Zeitschrift: Verhandlungen der Schweizerischen Naturforschenden Gesellschaft = Actes de la Société Helvétique des Sciences Naturelles = Atti della Società Elvetica di Scienze Naturali

Herausgeber: Schweizerische Naturforschende Gesellschaft

Band: 114 (1933)

Artikel: Les théories de l'Univers ou les dangers de l'extrapolation

Autor: Jaquerod, Adrien

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-90395

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. 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. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

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. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

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. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 14.12.2025

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

Les théories de l'Univers ou les dangers de l'extrapolation

Par

ADRIEN JAQUEROD
Prof. de Physique à l'Université de Neuchâtel

Monsieur le Président,
Mesdames, Messieurs,

En commençant, je tiens à m'excuser de lire cette conférence. Ça n'est pas mon habitude, et je sais qu'une conférence dite est plus vivante, plus agréable à suivre qu'une conférence lue. Mais il s'agira ici de questions assez délicates, ayant trait à la philosophie des sciences, et qui ne sont pas de celles qu'un physicien manipule chaque jour. Je tiens à dire exactement ma pensée et à la dire si possible clairement; je tiens surtout à ne pas vous faire perdre votre temps. C'est ce qui m'a obligé à rédiger entièrement les considérations que vous allez entendre.

Je ne suis pas du tout un spécialiste des théories dont je vous entretiendrai. Afin de ne pas pécher contre ce que CHWOLSON appelait le onzième commandement, et qui s'énonce: « tu ne parleras pas de ce que tu ne connais pas », je me bornerai à vous exposer, dans leurs grandes lignes seulement, certaines théories de l'univers, et très schématiquement. Mon objectif principal sera de chercher à fixer, en votre compagnie, le degré de confiance que l'on peut avoir en elles, la certitude que l'on peut en attendre. J'ai longuement réfléchi à ces questions, du point de vue de la physique expérimentale, et suis arrivé à une conviction qui, j'en ai peur, se trouvera assez opposée à celle de certains théoriciens de l'univers. Qu'ils veuillent bien ne pas s'en choquer et ne pas y trouver de l'outrecuidance de ma part, mais seulement y reconnaître le fruit, légèrement vert peut-être, des réflexions d'un phy-

sicien cantonné sur le terrain ferme de l'expérience. Je ne me fais donc pas d'illusions et suis bien sûr de rencontrer de nombreux contradicteurs. Mais n'a-t-on pas dit que du choc des opinions peut naître la lumière? . . . . .

* * *

Je rappellerai tout d'abord la notion fondamentale de précision, et la différence essentielle qui existe entre la précision mathématique, telle qu'on la rencontre dans les mathématiques dites *pures,* et celle à laquelle on a affaire en physique ou dans les sciences voisines, comme l'astronomie qui nous occupera plus spécialement. Dans ces derniers cas, les mathématiques sont *appliquées,* utilisées comme un outil, outil d'ailleurs d'une merveilleuse puissance.

La *précision mathématique* est rigoureuse, absolue, une fois admis certains axiomes fondamentaux. Prenons un exemple très simple: chacun connaît la parabole, cette courbe si fréquemment rencontrée, à l'allure harmonieuse, dont les deux extrêmités vont se perdre dans les brouillards de l'infini. On peut la définir géométriquement comme la courbe dont tous les points sont à égale distance d'un foyer et d'une droite fixe. On peut aussi l'exprimer analytiquement par une équation. $y = 2x^2$ par exemple représente une certaine parabole, supposée rapportée à deux axes rectangulaires contenus dans un plan illimité. Si x vaut 1 cm. y en vaudra 2; si x vaut 2, y vaudra 8, et ainsi de suite, rigoureusement. On peut tout aussi bien calculer la position d'un point de notre parabole situé à 10 000 kilomètres ou à 500 000 années lumière; l'exactitude sera rigoureuse.

La *précision physique* est au contraire limitée par les conditions expérimentales; elle est relative. Considérons un autre exemple très simple. Je suppose qu'on veuille étudier l'influence de la température sur la longueur d'une barre de fer. On préparera une barre bien dressée, dont la longueur sera par exemple exactement de un mètre à zéro degrés. Insistons sur le fait qu'en disant «exactement», il ne s'agit pas cette fois de la même exactitude rigoureuse que tout à l'heure. En effet, on pourra mesurer la longueur de la barre à un centième de mm. près, peut-être à un millième; il sera très difficile d'aller plus loin. Portant cette barre successivement aux températures de 100°, 200°, etc., jusqu'à 500° on mesurera chaque fois sa longueur. Aux températures élevées

la précision sera nécessairement un peu moindre, car il est beaucoup plus difficile de mesurer la longueur d'une barre de fer portée au rouge naissant que de le faire à froid.

On peut alors représenter chacune de ces expériences par un point placé sur un graphique, en portant par exemple la température sur l'axe horizontal et la longueur de la barre sur l'axe vertical. On peut enfin joindre ces points par une courbe régulière, qui fera connaître la longueur de la barre à n'importe quelle température comprise entre 0 et 500 degrés. On utilise ce faisant ce qu'on appelle une *méthode d'interpolation;* la précision sera naturellement la même que celle des mesures, ou légèrement inférieure.

Rien n'empêche, puisque la courbe présente une allure bien régulière, de la prolonger quelque peu au delà de 500 degrés, donc de la dernière observation; par exemple jusqu'à 600 ou 700 degrés. On pratique dans ce cas une *extrapolation.* Il saute je pense à l'œil que la précision du résultat va décroître avec l'ampleur de l'extrapolation et que, si l'on prolonge la courbe jusqu'à 1200° par exemple, comme elle n'est plus soutenue de part et d'autre par les points expérimentaux mais flotte pour ainsi dire dans l'espace, on devra craindre une erreur de plusieurs dixième de mm. ou même davantage.

