

Pour comprendre Einstein

Moreux

LU AVEC LIREGRATUITEMENT.COM

Livre libre de droits, lisible gratuitement en ligne et en quinze minutes par jour.

Chapitre 1

Pour comprendre EINSTEIN...

PAR l'Abbé Th. MOREUX DIRECTEUR DE L'OBSERVATOIRE DE BOURGES

Avec figures dans le texte

PARIS LIBRAIRIE OCTAVE DOIN GASTON DOIN, ÉDITEUR 8, PLACE DE L'ODÉON, 8

1922 Tous droits réservés Copyright by Gaston Doin, 1922

DU MÊME AUTEUR

A LA MÊME LIBRAIRIE

Bibliothèque d'Éducation scientifique:

Pour comprendre l'Arithmétique, un vol. in-16 de 216 pages avec figures, cartonné 8 fr. »

Pour comprendre l'Algèbre, un vol. in-16 de 252 pages avec figures, cartonné 8 fr. »

Pour comprendre la Géométrie plane, un vol. in-16 de 252 pages avec 218 figures, cartonné 8 fr. »

* * * * *

Les Énigmes de la Science, un vol. in-16 de 304 pages avec fig. dans le texte et 8 pl. hors texte 8 fr. »

Origine et Formation des Mondes, un volume in-8 de 416 pages avec 124 figures dans le texte et 18 planches hors texte 25 fr. »

L'Étude de la Lune, avec Dictionnaire sélénographique, nouvelle édition, un volume in-16 de 168 pages 6 fr. »

Petit Formulaire mathématique (Tables de logarithmes, des lignes trigonométriques, des carrés et des cubes, des racines carrées et cubiques, de la mortalité, etc., etc.), un vol. in-16 de 96 pages, cartonné 5 fr. »

Les autres Mondes sont-ils habités? un volume in-16 (Nouvelle édition, sous presse).

POUR COMPRENDRE EINSTEIN...

INTRODUCTION

Peu de théories, en ces dernières années, ont suscité autant de conversations et de controverses que les doctrines de la relativité: Confinées tout d'abord en un cénacle fort restreint de savants, elles ont peu à peu gagné les salons, la presse, le grand public.

Lors de son dernier passage à Paris, Einstein lui-même se demandait les raisons d'un tel engouement pour un sujet de pure science et dont la discussion, en raison des difficultés d'ordre mathématique qu'elle comporte, ne saurait être fructueuse en dehors des initiés.

Or, il suffit d'être en contact permanent avec ce même public pour saisir les causes profondes de son émoi. Non certes que les Traités sérieux sur la Relativité, s'étalant aux vitrines des éditeurs, aient pu, malgré leur multiplicité, pénétrer tous les mi-

lieux, mais simplement parce que nous avons assisté en ces derniers mois, à la glose de la doctrine, par des vulgarisateurs dont la plupart, ayant à peine saisi les nuances si subtiles des théories en jeu, n'ont pas craint d'en dénaturer les conclusions. Dans une sphère plus élevée, des physiciens qui, depuis plusieurs années, professent l'exposé des nouveaux principes, ont su piquer l'intérêt de leurs élèves en énonçant des corollaires paradoxaux déduits, avec toutes les apparences de la logique, de théorèmes paraissant désormais acquis à la science. En soulignant la relativité du temps, certains auteurs n'ont pas manqué de pénétrer sur le terrain de la philosophie pour nous inviter à méditer à nouveau sur la brièveté de la vie humaine, qu'un mouvement rapide, ont-ils ajouté, pourrait singulièrement allonger; d'autres ont fait miroiter à nos yeux la possibilité d'une éternelle jeunesse entrevue grâce aux effarants principes déduits de la théorie. M. P. Langevin, l'éminent professeur du Collège de France, est allé plus loin: imitant ces prédicateurs en quête d'une fin de sermon, il nous a conviés «à travailler en communion de pensée avec Einstein qui dans l'Histoire aura le mérite essentiel d'avoir ouvert toute grande aux hommes une nouvelle fenêtre sur l'éternité».

Du coup les plus indifférents aux conclusions de la science dans les champs les plus variés, ont pris intérêt à l'exploration d'un territoire auquel ils étaient demeurés étrangers depuis la fin de leurs études, et les acquisitions des cinquante dernières années, qui auparavant n'avaient pas su retenir leur attention, furent pour eux la révélation subite d'horizons inconnus.

