilation d'une particule perd son sens sans une caractéristique complémentaire, l'existence de la ligne d'Univers. C'est qu'il s'agit de l'annihilation ou de la naissance d'une particule d'un type donné, c'est-à-dire d'une transmutation qui consiste, (on en a déjà parlé) en une transformation de la ligne d'Univers éventuelle et en l'apparition des valeurs de la masse, de la charge, du spin, etc., qui caractérisent la ligne d'Univers.

L'identification de la particule annihilée avec la particule née dans la cellule voisine et possédant la même ligne d'Univers éventuelle, c'est-à-dire avec la particule du même type, nous amène à la notion de régénération, introduite par Jakob Frenkel⁸, un peu modifiée, compte tenu du caractère discret de l'espace-temps: une particule de type donné se transforme en une particule d'un autre type, et cette dernière se transforme en particule du type initial, durant l'intervalle du temps $\varrho/c = \tau$ de l'ordre 10^{-24} sec.; par ailleurs, la particule régénérée apparaît à une distance ϱ de l'ordre 10^{-13} cm qui peut être considéré comme un déplacement à la vitesse de $\varrho/\tau = c$.

Prenons une particule dont la ligne d'Univers éventuelle passe à l'intérieur d'un cône de lumière, c'est-à-dire dont la masse au repos n'est pas nulle. Supposons par exemple que ce soit un électron. Les déplacements-régénérations élémentaires ϱ s'effectuent à une vitesse de $\varrho/\tau = c$, c'est-à-dire sur le cône de lumière. Désignons par M la ligne d'Univers ultramicroscopique de l'électron, et par A la ligne d'Univers macroscopique moyenne. Si la probabilité du déplacement ϱ dans toutes les directions est symétrique, c'est-à-dire $p(\varrho) = p(-\varrho)$, la particule, après

⁸ J. Frenkel, DAN (Comptes rendus de l'Académie des sciences de l'URSS), 64, 4, 507, 1949.

un grand nombre de déplacements aléatoires, se retrouvera près du point initial, sa trajectoire spatiale différera peu de zéro et la ligne d'Univers macroscopique Δ sera parallèle à l'axe temporel. S'il existe dans l'espace une direction dissymétrique sur laquelle $p(\varrho) > p(-\varrho)$, la particule subit un déplacement macroscopique le long de cette direction à une distance finie et à une vitesse proportionnelle à la dissymétrie des probabilités des déplacements-régénérations. Evidemment, la vitesse macroscopique, avec n'importe quelle dissymétrie, ne peut dépasser $\varrho/\tau = c$. Cette vitesse est inversement proportionnelle à la dispersion statistique des directions des déplacements élémentaires.

La dissymétrie se propage à une vitesse de $\varrho/\tau = c$. Il s'agit de la dissymétrie des probabilités. La probabilité du processus se propage sans dispersion statistique et la vitesse macroscopique ne deviendra pas moindre que $\varrho/\tau = c$ en raison d'une dispersion. On peut se borner ici à ces brèves remarques; démontrer la constance de la vitesse de propagation du champ stationnaire ainsi que du champ ondulatoire est une question élémentaire, elle part du fait que lors des transformations de Lorentz on constate un changement de la direction de la dissymétrie et, respectivement, de la direction de la ligne d'Univers macroscopique Δ , mais le rapport de ϱ à τ reste toujours le même et la relation $p(\varrho) > p(-\varrho)$ ne se vérifie pas le long de Δ mais le long de M qui possède une même direction dans les plans $X_1 X_4$, $X_2 X_4$, $X_3 X_4$ et dans les plans $x'_1 x'_4$, $x'_2 x'_4$, $x'_3 x'_4$.

Un tel schéma hypothétique vient illustrer une tendance réelle: les tentatives de déduire des rapports macroscopiques en partant de rapports ultramicroscopiques s'appuient sur une prise en considération de l'action d'objets continus macroscopiques sur les microprocessus. Dans le schéma proposé les concepts de ligne d'Univers et, par conséquent, d'identité à elle-même d'une particule «réelle» acquièrent un sens physique si l'espace possède une dissymétrie macroscopique. Apparemment, qu'il soit juste ou non, ce schéma de l'espace-temps discret sur le cône de lumière, l'idée générale mais encore mal définie qu'il y existe un rapport de dépendance entre l'être physique, «réel», durable (en comparaison de $\tau \sim 10^{-24}$ sec.) d'une particule élémentaire et les conditions macroscopiques, cette idée serait un principe fondamental de la physique non classique, aussi fondamental que l'est le principe de Mach (dépendance entre les ligne d'Univers et la répartition des masses) pour la physique classique. La notion d'être physique est plus large ici que celle de ligne d'Univers, elle exige des définitions complémentaires l'une par rapport à l'autre des lignes d'Univers et des processus virtuels qui remplissent les lignes d'Univers en leur accordant un caractère physique.