On pourra maintenant exprimer analytiquement cette courbe par une équation donnant la longueur de la barre en fonction de la température. Ce sera justement celle d'une parabole. Vous voyez d'emblée que, le résultat étant mis sous forme mathématique, cette équation va représenter une courbe illimitée, définie dans toute l'échelle des températures avec une rigoureuse précision. Il ne sera pas impossible alors d'imaginer un mathématicien extrêmement pur qui se poserait le problème suivant: connaissant la longueur de la barre à zéro degrés, et l'équation qui représente sa dilatation, calculer sa longueur à 253 000 degrés. Et rien ne l'empêchera de la calculer au millionième de mm. ou même avec une précision bien supérieure. Que vaudra le résultat? Vous souriez en pensant à cette énorme extrapolation; vous souriez davantage encore parce que vous songez qu'avant de parvenir à cette température, d'ailleurs inaccessible, la barre aura subi divers petits accidents. A 1500° elle fondra, et le liquide résultant de ce phénomène n'aura plus aucune longueur. Un peu plus haut elle se volatilisera, et sa longueur s'évanouira définitivement en fumée. Autrement dit, phy-

siquement parlant, la courbe ne continue pas indéfiniment. Elle a un point d'arrêt à 1500° environ; mais ce point singulier est tout à fait invisible dans l'équation mathématique.

Nous allons supposer des physiciens vivant dans un monde où n'existerait comme solide, que le fer et, puisque nous nous amusons à faire des hypothèses, où il serait impossible de dépasser la température de 500°. A ces physiciens là, l'extrapolation jusqu'à 5000 ou 10 000° pourrait paraître légitime, puisqu'ils ignoreraient tout du phénomène de la fusion. Cependant, en tant que physiciens expérimentaux, ils sauraient que plus l'extrapolation est poussée loin et plus augmente l'incertitude du résultat, que par conséquent si on la pousse jusqu'à des températures extrêmes, l'erreur possible devient si grande que le résultat est illusoire et finit par perdre toute signification. Si les connaissances de physique moléculaire de nos savants supposés étaient très avancées, peut-être pourraient-ils prévoir l'existence du point singulier que représente la fusion sans l'avoir effectivement observé; mais cela n'est pas du tout certain.

Dans l'histoire de la physique on rencontre bien des cas où de pareils points singuliers n'ont été découverts qu'après que l'on eût fait des suppositions qui nous semblent aujourd'hui étranges sur les propriétés des corps. Comme seul exemple je citerai le *point critique* des fluides. Alors qu'on ne le connaissait pas, des physiciens de premier ordre ont cherché à liquéfier certains gaz à la température ordinaire en les comprimant jusqu'à plusieurs milliers d'atmosphères. On sait de nos jours que cette liquéfaction est impossible, quelle que soit la pression, au-dessus d'une certaine *température critique* qui, pour l'air par exemple, est de —150°. Tous les efforts étaient donc vains. Mais il n'était pas facile de prévoir, d'après ce que l'on connaissait alors des fluides, l'existence du point critique.

Je vous parlerai maintenant d'une autre extrapolation qui nous rapprochera de notre sujet: les théories de l'univers. Vous savez que plus un corps est chaud et plus il rayonne. Ce rayonnement commence par être invisible, tel celui d'un mur chauffé par le soleil, que l'on perçoit à plusieurs mètres de distance. Vers 500° le rayonnement contient des ondes visibles: le corps est rouge naissant. Puis son spectre s'étend de plus en plus vers le violet, l'apparence du corps est de plus en plus claire j'usqu'au blanc éblouissant. Ce rayonnement thermique a été énormément étudié durant ces trente dernières années, soit par les physiciens expéri-

mentaux, soit par les théoriciens. Son étude a joué un rôle de premier plan dans le développement de la physique et conduit à l'hypothèse des quanta, dont on sait l'importance essentielle. Les lois du rayonnement, pour certains corps particuliers dits corps noirs, peuvent se mettre sous une forme analytique exprimée par la formule de Planck, et peuvent aussi se représenter par une courbe, ou plutôt par un système de courbes. Il fallait naturellement pour que la célèbre formule de Planck fût valable, donc pour que la loi fût acceptée par les physiciens, il fallait que ces courbes fussent vérifiées expérimentalement. Des expériences très minutieuses, et qui ont duré des années, ont été entreprises dans divers laboratoires pour cette vérification. L'on peut dire aujourd'hui que la formule de Planck représente très bien les phénomènes expérimentaux jusqu'à 2000° environ.

Naturellement, aux températures élevées, les expériences sont particulièrement délicates surtout en ce qui concerne la mesure des températures, et la précision ne dépasse pas quelques degrés. On admet cependant, et cela surtout sur la foi de vues théoriques, que la formule de Planck peut être extrapolée autant que l'on veut. Les physiciens expérimentaux procèdent avec prudence ; mais les astronomes, et spécialement les théoriciens, s'en donnent à cœur joie.

En étudiant le rayonnement d'un corps inaccessible, un astre par exemple, on pourra, en se basant sur la formule de Planck et faisant certaines hypothèses accessoires, en déduire la température superficielle. C'est ainsi que celle du soleil est évaluée à environ 6000°. L'extrapolation n'est pas bien considérable, et l'incertitude faible. Pour les étoiles on trouve des températures très variables, qui peuvent monter jusqu'à 20,000, 30,000° et même davantage. L'incertitude croît naturellement; mais certains recoupements permettent d'avoir une foi encore assez grande dans ces évaluations.

Un théoricien de génie, Eddington, est allé beaucoup plus loin. Il se proposait de calculer a priori la température de l'*intérieur* des étoiles. Il se base pour cela, non seulement sur les lois du rayonnement, mais encore sur d'autres lois physiques relatives aux gaz, à la pression de radiation, etc. Il fait en outre diverses hypothèses concernant l'état de dissociation de la matière aux très hautes températures. Il parvient alors à ce résultat curieux que le centre de toutes les étoiles aurait à peu près la même température, d'environ — ouvrez bien les oreilles — 35 millions de degrés!