Au milieu de cette abondance de faits, de découvertes et de théories, comment un profane ne se trouverait-il pas déconcerté? Quel jugement portera-t-il sur l'œuvre d'Einstein, s'il n'a pas sui-

vi la marche et le progrès des idées scientifiques depuis un demi-siècle pour le moins.

Car, en fait, pour comprendre la doctrine actuelle de la Relativité, il faut pouvoir embrasser d'un seul regard les domaines étroitement liés entre eux de la Physique et de la Chimie moléculaire, avoir présente à l'esprit la vieille querelle de l'éther, avoir assisté, ne serait-ce que d'une façon rétrospective, à la lente découverte des secrets de la nature encore mystérieuse de la matière; bref, posséder des idées nettes sur les efforts et les luttes engagées par les physiciens depuis Newton, pour arriver, après de fantastiques chevauchées et parfois de retentissants échecs, à la conquête de quelques propositions en apparence solidement établies, bien que souvent contradictoires.

C'est qu'en réalité, au lieu de se fondre en un tout harmonieux et bien équilibré, les différentes parties de la Physique et de la Mécanique, au seuil du XXe siècle, apparaissaient de plus en plus étrangères l'une à l'autre et les expériences célèbres de Fizeau et de Michelson sur la vitesse de la lumière n'avaient fait récemment qu'accentuer les hiatus et souligner les antinomies.

La considération et l'application d'une formule mathématique opérant une sorte de synthèse satisfaisant à la fois le monde infiniment petit de l'atome et l'incommensurablement grand, en un mot adéquate aux phénomènes de la Physique moléculaire comme aux lois de la Mécanique céleste, une formule synthétique, même acquise en posant quelques postulats proches de la vérité, voilà ce qu'a cherché Einstein. Le système qu'il nous propose est-il définitif? Évidemment non. Les meilleures théories, l'Histoire nous l'apprend, ne sont que fragile échafaudage et le Temps, ce tremplin d'Einstein, en a plus ou moins vite raison. Au

surplus, la question est de tout autre ordre: il s'agit simplement de savoir si les principes posés par Einstein, aidé de son professeur Minkowski, seront de quelque utilité pour l'avancement de la science? La réponse diffère suivant les points de vue.

Une hypothèse même négative constitue toujours un progrès; la théorie de la Relativité, n'en doutons aucunement, exercera sur l'évolution des idées une action bienfaisante. Mais jouera-t-elle le rôle envisagé par ses promoteurs, c'est-à-dire celui de relier les faits actuellement connus? Voilà le point particulier que nous étudierons.

Parmi ceux qui ont vulgarisé l'œuvre du physicien germano-suisse, il s'est trouvé des commentateurs trop zélés qui n'ont pas craint d'attribuer à Einstein des acquisitions fort nombreuses que les physiciens modernes avaient depuis longtemps classées au rang des dogmes scientifiques. A vrai dire, ces acquisitions étaient quelque peu disparates et, faut-il l'avouer, plutôt éparses dans le domaine de la science; on y eût souhaité un peu plus d'ordre et d'enchaînement et c'est alors que survint Einstein, dont l'ambition fut celle d'être un «homme de liaison» ne se contentant pas de ranger et de classer suivant les étiquettes, mais indiquant, autant que possible, la raison d'un ordre logique, en apparence assez satisfaisant.

Pour juger de l'œuvre accomplie, il faut donc de toute nécessité jeter un coup d'œil sur le terrain exploré par les physiciens à la fin du siècle précédent, nous rendre compte de leurs positions stratégiques et enfin situer l'emplacement de la forteresse qu'il s'agissait d'enlever.

CHAPITRE PREMIER

LA SCIENCE AVANT EINSTEIN

On avait l'habitude autrefois de considérer l'atome comme une matière inerte, simple support d'énergie pour ainsi dire, réceptacle d'une force mystérieuse et inconnue; l'atome, en outre, restait insécable... quoique étendu. On a beau répéter le mot de Bacon: «Physique, garde-toi de la Métaphysique», lorsqu'un physicien nous expose ses idées, nous avons le droit de lui demander des précisions; nous avons beau faire, nous cherchons, malgré nous, à y voir clair et à classer nos notions nouvelles dans un ordre logique, soucieux toujours d'éviter les contradictions.

C'est qu'en fait, il n'y a pas deux façons de raisonner, l'une pour l'homme de science, l'autre pour le philosophe. Parmi ces derniers, ceux qui font appel à l'intuition finissent toujours par ne rien expliquer; quant aux autres, je veux parler des savants, s'ils constatent, je les comparerai sous un certain rapport aux premiers; il ne suffit pas à notre esprit avide de savoir, d'enregistrer des faits sans lien apparent. Découvrir une cause en jeu derrière le phénomène, puis remonter la série enchaînée des causes, voilà ce que j'appelle faire de la vraie science... et aussi de la Métaphysique, quoi qu'on dise.