Etudiant le mouvement d'une particule en tant que multitude de régénérations élémentaires nous rencontrons une dissymétrie macroscopique.

pique comme un «corps» qui garantit l'identité de la particule à elle-même. C'est, en effet, une modification essentielle de la notion de «corps d'interaction» que nous avons trouvée dans la mécanique quantique non relativiste. Sans dissymétrie et sans trajectoire macroscopique L dont la direction coïncide avec celle de la dissymétrie, les régénérations ne peuvent pas devenir des déplacements spatiaux, il ne nous est pas permis d'identifier le résultat de la régénération avec le point initial — il nous est même interdit de considérer ϱ comme un vecteur d'orientation définie et $|\varrho|$ comme une distance-notion métrique. Pour obtenir cela il faut passer de l'espace zérodimensionnel de transmutations discrètes à un espace ($n > 0$)-dimensionnel de mouvements continus d'objets identiques à eux-mêmes, il faut introduire une métrique et la possibilité d'une représentation en coordonnées, la possibilité de mettre en valeur des systèmes macroscopiques de référence. Mais où peut-on trouver dans l'espace en question des objets continus permettant d'accorder un sens physique aux notions de continuité et de dimension géométrique non nulle? Ce sont les lignes de dissymétrie le long desquelles s'orientent les trajectoires macroscopiques des particules qui constituent de tels objets. L'existence des trajectoires L est présumée lors de la constatation des déplacements élémentaires ϱ , qui forment la trajectoire ultramicroscopique M .

Les lignes macroscopiques de la dissymétrie des déplacements sont continues; le tronçon l de la trajectoire L aussi petit qu'on le voudra, peut être la trajectoire du mouvement d'une particule, aussi faisons-nous ici sa place à la formule métrique différentielle $l^2 = \sum g_{\mu\nu} dx_\mu dx_\nu$ la probabilité même de diverses directions ϱ acquiert un sens, étant donné que ces directions peuvent être orientées dans l'espace. Tout ce que nous venons d'expliquer est exprimé par la formule: «L'espace auquel se réfèrent les déplacements élémentaires est engendré par les lignes de dissymétrie et les trajectoires macroscopiques L dont la direction coïncide».

Une telle représentation privant les corps au sens habituel de leur qualité de corps unique de référence et transmettant cette fonction à des objets purement de champ que sont les lignes de dissymétrie, cette représentation constitue un modèle idéal illustrant une tendance de la physique moderne qui exclue le principe de Mach du nombre des principes fondamentaux de la théorie du mouvement. Remarquons bien qu'il ne s'agit pas d'un modèle physique mais d'un modèle historico-physique; ce n'est point un modèle de l'Univers mais celui du développement possible de conceptions qui le décrivent. Ce modèle ne peut pas, par ses propres forces, réfuter le principe de Mach mais ce qu'il peut c'est montrer que la science moderne, ayant en vue les tendances et les perspectives assez générales que nous venons d'esquisser, ne progresse pas seulement vers le renoncement au principe de

Mach mais encore vers une possibilité effective de construire d'une façon non contradictoire une théorie relativiste du mouvement sur la seule base du champ, sans schéma d'une disposition spatiale des masses. Nous nous sommes buté sur la complémentarité de deux concepts: 1) la trajectoire macroscopique L et 2) les déplacements ϱ qui en général ne coïncident pas avec L et forment des trajectoires ultra-microscopique M . Il découle de cette complémentarité l'impossibilité de partir de la disposition donnée des masses et d'en déduire la structure du champ.

Même au cas où la représentation de déplacements élémentaires ne sera concrétisée dans une théorie univoque, elle viendra illustrer une incompatibilité logique du principe de Mach avec une synthèse des idées de la relativité et de la complémentarité, tout comme l'hypothèse de Gödel, abstraction faite de son caractère correct ou incorrect, illustre l'absence de lien logique entre le principe de Mach et les éléments de la cosmologie relativiste.