On peut sans exagération taxer d'audacieuse l'extrapolation. Par analogie avec l'exemple étudié il y a un instant on peut même se demander s'il ne pourrait pas exister un point singulier de la matière, tout à fait inconnu et inconnaissable actuellement, vers deux ou trois millions de degrés par exemple. Il me paraît impossible d'affirmer qu'un tel point singulier ne peut exister; car nous ne savons rigoureusement rien des propriétés de la matière à quelques millions de degrés, si ce n'est justement ce que nous pouvons soupçonner à force d'hypothèses et d'extrapolations. Que subsisterait-il alors du résultat d'Eddington? Je vous laisse le soin de conclure.

En parlant de la constitution de l'univers nous allons retrouver des extrapolations plus audacieuses encore, et l'incertitude croîtra jusqu'à l'infini.

* * *

Les théories de l'univers, ou théories cosmogoniques, ont la prétention de donner une image de la constitution de l'univers, c'est-à-dire de tout ce qui existe. Elles prétendent, en utilisant les théories et les lois de la physique, prévoir quelle sera l'évolution de cet univers, par conséquent son état dans l'avenir. Elles prétendent enfin, en remontant dans le passé, donner une idée de ce que peut avoir été l'origine de cet univers.

Au début on s'est contenté de spéculations concernant notre voisinage le plus proche: le système solaire. Dès que l'on eût reconnu l'ordre admirable qui règne dans le mouvement des planètes autour du soleil, on chercha à donner une interprétation de cet ordre au moyen d'hypothèses plus ou moins plausibles. La plus connue est la fameuse théorie de la nébuleuse primitive, due à Kant et à Laplace. On sait qu'elle consiste à admettre que le système solaire tout entier était constitué, à l'origine, par un immense globe de matières gazeuses et incandescentes qui s'est petit à petit refroidi et condensé. On peut supposer différents processus à cette condensation. Concevoir par exemple que la masse s'est contractée en tournant sur elle-même et qu'il s'en est détaché successivement les différentes planètes qui ont continué leur révolution autour de l'astre central, à peu près dans le même plan. On peut aussi supposer que, dans la nébuleuse primitive, des centres de condensation sont apparus, autour desquels la matière s'est progressivement accumulée, et qui sont aujourd'hui le soleil et les planètes. On peut

enfin concevoir que le passage d'une étoile à petite distance du soleil, alors astre unique, aurait provoqué sa dislocation et lancé dans l'espace, à ses dépends, le cortège de planètes en question. Les théories sont nombreuses, ce qui laisse à penser qu'aucune n'est entièrement satisfaisante.

Aujourd'hui on est beaucoup plus ambitieux, et les théories cosmogoniques s'étendent à l'univers entier. Les lois de la physique, reconnues valables par des recherches expérimentales dans un domaine nécessairement très restreint, sont extrapolées jusqu'à l'infini avec une hardiesse vraiment merveilleuse, et les auteurs paraissent ajouter une très grande foi aux résultats auxquels ils parviennent, alors même que ces résultats sont très différents suivant l'auteur et le point de départ, qu'ils varient même d'une décade à l'autre de telle façon qu'il est difficile de les reconnaître. Dès qu'une théorie nouvelle semble suffisamment assise, il se trouve un théoricien pour l'appliquer à l'univers.

Des essais importants ont été faits, par exemple, à l'aide des théories cinétiques. On sait qu'elles consistent à admettre que les atomes et molécules qui constituent la matière sont animés de mouvements incessants. Ces théories sont surtout bien développées pour l'explication des propriétés des gaz. Les molécules des gaz sont considérées comme animées de mouvements de translation, qui s'effectuent sensiblement en ligne droite tant qu'elles sont éloignées les unes des autres, mais qui présentent des incurvations brusques lorsque deux molécules s'approchent suffisamment. Les astronomes ont reconnu que la répartition des étoiles dans le ciel et leurs mouvements propres peuvent être assimilés à ceux des molécules gazeuses. On peut donc appliquer les théories cinétiques au système entier des astres. Remontant dans le passé, on peut chercher, en se basant toujours sur les mêmes théories et en appliquant le calcul des probabilités, à rendre compte de la répartition actuelle des étoiles.

A cet égard je vous parlerai d'une théorie célèbre de l'univers due au mathématicien anglais Jeans, et dont voici l'essentiel. Jeans admet un chaos primitif. L'univers, au début, était constitué uniquement d'atomes séparés les uns des autres et animés de mouvements semblables à ceux que considère la théorie des gaz. On peut même, avec Eddington, supposer la dissociation initiale poussée jusqu'aux protons et aux électrons. Comme la densité moyenne de la matière

est très faible dans l'univers — on peut l'évaluer avec une exactitude assez grande, du moins dans notre voisinage — ces atomes étaient très éloignés les uns des autres. Néanmoins, au caprice des rapprochements et des chocs, se seraient formés petit à petit des centres de condensation; ces noyaux auraient grossi progressivement en attirant les molécules de leur voisinage, puis celles de plus en plus éloignées, et seraient en définitive devenus les nébuleuses et les étoiles. Entre les étoiles règne aujourd'hui le vide interstellaire pratiquement dénué de matière. D'après la théorie des probabilités, base mathématique des théories cinétiques, on peut évaluer le temps qui s'est écoulé entre la formation des nébuleuses primitives et l'état actuel de la portion de l'univers accessible à nos observations. On trouve naturellement un temps très considérable, se chiffrant par bien des milliards d'années, de telle sorte que l'univers est certainement très vieux.

A propos de cette théorie de Jeans, il m'est venu une idée que j'ai soumise à un mathématicien s'occupant de ces questions. Il n'a pas daigné la prendre en considération. Le problème était cependant bien digne de tenter un théoricien, car il ne s'agissait de rien moins, en effet, que de remonter jusqu'à la date de la création du monde. On pourrait en effet, me semble-t-il, calculer le temps nécessaire à la formation des premiers centres de condensation et trouver par conséquent *la durée du chaos primitif* donc, comme je le disais, remonter à l'origine des temps . . .