Et la preuve, c'est que les philosophes sont restés des siècles à discuter sur la nature de l'espace et de l'étendue sans aboutir à autre chose qu'à des sophismes et à des contradictions; il a fallu l'intervention du physicien pour que nous commencions à entrevoir le mot de l'énigme. Ainsi, malgré lui et inconsciemment, le savant se laisse entraîner par une pente insensible vers la Métaphysique.

La conquête d'une partie des secrets de l'atome est l'exemple le plus typique peut-être de cette collaboration étroite d'esprits orientés vers des directions diverses.

* * * * *

Les savants, depuis les travaux de Lorentz, de Larmor, de Zeeman, auxquels se sont ajoutés ceux de Curie, de Perrin, de Bohr et de tant d'autres, ont mis en évidence la composition extraordinairement complexe de l'atome.

Lorsque par une belle nuit, l'astronome, l'œil au télescope, résout en étoiles distinctes les plages phosphorescentes de la Voie lactée, rien ne lui laisse encore supposer qu'autour de ces milliers d'astres tournent des planètes analogues à celles qui gravitent dans notre système, près du Soleil.

A l'œil nu, il n'y a devant lui qu'une tache blanchâtre et ses moyens optiques l'avertissent que c'est là une illusion; la tache est en réalité formée d'une _discontinuité_ de points brillants et si ses instruments étaient plus puissants, nul doute que chaque étoile se résoudrait encore, dans la plupart des cas, en système planétaire.

[Illustration: Fig. 1.--Comment les physiciens se représentent la structure d'un atome: autour d'un noyau positif tournent des électrons chargés d'électricité négative.]

Or, ce que nous contemplons sur la voûte céleste n'est que l'image agrandie de ce qui se passe plus près de nous. Le papier sur lequel j'écris n'est qu'un assemblage fantastique de milliers de milliards d'atomes représentant chacun pour son propre compte les étoiles de l'univers, avec cette différence toutefois

qu'ici, l'agitation est caractérisée par des vitesses bien supérieures aux mouvements propres des étoiles. Les lacunes entre atomes sont de même ordre de grandeur et toute matière tombant sous nos sens est prodigieusement _discontinue_. Ce résultat est quelque peu déconcertant lorsqu'on ajoute qu'une tête d'épingle renferme au moins 8 sextillions de parties distinctes.

Penchons-nous maintenant sur l'atome lui-même; nous allons, à notre stupéfaction, découvrir en lui le modèle d'un véritable système solaire. Autour d'un noyau chargé d'électricité positive (_ion_), circulent des corps d'une extrême ténuité: ce sont les _électrons_ chargés négativement et qui décrivent de vraies orbites à la façon des planètes[1]. Les atomes de chaque substance ont un noyau différent, mais leurs électrons, tous identiques, paraissent varier en nombre et forment ainsi, avec leur noyau central, la caractéristique du corps[2].

[1] Pour de plus amples détails V. J. PERRIN: _Les Atomes_, p. 259, 7e éd. (Alcan, Paris, 1914).

[2] MAX BORN.--_La Constitution de la Matière_, p. 3 (A. Blanchard, Paris, 1922).

La quantité d'électrons circulant dans la moindre portion de matière est donc considérable: prenons comme exemple une petite sphère d'hydrogène de 1/2 millimètre de diamètre seulement; imaginez-vous combien il vous faudrait d'années pour en détacher les électrons à raison de _un_ par seconde? Pas moins de un million de siècles! Et cependant, au sein du corps le plus dur, ces éléments ne se touchent pas; le diamètre des noyaux est de l'ordre de grandeur de un trillionième de millimètre et l'électron s'en trouve toujours éloigné dans son mouvement de circu-

lation; le rayon de son orbite, dans le cas de l'hydrogène, est de 53 milliardièmes de millimètre en moyenne. Trajectoire et mouvement y paraissent régis par des lois analogues à celles de Képler pour les corps célestes, mais ici les vitesses sont fantastiques[3].

[3] N. BOHR.--_Phil. Mag._ 26, pp. 1, 476 (1913).