Jusqu'ici il a toujours été question d'une dissymétrie des déplacements élémentaires. Mais par la relation de complémentarité elle est liée à leur symétrie et, privée de cette dernière, elle perdrait tout sens physique. En revanche, la direction de la dissymétrie constitue une notion physique et non géométrique si la trajectoire L dont l'orientation coïncide avec celle de la dissymétrie, n'est pas une simple suite de points mais, en outre, une suite d'événements qui ne se réduisent pas à leur seule présence en ces points et au passage d'un point à un autre. Cette irréductibilité est garantie par la masse de la particule en mouvement.

Si la dissymétrie est proportionnelle à l'impulsion de la particule, sa masse, par contre, est proportionnelle à la symétrie. Cette dernière sert de mesure à l'entropie et, au sens généralisé, de mesure à l'absence d'inhomogénéité macroscopique, de même que l'entropie, au sens thermodynamique habituel, sert de mesure à la symétrie des déplacements aléatoires des molécules, son maximum correspondant à l'impossibilité de processus macroscopiques irréversibles dans un système composé d'objets microscopiques.

En l'absence de dissymétrie des probabilités de déplacements ϱ , c'est-à-dire quand la symétrie est au maximum, les chances d'une régénération dans toutes les directions sont égales et on est en présence d'une indétermination complète exprimée, sur le plan macroscopique, par le repos de la particule. Cette symétrie est violée par un champ introduisant une dissymétrie. Le champ dissymétrisant doit vaincre une entropie, c'est-à-dire une certaine mesure quantitative de la symétrie, et créer une différence de possibilités entre le déplacement dirigé dans le sens positif de la ligne de dissymétrie ϱ_{-L} et le déplacement dans le sens contraire, négatif ϱ_{-L} . On peut nommer *néguentropie*

la mesure d'une telle dissymétrie de probabilités $p(q_L) > p(q_{-L})$, autrement dit, on peut lui donner le même nom qu'à la mesure d'une mise en ordre macroscopique d'une multitude statistique de micro-processus, c'est à dire à la mesure d'une possibilité de processus macroscopiques. A chaque mesure de néguentropie, c'est-à-dire d'entropie vaincue, correspond une vitesse v sur la trajectoire macroscopique L . Pour passer à une autre mesure de néguentropie il faut surmonter toute l'entropie qui se trouve derrière la néguentropie existante. Plus grande est la quantité d'entropie vaincue, c'est-à-dire plus grande est la néguentropie, bref, plus grande est la vitesse v , et plus grande devra être l'intensité du champ dissymétrisant afin de passer à une autre mesure de la néguentropie; en résumé, plus grande est la vitesse d'une particule, et plus grand sera le facteur de proportionnalité entre la force et l'accélération, et donc, plus grande sera la masse de la particule.

La dissymétrie est due à des champs locaux correspondant à une inhomogénéité de la distribution de l'énergie dans l'espace. Mais à quoi sera due la symétrie?

L'idée se présente naturellement que le facteur provoquant la symétrie dans chaque type de particule sera l'homogénéité de l'énergie, autrement dit, on songe aussitôt à l'Univers à des échelles où les hétérogénéités locales jusqu'aux distances qui séparent les essaims de Galaxies se trouvent négligeables. Une telle supposition correspond, ou, tout au moins, n'est pas contraire, à certains modèles de la Métagalaxie, surtout, aux modèles formés. Si un modèle de Métagalaxie finie permet d'éviter le paradoxe d'une gravitation infinie en chaque point, elle peut de même expliquer les valeurs finies de masses au repos des particules élémentaires.

Le champ métagalaxique est mesuré non par un vecteur mais par un scalaire, c'est-à-dire par la valeur de la masse. Le fait est expliqué par l'isotropie totale de ce champ: une particule retrouve toujours dans chaque direction la même «épaisseur» de Métagalaxie agissant sur elle. Une telle isotropie garantit la symétrie des probabilités de déplacements élémentaires, ainsi que le caractère scalaire de l'effet de champ métagalaxique.

Si nous désignons l'«existence» d'un objet physique par les micro-processus qui remplissent sa ligne d'Univers (le terme «être» est conservé pour les déterminations complémentaires de l'existence d'un objet physique et de son comportement — sa ligne d'Univers), le champ métagalaxique peut être nommé *champ d'existence*.