Je me souviens avoir eu entre les mains, il y a quelques années un vieux dictionnaire d'histoire et de géographie. Oh! il n'était pas bien vieux! il datait je pense du milieu du siècle dernier, époque à laquelle il existait, et il avait existé des savants de premier ordre. Ce dictionnaire débute par une chronologie relative aux faits les plus notoires de l'histoire du monde, et dont la première ligne porte: An 6300 av. J.-C., création du monde. Puis viennent des événements de moindre importance. Il n'est point besoin de vous dire que cette date n'est depuis longtemps plus généralement admise. Les historiens et préhistoriens, les zoologistes, les géologues surtout, se sont récriés en faisant remarquer qu'il leur était impossible de caser dans quelque huit mille ans tous les événements constatés. L'apparition de la vie sur la terre a été reculée successivement à des centaines de mille, à des millions, puis à des dizaines de millions d'années. On en est

aujourd'hui entre un et deux millards, grâce à des méthodes basées notamment sur l'étude de certains phénomènes radioactifs, méthodes qui permettent une précision assez grande. Mais rien n'empêche de penser que des découvertes nouvelles obligeront peut-être, une fois ou l'autre, à reculer encore cette origine. La terre elle-même, si elle a été tout d'abord incandescente, est nécessairement beaucoup plus vieille, et à plus forte raison l'univers. On voit donc tout l'intérêt qu'il y aurait à fixer au moyen de la théorie de Jeans la date si controversée de la création du monde, et mettre fin à tant de divergences. Une fois cette date établie avec certitude, pour que l'événement le plus important, sans contredit, de l'histoire du monde soit définitivement classé, il ne resterait plus qu'à déterminer le lieu . . . et le nom de l'auteur, naturellement.

L'âge de notre modeste planète a donc été l'objet d'estimations très variables. On s'est borné tout d'abord à des évaluations vagues; puis les géologues ont utilisé les données relatives à la salure des océans, à l'épaisseur des couches sédimentaires, etc. Une méthode physique nécessitant bien des hypothèses, et qui rentre par conséquent dans notre sujet, fut utilisée il y a plus de soixante ans par lord Kelvin. Ce savant admet, comme on l'avait déjà fait avant lui, que la terre a commencé par être incandescente, puis s'est refroidie lentement. Il arrive alors à calculer, en admettant une certaine conductibilité des diverses couches terrestres et se basant sur les lois de la conduction calorifique, le temps qui s'est écoulé jusqu'à l'état actuel. Il parvient ainsi à quarante millions d'années environ. Certes l'humanité, en prenant connaissance de ce résultat, dut être inquiète de son avenir. Le refroidissement, en effet, devait se poursuivre de façon inexorable d'après ce qui était alors connu, et quelques millions d'années seulement restaient à vivre à cette pauvre humanité, dans des conditions de plus en plus dures.

On fut cependant bientôt frappé du désaccord qui régnait entre l'évaluation de lord Kelvin et celle des géologues qui estimaient que des centaines de millions d'années avaient du s'écouler depuis l'apparition de la vie sur la terre; mais on fut longtemps à trouver l'explication. Elle fut fournie, et de façon très élégante, non pas par un théoricien, mais par la découverte d'un phénomène entièrement nouveau: la radioactivité. Notre globe contient des matières radioactives qui dégagent continuellement de la chaleur et maintiennent ainsi, en compensant les pertes dues au rayonnement, une

température à peu près constante depuis, probablement, plus d'un milliard d'années. On voit par cet exemple singulièrement instructif à quel point l'ignorance d'un facteur expérimental peut rendre caduc le plus imposant résultat théorique.

* * *

Comme il était naturel, les théories les plus récentes de la physique: relativité généralisée, mécanique ondulatoire, ont été mises à contribution pour l'édification de théories de l'univers. Leur application a conduit à des résultats sensationnels dont quelques-uns nous retiendrons un peu plus longuement.

Vous savez que ces théories modernes sont très difficiles à suivre dans leurs détails, et que seuls des spécialistes, dont je ne suis pas, sont capables de le faire. Il est cependant possible d'en donner une idée et, pour ce qui nous concerne, une idée tout à fait générale sera suffisante. Les notions usuelles de temps et d'espace y sont passablement bouleversées. Notre géométrie habituelle, la bonne vieille géométrie euclidienne que nous avons apprise sur les bancs de l'école, y est remplacée par une géométrie non-euclidienne; une droite cesse d'être l'unique plus court chemin d'un point à un autre; la somme des trois angles d'un triangle ne vaut plus 180° ou deux droits, etc. Le temps, dans cette théorie, dépend du système de référence dans lequel on se place et l'idée de temps absolu, si ancrée dans les esprits, y est abandonnée. Enfin, pour les besoins du calcul, on introduit un espace à quatre dimensions.

Nous ne pouvons, avec la meilleure bonne volonté du monde, nous représenter un espace à plus de trois dimensions: largeur, hauteur, profondeur; mais les mathématiciens introduisent volontiers des dimensions supplémentaires. On comprendra facilement que ce soit logiquement possible, sans que le résultat puisse nous apparaître muni d'une représentation physique. La relation $x^2 + y^2 = 16$, par exemple, représente dans un plan, espace à deux dimensions, une courbe, plus précisément une circonférence de rayon 4. Ajoutons une troisième variable: $x^2 + y^2 + z^2 = 16$ représentera, dans l'espace à trois dimensions, une sphère de rayon 4, rapportée à trois axes rectangulaires. Il n'est pas possible d'aller plus loin si l'on désire rester dans le domaine des abstractions que nous sommes capables de nous représenter. Mais logiquement, mathématiquement, qui empêche d'ajouter encore une variable, et d'écrire: $x^2 + y^2 + z^2 + u^2 = 16$

et de dire que cette équation représente une hypersphère dans l'espace à quatre dimensions? puis de raisonner sur cet être conventionnel comme nous raisonnons sur la sphère ou la circonférence? Qui empêche même d'ajouter un nombre quelconque de variables supplémentaires et d'arriver ainsi à des hyperespaces d'un nombre quelconque de dimensions? Ce n'est pas seulement par jeu de l'esprit que l'on considère de tels espaces. Ils prennent, en mathématique pure et en physique, une importance considérable et mettent dans la main du théoricien un puissant instrument d'analyse.