Dans notre système, Mercure, la planète la plus proche du Soleil, accomplit sa révolution en 88 jours, à raison de 48 kilomètres en moyenne par seconde, tandis que dans l'atome d'hydrogène, notre électron parcourt un espace de 2 000 kilomètres à chaque seconde et trouve le moyen, pendant ce faible laps de temps, d'accomplir 620 000 milliards de révolutions autour de son soleil[4].

[4] W. NERNST: _Traité de Chimie Générale_, 2e éd. (Hermann, Paris, 1922).

Voilà ce que nous apprennent sur la structure de l'atome, les travaux réalisés dans la dernière décade et l'on comprend mieux maintenant et l'incroyable énergie renfermée dans les édifices atomiques et les difficultés rencontrées lorsqu'on essaie de les dissocier. Généralement, en effet, en raison de la stabilité de l'atome, cette énergie interne est latente, cachée pour ainsi dire, mais si nous arrivions à l'utiliser, nous accomplirions des travaux de géants. C'est ainsi que 20 kilogrammes de charbon dissociés complètement, fourniraient à la France le même résultat que les 60 millions de tonnes de houille dont nous avons besoin chaque année pour alimenter notre industrie et nos foyers.

Cette énergie latente se montre au moment de la désagrégation de l'atome, et celle-ci est toujours spontanée dans les sub-

stances très radioactives qui émettent alors des particules libérées à des vitesses énormes atteignant jusqu'à 290 000 kilomètres par seconde, presque la vitesse de la lumière.

Cette particularité a donné l'idée à Rutherford d'employer des corpuscules de ce genre pour bombarder d'autres atomes et essayer de leur soustraire quelques électrons. Et ce fut ainsi qu'après avoir lancé un faisceau de rayons _alpha_ dans une enceinte renfermant de l'azote, il eut la joie d'obtenir la dissociation d'une partie de ce dernier gaz en atomes d'hydrogène. A côté de ces expériences que le savant anglais continue sans relâche, avec l'espoir, nous disait-il récemment, de faire encore mieux, d'ingénieux physiciens MM. Wendt et Iron en ont imaginé d'un autre genre.

Nous savons depuis longtemps que les étoiles chaudes sont loin de renfermer tous les corps prétendus simples que nous connaissons; ceux-ci doivent donc être dissociés par la chaleur, ramenés à un état plus primordial et plus proche de l'hydrogène qui forme l'étoffe même de tous les éléments. Tout le problème revient donc à trouver des sources calorifiques supérieures à celles dont nous disposons. Et c'est ce qu'a fourni la décharge brusque de condensateurs à grande capacité: un fil de tungstène put être ainsi porté à une température de 30 000° et sa volatilisation donna comme résidu, des atomes d'hélium proche parent de l'hydrogène[5].

[5] V. _Revue du Ciel_, juin 1922.

Nous arrivons donc à la réalisation de cette chimère caressée pendant si longtemps par les vieux alchimistes: la transmutation des métaux. Et voilà nos modernes physiciens rejoignant sans le

vouloir ceux dont ils se sont tant moqués: les métaphysiciens d'antan.

* * * * *

Mais l'étude de l'atome nous réservait bien d'autres surprises. Depuis longtemps, Faraday avait été conduit par ses expériences, à soupçonner la nature _discontinue_ de l'électricité et peu à peu on en était venu à admettre l'existence dans les phénomènes électriques, d'une sorte d'unité naturelle qu'on nomma _l'électron_. Ainsi, par un détour inattendu, l'électron des physiciens rejoignait celui des chimistes: tous deux n'étaient au fond qu'un même objet, une simple charge électrique.

Mais alors, une autre question se posait: sur quoi reposait cette charge, car enfin, il fallait un support à cette unité de quantité électrique, un substrat, une substance en un mot, une masse pondérable comme disaient les contemporains de Galilée.

Mais ici, nous allons pénétrer dans un domaine tellement extraordinaire qu'il nous faut exposer de nouveaux faits et nous livrer à une digression nécessaire.

Aussi impressionnantes que soient les théories relativistes actuelles, elles n'ont, à tout prendre, révélé aux physiciens avertis, rien de bien nouveau. Il suffit en effet de jeter un coup d'œil rétrospectif sur l'histoire de la science depuis deux cents ans, pour voir que la doctrine de la relativité a envahi tous les domaines au fur et à mesure de nos acquisitions.

La substance ne se manifeste vraiment que par les effets qu'elle exerce sur notre _moi_: elle y provoque des états de conscience qui, en aucun cas, ne sauraient nous donner une re-

présentation adéquate du monde extérieur. C'est aujourd'hui vérité banale que d'affirmer la non-identité de la sensation avec la cause qui la fait naître. La couleur d'un corps n'est pas en dehors de moi comme elle est en moi; il en est de même du son; il faut distinguer l'objectif du subjectif et tous les deux ne se ressemblent pas.