Dans la théorie de la relativité on considère un espace à quatre dimensions dont la quatrième est le temps. Ce n'est que par un artifice de calcul que l'on peut ainsi assimiler le temps à une dimension de l'espace, et il faut se garder de prendre cette assimilation au pied de la lettre comme on le fait trop souvent. Jamais un physicien, pas plus que l'homme de la rue, n'aura l'idée d'identifier rigoureusement un temps à une dimension spaciale, à une longueur. Ce sont deux grandeurs essentiellement distinctes l'une de l'autre et que notre esprit ne pourra confondre. Elles jouent dans la vie de tous les jours, aussi bien que dans les phénomènes qu'étudie la physique, un rôle essentiellement différent. Cette différence apparaît déjà dans le fait que nous pouvons à volonté, entre certaines limites, nous déplacer dans l'espace: en avant, en arrière, et revenir à notre point de départ; tandis que le temps nous apparaît comme s'écoulant de façon inexorable, indépendamment de notre volonté, et que nous ne songerions pas un instant à remonter à notre origine. Mais par un artifice de calcul, je le répète, on parvient à faire entrer dans les équations de la physique relativiste le temps comme y entrent les trois dimensions de l'espace. On se forge ainsi un espace quadridimensionnel, ou espace-temps, sur lequel on raisonne mathématiquement. Il n'est naturellement pas euclidien. Appliquées à la propagation de la lumière, les équations conduisent au résultat surprenant que l'agent rectiligne par excellence de la physique classique préfère au contraire une voie généralement courbe. La lumière émise par une étoile, même, peut nous parvenir par deux voies différentes, et peut-être davantage: le chemin le plus direct et ... le chemin de l'école, faisant un tour d'univers avant de frapper notre œil ou nos instruments. Nous voyons donc peut-être la même étoile à deux places différentes, puisque nous recherchons toujours la source du rayon qui nous par-

vient dans la direction de son arrivée. Il y a peut-être des fantômes d'étoiles. Et l'on devine à quel point ce phénomène pourrait devenir gênant lors de l'établissement d'une statistique stellaire, puisqu'il rendrait impossible le dénombrement correct des astres réels.

Ceci m'amène à dire en passant quelques mots de la base expérimentale des théories de l'univers, c'est-à-dire des observations qui nous font connaître la répartition des étoiles dans l'espace, leurs distances, leurs dimensions, etc. Il n'est pas question d'entrer dans les détails ; le principe seul nous intéresse ici.

Les distances sont toujours très grandes et fort difficiles à évaluer. On sait qu'elles s'expriment souvent en années lumière, chemin parcouru en un an par la lumière à raison de 300 000 km par seconde, et que les étoiles les plus voisines sont au moins à quatre années lumière de nous. L'approximation dans la mesure de telles distances est faible. De plus, les étoiles pour lesquelles une mesure directe est possible sont très peu nombreuses.

Pour les astres plus éloignés on est obligé d'utiliser des méthodes indirectes, basées en général sur des moyennes, sur des notions statistiques ; autrement dit on procède par extrapolation, de proche en proche. Admettant que dans les régions plus lointaines les étoiles se comportent comme dans notre voisinage, on estime leurs distances d'après leur éclat, et l'on continue à extrapoler jusqu'aux confins de l'univers. Naturellement la précision des estimations décroît à mesure que la distance augmente, en application de la loi générale exposée au début de ce discours. Il serait bien intéressant de chercher à estimer l'erreur possible commise dans l'estimation des distances des nébuleuses extra-galactiques.

On sait en effet que notre système solaire fait partie d'un ensemble d'étoiles dont la voie lactée est l'élément le plus apparent, et qui se nomme pour cela galaxie ou système galactique. Les nébuleuses extra-galactiques, les fameuses nébuleuses spirales notamment, forment, chacune pour son compte, des systèmes aussi compliqués que celui auquel appartient notre soleil. Elles comptent des millions d'étoiles. Leurs distances se chiffrent par centaines de milliers ou par millions d'années lumière. L'évaluation de ces distances énormes n'est possible, cela va sans dire, que par des méthodes indirectes qui supposent que les astres composant les nébuleuses résolubles sont soumis aux mêmes variations, aux mêmes vicissitudes que ceux dont la distance est moindre. Il est évident que les astre-

nomes n'ont à leur disposition que ces moyens indirects, mais l'on peut imaginer la part d'incertitude que comportent de telles estimations.

* * *

Quels sont maintenant les résultats de l'application à l'univers entier des lois de notre physique, lois qui ne sont vérifiées, j'y insiste encore une fois, que dans un domaine extrêmement restreint? L'extrapolation étant illimitée, l'incertitude le sera aussi, ce qui signifie que la certitude sera nulle et que ces déductions n'auront que la valeur qu'on voudra bien leur attribuer. Elles méritent en tout cas un succès de curiosité. Et je dis cela sans l'ombre d'ironie, car il est extrêmement intéressant de chercher à percer le voile de l'inconnaissable à l'aide des seuls moyens dont nous disposions, si certains que nous puissions être de l'insuffisance de ces moyens.

La première question qui se pose est la suivante: l'univers est-il fini ou infini? La réponse qui vient immédiatement à l'esprit est: l'univers est infini, autrement qu'y aurait-il après, qu'y aurait-il derrière? Le vide, l'espace pur, sans autre, est encore quelque chose et l'on ne peut, semble-t-il, concevoir de limites. C'est en effet la réponse qui a été longtemps admise, celle qui s'impose tant que l'on se place sur le terrain de la géométrie euclidienne. Les lois de la mécanique classique laissaient bien craindre, si l'on admettait que la masse totale des astres est également infinie, une instabilité de l'ensemble. Mais comme cet ensemble paraît se comporter avec une stabilité assez rassurante, on passait sur cette difficulté.

L'introduction des théories relativistes a modifié ce point de vue du tout au tout, c'est bien le cas de le dire. D'après ces théories *l'univers est fini.* On peut ergoter sur sa forme, et l'on admet en général la forme sphérique; mais ses dimensions approximatives peuvent être fixées: le rayon de l'univers dépasserait un milliard d'années lumière. On peut même estimer la masse totale de matière qu'il contient: à très peu près 2×10^{55} grammes, soit un nombre de kilogrammes représenté par un 2 suivi de 52 zéros.

Comme on ne peut toujours pas concevoir de limites, ce résultat paradoxal peut s'exprimer en disant: l'univers est *fini, mais illimité.* C'est assez difficile à saisir. Il ne faut pas oublier que, dans la théorie relativiste, l'espace est courbe en quelque sorte,

ce qui fait qu'en se tenant sur une ligne droite au sens classique du terme, on pourrait en faire le tour sans jamais rencontrer de frontière. Ainsi un voyageur sur notre terre peut se déplacer indéfiniment sur la surface, à laquelle on peut le supposer lié, sans jamais être arrêté par un obstacle et avoir par conséquent l'illusion de l'illimité.

Dans ces conditions l'univers peut être stable, moyennant toujours certaines hypothèses invérifiables, et c'est une grande raison de nous tranquilliser. Mais il y a, hélas! bien d'autres sujets d'inquiétude. C'est ainsi qu'en étendant à l'univers les lois de la thermodynamique, notamment le second principe, on arrive à cette conclusion qu'il tend fatalement vers un état limite où toute transformation sera devenue impossible, où la vie, par conséquent, qui n'est que transformations, aura disparu. La fin du monde autrement dit; et cela dans un avenir assez proche: quelques milliards d'années.

Il y a autre chose encore qui fait grand bruit parmi les théoriciens de l'univers. On a remarqué que le spectre des nébuleuses extra-galactiques est déplacé vers le rouge. On sait que le déplacement du spectre est dû en général à l'effet Döppler, et qu'il permet d'estimer la vitesse radiale des astres; il fournit sur le mouvement propre des étoiles des renseignements extrêmement précieux. Lorsqu'une étoile se rapproche de nous, son spectre est décalé vers le violet; si elle s'éloigne il est déplacé vers le rouge. Chez les étoiles on rencontre les deux cas, ce qui est naturel. Or les nébuleuses lointaines, les nébuleuses spirales, semblent toutes s'éloigner ce qui est inexpliquable si l'on suppose des déplacements ressortissant des lois du hasard. Fait encore plus curieux elles s'éloignent d'autant plus vite, elles nous fuient avec d'autant plus de précipitation qu'elles sont plus lointaines. Vous pensez bien que cette étrange constatation a donné lieu à des discussions passionnées. Mais ce que vous ne pouvez deviner, à moins que vous n'en ayez déjà ouï parler, c'est l'interprétation donnée au fait d'observation. Elle avait été pressentie par De Sitter. L'abbé Lemaitre a réussi à déduire des théories relativistes *l'explication* de cette fuite des nébuleuses: *l'univers se dilate!* L'espace, que l'on peut se représenter comme une sphère finie ainsi que nous l'avons vu, s'enfle sans cesse tel un ballon de caoutchouc!

Cette dilatation, qui cause déjà de l'émotion aux théoriciens, provoquera une véritable inquiétude chez le grand public lorsqu'il

en sera informé. Pardonnez-moi donc, Mesdames et Messieurs, de révéler ce danger à ceux d'entre vous qui ne le connaîtraient pas encore. Si cependant un pauvre homme particulièrement inquiet à ce sujet et privé de sommeil venait me consulter, ce qui n'est pas probable, et me demander si, avec les moyens formidables dont dispose la technique moderne on ne pourrait pas chercher à entraver cette fâcheuse dilatation, je le rassurerais en lui disant: «Un philosophe sans doute célèbre, dont le nom m'échappe, assure que „tout est dans tout“ ; un de ses collègues aurait même complété cette pensée en ajoutant: „et réciproquement“. Nous pouvons donc chercher des motifs de nous rassurer dans n'importe quel domaine familier. Considérez alors les jupes des femmes. Il y a quelques années elles se sont mises à raccourcir jusqu'à devenir extrêmement courtes. Comme elles ne pouvaient tendre asymptotiquement vers zéro, on pouvait prédire avec certitude qu'une fois ou l'autre elles rallongeraient; et c'est ce qui n'a pas manqué de se produire.

Il en sera de même pour l'univers, mais en sens inverse. Il ne peut se dilater indéfiniment, puisque les théoriciens lui assignent des dimensions finies. Il faudra donc bien que l'inquiétante dilatation prenne fin, au besoin dans l'infini du temps, ou qu'elle soit remplacée par une contraction.» Je n'ajouterais pas qu'un autre danger, plus grave encore, pourrait alors se présenter: celui de voir la contraction se poursuivre jusqu'au moment où l'univers entier nous tomberait sur la tête... Et le pauvre homme, rassuré, dormira de nouveau sur ses deux oreilles.