Objectivement, le son et la lumière ne sont que des vibrations; celles-ci excitent mes sens et me procurent des états de conscience différents. Voilà comment je prends contact avec le monde extérieur. Les qualités de couleur et de sonorité que je prête à un corps répondent évidemment à quelque chose, mais ce quelque chose est loin de ressembler à ce que me fournit la sensation. Peu importe au fond; cela n'entrave aucunement les progrès de ma connaissance, puisqu'il y a correspondance constante entre la sensation et sa cause extérieure.

Lors donc que je regarde une orange, ce n'est pas précisément le fruit que je vois, mais la façon dont _quelque chose_ réagit sur les vibrations lumineuses; supprimez la couleur, le fruit n'en subsiste pas moins; de même l'odeur n'est pas nécessaire; et l'élasticité? Pas davantage. Derrière toutes ces qualités, il y a cependant un support; c'est ce que nous appelons la substance.

Pour un homme privé de l'odorat, sourd et aveugle, ce qui resterait de l'orange, ce serait l'impression tactile et, mieux encore, la résistance que le corps opposerait au sien; en un mot, le corps pesant un certain poids, notre sujet dirait que le fruit possède une certaine masse.

Ainsi raisonnaient d'ailleurs implicitement les physiciens depuis Galilée: pour eux, la substance, en dernière analyse, était re-

présentée par la _masse_, quantité constante, tangible, objet de science parce que _mesurable_.

En fait, l'appréciation de la masse en Mécanique--qu'il ne faut pas confondre avec le poids--ne souffrait aucune difficulté. Supposons une poussée équivalente à _un_ kilogramme et appliquons-la à une bille; notons aussitôt la vitesse ainsi communiquée, soit 2 mètres par seconde; je constaterai peu après qu'une force double, c'est-à-dire de 2 kilogrammes, donnera à la bille une vitesse double de la première, soit 4 mètres par seconde.

Il y a donc une relation entre la force appliquée à un corps et la vitesse communiquée. Pourquoi? Évidemment parce que le corps oppose toujours la même résistance au déplacement et que cette résistance dépend de la quantité de matière en présence, de sa _masse_ qui mesure ainsi ce qu'on appelait autrefois son inertie.

Si donc, j'appliquais la force de _un_ kilogramme à une bille nouvelle et si la vitesse obtenue n'était que de un mètre par seconde, je serais en droit de conclure que ma bille contient _deux fois moins_ de matière que dans le premier cas, donc que la masse est exactement _la moitié_ de la première.

Cette fois, pouvaient prétendre les physiciens, nous nous dégagions du phénomène subjectif pour atteindre vraiment le réel, nous tenions l'absolu[6] car la masse, en réalité, c'était la substance. Hélas! la quiétude fut de courte durée dès qu'on eut le moyen d'apprécier les vitesses des atomes et surtout celles des électrons. Ceux-ci sont en effet expulsés dans quelques-unes de nos expériences, nous l'avons vu, à des vitesses fantastiques: 100 000 kilomètres à la seconde dans les ampoules de Crookes; 280

000 kilomètres et davantage pour les rayons Bêta du radium. Or, les mesures mille fois répétées ont montré que, loin d'être invariable et indépendante de la vitesse, la masse apparaît toujours comme une fonction de cette vitesse. En d'autres termes, un même corps n'offrirait pas toujours la même résistance aux actions extérieures: l'inertie de la matière serait un mot vide de sens; la masse, ce dernier refuge de la substance, ne serait elle-même qu'un accident comme la couleur, une modalité de la substance, et, qui mieux est, elle serait tout entière d'ordre électrique.

[6] Le mot absolu offre des sens très différents suivant les cas: ici, il est simplement opposé au mot _relatif_.

Voilà d'ailleurs ce qu'avaient déjà annoncé Max Abraham et Lorentz d'après la théorie, mais la première idée du fait est due à J.-J. Thomson qui l'avait émise dès 1881[7].

[7] Cf. J.-J. THOMSON: _Philos. Mag._ 5e série, t. XI, 1881, p. 229; MAX ABRAHAM, _Dynamique de l'électron_ dans _Ann. der Phys._ t. X. 1903 pp. 105 à 179; H. A. LORENTZ, _Sur la Théorie des Électrons_ dans _Ions, Électrons, Corpuscules_, édité par la Soc. de Phys. de France (Gauthier-Villars, Paris).

Les auteurs qui attribuent cette trouvaille à Einstein exagèrent quelque peu «la pratique de la relativité» puisqu'à cette époque, notre futur physicien était dans sa deuxième année!

Au reste, n'est-ce pas rendre un bien mauvais service à un savant que de lui attribuer faussement ce qu'il n'a pas découvert. Einstein, j'imagine, n'a nul besoin de cette inopportune réclame; avant d'être le théoricien que nous savons, il avait à son actif

d'importants travaux sur la physique moléculaire et plus tard cela suffira peut-être à sa renommée[8].

[8] Cf. _Ann. der Phys._ t. XVII, 1905 et t. XIX, 1906.

Quoi qu'il en soit de ces considérations, nous allons voir comment les physiciens furent peu à peu acculés, c'est le mot, à jeter par dessus bord l'ancienne notion de la masse.

Supposons une petite masse électrisée, notre électron, lancée avec force dans une certaine direction. Il est facile de démontrer que cette petite masse chargée d'électricité est équivalente à un courant proportionnel à sa vitesse. Mais toute apparition d'un courant donne naissance à un champ magnétique d'intensité également proportionnelle à cette même vitesse.

Pour maintenir notre électron en mouvement, nous sommes donc obligés de lui communiquer une quantité d'énergie plus grande que s'il s'agissait d'un mobile non électrisé.

Ne sait-on pas en effet que la naissance d'un champ magnétique a pour conséquence l'apparition d'un phénomène de self-induction qui s'oppose au courant et, dans le cas particulier que nous considérons, au mouvement de l'électron. Tout se passe donc comme si, par le fait qu'elle est électrisée, notre petite sphère avait vu sa masse s'augmenter. A la masse ordinaire, peut-on dire, s'est ajoutée une masse de nature magnéto-électrique.

On démontra ensuite que cette masse apparente, variable avec la vitesse, croît indéfiniment lorsque la vitesse de l'électron tend vers celle de la lumière; d'où cette conséquence, à tout le moins inattendue, que le travail nécessaire pour communiquer à un

électron cette vitesse de 300 000 kilomètres à la seconde devrait être infini. Il apparaissait donc impossible, déjà à cette époque, que nous puissions jamais obtenir des vitesses supérieures à celle de la lumière. Encore une assertion qu'on a attribuée à tort à Einstein! Il est bien vrai que ceci peut être regardé comme une conséquence de sa théorie, mais quel que soit le sort de cette dernière, le fait n'en restera pas moins tel qu'il était auparavant et indépendant de toute hypothèse.

Un nouveau pas fut franchi bientôt: M. Kaufmann ayant opéré sur des électrons animés de grandes vitesses, parvint à prouver que, conformément aux vues de Max Abraham, la masse totale apparente était égale à la masse électro-magnétique; cela voulait dire en bon français, qu'ainsi s'évanouissait ce que nous appelions autrefois la masse mécanique; la masse matérielle de l'électron est nulle; sa vraie masse, celle que nous mesurons, est d'origine purement électrique[9].

[9] Cf. W. KAUFMANN dans _Gott. Nachr._ 1903, pp. 90 à 103.

Ainsi disparaissait pour toujours cette cloison étanche que les anciens matérialistes nous avaient constamment opposée, le rempart qui séparait Force et Matière.

A tous les points de vue, ce n'était pas dommage: notre Mécanique classique était un amas de contradictions. Qu'était-ce en effet qu'une force appliquée à une substance inerte? Ce qui était capable, nous répondait-on, de faire passer un corps de l'état de repos à l'état de mouvement ou de modifier le mouvement existant; mais vraiment c'était ne rien définir ou prendre l'effet pour

la cause. Cette cause qu'est-elle _en soi_? Comment une force peut-elle se superposer à la matière, s'ajouter à une substance?

Le mot inertie lui-même était vide de sens; aucune matière n'est inerte: tout est changement dans l'univers, donc mouvement; donc la cause n'est qu'un aspect de la substance qui devient ainsi la force, seule réalité accessible à nos sens et qui manifeste la substance elle-même.

--Métaphysique pure, direz-vous.

--Je le nie formellement; constatation des faits plutôt; ce sont au contraire les savants d'autrefois, Galilée en tête, qui, en nous imposant une distinction entre force et matière, en posant comme postulat l'inertie obligée de toute matière, nous avaient conviés à un cours de mauvaise métaphysique.