Pour ceux d'entre vous qui désireraient des raisons moins métaphysiques, et davantage assises sur le terrain scientifique habituel, on pourrait en invoquer plusieurs; je me contenterai d'une seule. La théorie de la relativité générale, base actuelle des théories de l'univers, doit être considérée comme une seconde approximation par rapport à la théorie newtonienne, qui l'a précédée, et qui est contenue comme première approximation dans la théorie d'Einstein. Il y a une trentaine d'années des faits expérimentaux nouveaux, la célèbre expérience de Michelson et Morley en particulier, ont obligé les physiciens à élaborer la fameuse théorie. Elle tiendra aussi longtemps que des phénomènes aujourd'hui insoupçonnés, naturellement parfaitement inconnus et dont nous ne pouvons nous faire la moindre idée, ne viendront pas obliger à un remaniement. Telle est la marche incessante, immuable de la science, et il serait

bien téméraire, naïf même, de supposer que notre siècle possède la clé définitive des choses. On doit donc, considérant le développement historique de la science et en se livrant à une extrapolation qui n'a rien d'hasardeux, admettre que dans dix ans ou dans deux siècles peu importe, une nouvelle théorie naîtra, plus générale que ses sœurs cadettes, qui constituera une troisième approximation et contiendra comme approximations inférieures les théories d'Einstein et de Newton. Que donnera, appliquée à l'univers, cette nouvelle théorie? je pense que personne ne se hasardera à le prédire. L'univers de nos successeurs sera-t-il fini ou infini? se dilatera-t-il ou se contractera-t-il? sera-t-il sphérique ou parabolique? Je soumets ce problème insoluble pour l'instant à vos réflexions.

D'ailleurs on considère notre univers comme fermé, comme formant un tout fini, en tablant sur l'état actuel des théories, alors que l'observation se fait à l'aide d'un seul agent: la lumière. Est-il donc absurde de penser que le fait même que nous le trouvions fermé ne soit une conséquence de ce mode d'observation? et qu'un autre agent plus subtil que la lumière, à découvrir naturellement, ne puisse permettre un jour de percer cette sorte d'enveloppe hermétique qu'exigent les théories modernes, et qui borne notre univers? Nous prendrions alors connaissance, peut-être, d'autres univers, fermés également chacun pour son compte du point de vue de l'optique. L'univers actuel ne serait plus qu'une sorte *d'hypergalaxie,* et d'autres hypergalaxies, d'autres univers «optiques», seraient peut-être décelés par nos instruments. Un hyperunivers, un univers de second ordre, qui relèverait d'une nouvelle physique plus étendue, enrichie de découvertes nouvelles insoupçonnées aujourd'hui, apparaîtrait aux yeux éblouis de nos descendants.

Où s'arrêterait cette marche progressive vers un infini d'hyperunivers? et ne pourrait-on la mettre en parallèle avec la marche vers l'ultime constituant de la matière, marche que l'on ne peut, de façon certaine, considérer comme parvenue à son terme?

Rêves, naturellement; mais rêves qui ne peuvent être démontrés absurdes.

* * *

Je voudrais que l'on me comprenne bien et que l'on ne se méprenne pas sur le fond de ma pensée. Il est loin de mes intentions de chercher à démolir des théories édifiées par les savants

les plus en vue de notre époque. Ce serait non seulement une prétention ridicule de ma part, mais encore une mesquinerie dont il serait facile de me démontrer toute l'inanité. J'admire profondément les travaux et les déductions des théoriciens géniaux de l'univers. Je les admire non seulement pour la hardiesse des conceptions, l'ingéniosité prodigieuse qu'elles exigent et les calculs très difficiles qu'elles nécessitent. Je les admire surtout parce que j'y vois ce qui distingue avant tout l'homme, ce qu'il y a peut-être de plus noble en lui: le désir de connaître, le besoin de percer le mystère de tout ce qui l'entoure, la soif de savoir. Ce besoin, cette soif le poussent à généraliser, à extrapoler. Ce sont les seules voies dont il dispose pour étendre à l'insaisissable, à tout ce qu'il ne peut atteindre par le moyen direct de ses sens, cette connaissance qui apparaît à son intelligence comme le but suprême. Généralisations et extensions doivent nécessairement être fondées sur quelque chose; et ce quelque chose ce sont les lois que l'homme a établies par un labeur acharné et séculaire, ensuite de patientes et minutieuses observations, par d'innombrables expériences.

Ce que j'ai cherché à vous démontrer c'est l'incertitude qu'entraîne toute extrapolation, toute généralisation; et c'est le fait que cette incertitude croît en même temps que l'extrapolation elle-même pour devenir infinie si l'on étend à l'univers le résultat d'expériences faites dans un espace très limité, dans des conditions étroitement bornées. Il est regrettable que parfois les auteurs eux-mêmes des théories de l'univers, plus souvent ceux qui les présentent au grand public, n'insistent pas sur cette incertitude, et offrent en pâture des déductions, géniales tant qu'on voudra, mais illusoires, comme des vérités démontrées, comme le «Eureka» définitif de la science. Le fait déjà que ces théories changent d'une décade à l'autre avec une rapidité déconcertante, que les grands physiciens et astronomes de nos jours parviennent à des vues souvent diamétralement opposées à celles des siècles passés, où les théoriciens n'étaient ni moins grands, ni moins géniaux, ce fait devrait rendre circonspect

Eddington, alors même qu'il se laisse généralement entraîner par son admirable tempérament de théoricien génial, insiste souvent sur le caractère hypothétique de ses déductions. Il reconnaît explicitement, en particulier, que le problème des origines de l'univers, le problème du «commencement», semble dépasser les bornes de la science.

De Sitter est plus explicite encore, et je ne puis mieux faire que de citer de lui le passage suivant qui corrobore entièrement ma manière de voir:

« Il ne faudrait pas oublier que toutes ces considérations sur l'univers impliquent une extrapolation effrayante, qui est vraiment dangereuse. J'ai souvent appelé la partie de l'univers dont nous savons quelque chose de sûr, «notre voisinage». Les limites de ce voisinage ont été énormément étendues dans les dernières 10 ou 15 années par les résultats dérivés des observations faites avec les grands télescopes du Mont-Wilson et d'ailleurs; cependant, nous ne connaissons sans doute qu'une portion très faible de l'ensemble de l'univers. Toutes les assertions concernant les portions de l'univers qui gisent au delà de notre *voisinage,* soit dans l'espace, soit dans le temps, sont de pures extrapolations. En faisant une théorie de l'univers, nous devons d'ailleurs consentir à quelque extrapolation et nous pouvons la choisir de façon qu'elle s'accorde avec notre goût philosophique. Mais nous n'avons pas le droit d'attendre qu'elle soit confirmée par les observations futures étendues à des domaines actuellement hors de notre portée.»