Tous ces corollaires sont acquis définitivement à la science, et nous ne les devons aucunement à la théorie de la relativité, ainsi qu'on a essayé de le faire croire aux non-initiés. Mes lecteurs que ces questions intéressent pourront en suivre les développements et les conséquences dans mon livre _Que deviendrons nous après la Mort?_[10] qui vient d'atteindre sa quarante septième édition et qui parut en 1913, époque à laquelle Einstein commença ses travaux sur la Relativité généralisée.

[10] TH. MOREUX.--_Que deviendrons-nous après la Mort?_ (Edit. Scientifica, Paris 1913).

* * * * *

Depuis longtemps d'ailleurs, la relativité était à l'ordre du jour; Lorentz l'avait mise à la mode; les signaux optiques, le retard des horloges, le temps local qu'il avait imaginés, servaient

déjà de base aux discussions entre savants. Henri Poincaré m'en avait parlé plusieurs fois lorsque nous arpentions, certains soirs, la rue de Médicis qui longe le jardin du Luxembourg. Plus tard, bien plus tard, il lui consacra des pages dans sa _Valeur de la Science_[11]; il faut les relire et se pénétrer aussi de ses idées sur les notions de simultanéité, sur le mouvement relatif et le mouvement absolu, dans _La Science et l'Hypothèse_[12] avant d'aborder les théories actuelles de la Relativité. Vous verrez que celles-ci n'ont guère changé depuis. Einstein a essayé comme Weyl, de les enchaîner, d'en codifier les règles, mais il n'en a pas inventé les principes et son rôle nous apparaît ainsi bien diminué.

[11] H. POINCARÉ.--_La valeur de la Science_, p. 185 (Flammarion, Paris).

[12] H. POINCARÉ.--_La Science et l'hypothèse_, p. 135 et suiv. (Flammarion, Paris).

* * * * *

Mais n'anticipons pas et revenons à la faillite de la vieille Mécanique. La nouvelle dynamique de l'électron n'intéresse que de très loin le mécanicien et l'industriel terrestre... pour cette bonne raison que les vitesses de nos machines resteront toujours très faibles vis-à-vis de celle de la lumière. C'est ainsi qu'un train pesant 1 250 tonnes et faisant du 108 kilomètres à l'heure, ce qui serait déjà fort remarquable, ne verrait sa masse s'augmenter que de 27 cent-millionièmes de milligramme[13]. Ce résultat montre bien que pratiquement nous pouvons garder les anciennes formules. Les nouvelles, _qui sont d'ailleurs indépendantes de la théorie de la relativité d'Einstein_, n'intéressent que l'homme de science et le philosophe.

[13] Cf. GASTON MOCH.--_La Relativité des Phénomènes_, p. 176 (Flammarion, Paris, 1921).

* * * * *

Au moment même où s'élaboraient les nouveaux principes sur la masse, fonction de la vitesse, la Physique allait s'enrichir d'une découverte moins importante en apparence, mais de nature, comme la première, à bouleverser encore d'anciennes notions. Dès 1873, Maxwell avait déduit de sa théorie électro-magnétique de la lumière que cette dernière doit exercer une pression sur les corps. Cette proposition fut confirmée presque en même temps par Bartholi qui la retrouva en partant des équations de la Thermodynamique. Depuis, cette pression de la lumière a été appelée pression de Maxwell-Bartholi ou _pression de radiation_.

A la réflexion, l'effet n'a rien que très naturel: dès lors que l'énergie, la force, est quelque chose en soi, et que la lumière est une émission d'énergie, le rayon lumineux doit être doué de masse; si nous le projetons sur un corps, il agira à la façon de l'obus qui fait reculer le canon et qui exerce une poussée sur l'obstacle contre lequel il vient buter. Voilà ce qu'indiquait nettement la théorie; il y avait bien encore quelques obscurités; on objectait qu'au cas où la lumière continue indéfiniment sa marche sans rencontrer d'écran, c'en était fait du fameux principe de l'action et de la réaction, mais H. Poincaré intervint et il montra que dans tous les cas imaginables, la théorie explique les faits et le principe est conservé, dont Lorentz annonçait déjà la faillite[14].

[14] Cf. H. POINCARÉ.--_La théorie de Lorentz et le principe de réaction_ dans _Arch. Néerland. des Sc._ 1900.

Or, Poincaré démontrait tout cela en 1900, cinq années avant qu'Einstein ait eu l'idée de s'occuper de la relativité appliquée au temps.