Il me semble donc que l'on devrait présenter ces résultats théoriques, ces fruits d'une extrapolation grandiose, de la manière suivante:

Admettons, dirait-on — posons, comme dirait un mathématicien — que les lois établies par la physique expérimentale soient valables d'une façon absolument générale, dans le temps et dans l'espace, et pour toute l'échelle des températures; admettons que les astres que nous voyons, directement ou indirectement, soient les seuls qui existent; faisons encore diverses hypothèses simplificatrices et générales sur la façon dont se comporte la matière dans des conditions qui, pour nous, sont totalement irréalisables, et amusons-nous — c'est un noble jeu — à voir ce qui résultera de l'application à l'univers de ces lois et de ces hypothèses. Nous parvenons à tel résultat curieux: l'univers, contre toute attente, est fini; il contient tant de grammes de matière; il ne durera que tant de milliards d'années; etc., etc. Nous savons bien que ces données présentent une incertitude totale, mais nous pensons néanmoins qu'elles pourront intéresser puisqu'elles représentent les seuls éléments que nous puissions déduire de l'état actuel de nos connaissances, et alors même qu'il nous paraît infiniment probable

que nos successeurs trouveront autre chose. Nous laissons à ces successeurs la porte ouverte; ils ne pourront pas rire de nos élucubrations puisque nous leur donnons d'emblée leur juste valeur.

Cela serait jouer franc jeu.

Mais l'orgueil humain n'y trouverait pas son compte, et certains savants ne semblent même pas avoir la notion très nette de la relativité de leurs conclusions. L'emploi du language mathématique peut expliquer dans une certaine mesure cette rigidité de pensée — j'allais dire cadavérique. Les mathématiques conduisent, dans leur domaine pur, à des résultats absolus. Inconsciemment, de bonne foi, on attribue la même rigueur à des déductions d'ordre mathématique relatives à la physique ou à l'astronomie, en perdant de vue l'incertitude du point de départ.

On a comparé les mathématiques à un moulin qui ne restitue que ce qu'on y a mis. Pour grossière que soit cette comparaison, elle fait toucher du doigt le fond même de la question; il serait bon que les spécialistes y réfléchissent de très près. Lorsqu'on met du blé dans un moulin, on recueille de la farine. Si l'on y met des grains de café, le moulin rendra de la poudre de café; mais jamais vous n'en obtiendrez de la farine. Ainsi les mathématiques appliquées aux sciences transforment-elles l'apparence des prémisses que l'on place à la base des théories, sans en changer la nature. La nouvelle forme est souvent extrêmement intéressante, inattendue, importante; elle était néanmoins implicitement contenue dans les hypothèses du début et partage leur approximation et leurs incertitudes. La magie de l'expression courante: «on démontre mathématiquement que ...» devrait cesser d'éblouir dès qu'il s'agit de questions qui relèvent de l'expérience ou des observations.

L'orgueil humain, inconscient lui aussi, explique souvent cette attitude intransigeante. L'homme s'admire dans ses œuvres. L'humanité est actuellement à genoux devant la machine et s'en rend l'esclave — alors qu'elle risque de périr par la machine — pour cela même qu'elle l'a créée; et dans son admiration ingénue elle s'adore dans sa créature. Pareillement l'homme s'adore dans la création spirituelle qu'est la science. Oubliant les imperfections, les lacunes innombrables et l'impuissance de cette science dans tant de domaines, il y croit en aveugle et l'imagine capable, justement par ce qu'il l'a créée, des plus grands miracles.

Si les jouissances que l'orgueil peut procurer sont vives et glorieuses, elles sont éphémères, et la modestie peut en faire éprouver, sinon d'aussi éclatantes, du moins de plus pures et de plus durables. Reconnaissons donc modestement que certaines connaissances sont hors de notre portée, et qu'il nous faut renoncer à résoudre certains problèmes autrement que par jeu ou par un acte de foi. Ainsi, depuis que l'homme pense, il discute la question du déterminisme et du libre arbitre. Malgré l'effort des plus grands philosophes, des penseurs les plus profonds, aucune solution définitive n'a été trouvée. On peut penser qu'elle n'existe pas. Il en est de même du problème de la constitution intime de la matière. La rapidité avec laquelle les conceptions se modifient, les schémas se renouvellent, au caprice des découvertes expérimentales, fait pressentir l'insondable mystère qui entoure cette question capitale et doit rendre sceptique, d'un sain scepticisme scientifique, le savant le plus enthousiaste de la théorie du jour.

Il en va encore ainsi, je dirai presque « a fortiori », des questions touchant à l'univers : ses dimensions, sa masse, sa durée probable dans le passé ou dans l'avenir. Que l'homme aiguise son esprit en discutant ces problèmes, qu'il se plaise à considérer les résultats où conduisent certaines hypothèses, rien de mieux. Mais qu'il ait alors la modestie et la sagesse de ne pas prétendre à des résultats définitifs.

Aussi bien la grandeur, la beauté de la recherche scientifique, résident-elles dans l'effort même que nécessite cette recherche bien plus que dans le résultat. L'homme s'élève en cherchant ; il cesse peut-être d'être grand lorsqu'il s'imagine avoir trouvé.

Et puisque cette conférence s'achève, bien malgré moi, presque comme un sermon je vous propose, Mesdames et Messieurs, en guise de morale, l'adage antique qui me semble la résumer de façon lapidaire : l'expérience est la source de toute vérité.

Mais les théoriciens répliqueront, et avec raison, qu'il est terriblement difficile d'expérimenter sur l'univers . . .