Pendant ces discussions, les expérimentateurs n'étaient pas restés les bras croisés; ils avaient hâté le dénouement, peut-on dire, de la plus heureuse façon. Si la lumière exerçait véritablement une pression, on devait pouvoir mettre le phénomène en évidence par un procédé de laboratoire. C'est ce que réalisèrent Lebedeff, dès 1892, puis Nichols et Hull en 1901[15]: après avoir dirigé la lumière d'une puissante lampe à arc sur un jet de poussières extrêmement fines, ils virent le jet s'incurver en arrière comme sous la poussée d'un vent régulier.

[15] LEBEDEFF.--_Wied. Ann._ 45, 1892; 62, 1897. _Phys. Zeit._ 4, 1902; NICHOLS et HULL.--_Phys. Rev._ 13, 1901; _Astrophys. Journ._ t. XVII, XVIII, 1903.

Oh! l'expérience ne se fit pas sans difficultés; il fallut opérer dans le vide. Après avoir essayé sans résultat toutes les poussières connues, nos physiciens désespéraient de réaliser le phénomène entrevu mathématiquement, lorsqu'il leur vint l'idée d'employer la poussière, sorte de fumée impalpable, contenue dans le vulgaire champignon appelé communément _vesse de loup_[16]. Les particules étaient encore trop grossières et il fallut rôtir et pulvériser cette première poussière pour réussir l'expérience.

[16] Champignon du genre _Lycoperdon_.

A peine les résultats furent-ils connus que les astronomes en profitèrent pour expliquer la formation de ce long panache que les comètes traînent derrière elles. On avait bien jusque-là admis

une force répulsive émanée du Soleil, mais personne n'avait pu fixer la nature de cette force mystérieuse.

En fait, au fur et à mesure qu'une comète approche du Soleil, la chaleur de l'astre y développe une sorte d'atmosphère assez raréfiée qui commence par entourer le noyau. Les particules paraissent tout d'abord attirées vers l'astre central qui détermine dans la masse comme une sorte de marée; mais bientôt, tandis que l'attraction s'exerce suivant les masses, alors que la pression de radiation ne tient compte que des surfaces, cette dernière finit par l'emporter, et des enveloppes concentriques entourant le noyau, on voit fuser en arrière une partie des matériaux. Ceux-ci conservent leur vitesse propre qui se compose avec la gravité et c'est ainsi qu'est obtenue cette courbe rappelant celle de la parabole ou de l'hyperbole, propre aux apparences des queues cométaires[17].

[17] Cf. TH. MOREUX.--_Où en est l'Astronomie_, p. 220 (Gauthier-Villars, Paris, 1920).

La courbure générale, en arrière de l'astre, tiendrait, suivant Brédikine, à la valeur de la pression de radiation, valeur variable suivant la nature des gaz éjectés. Poynting a en effet calculé les forces ainsi mises en jeu et il a trouvé des chiffres tout à fait suggestifs: la lumière que nous envoie le Soleil exerce sur la Terre, à chaque instant, une pression de 70 000 tonnes. C'est beaucoup, dira-t-on; oui, dans l'ensemble, mais, en réalité, l'effet réparti sur tout un hémisphère se réduit finalement à un demi-milligramme par mètre carré. A la distance où nous sommes du Soleil, pour que la répulsion l'emporte sur l'attraction, une particule sphérique doit avoir moins de 3 dixièmes de micron[18].

[18] Le _micron_ vaut un millième de millimètre; on le représente par la lettre grecque μ; c'est l'unité de longueur employée en micrographie. Cf. pour la pression de radiation: POYNTING: _Arch. de phys. nat._ t. XVII, 1904; _Philos. Mag._ 6, t. IX, 1905.

Dès cette époque, on aurait dû prévoir que si la lumière est pesante et probablement assimilable à une procession de projectiles, il n'y a rien d'étonnant que ces myriades de corpuscules soient attirés en passant vers le Soleil. En d'autres termes, sous l'influence de la masse attirante solaire, les trajectoires de nos boulets microscopiques seront courbées, absolument de la même façon que les trajets de nos obus s'infléchissent vers le sol, mais cette fois, ces trajectoires, ainsi qu'on le calcule aisément, seront, non des paraboles, mais des hyperboles extrêmement tendues.

Voilà ce qu'on aurait pu vérifier en mainte occasion depuis plus de trente ans, mais personne n'eut l'idée de le faire et il faut reconnaître que le mérite d'Einstein consista précisément à imaginer un dispositif pour tenter cette vérification.

J'ai dit «on aurait pu vérifier»; d'où vient qu'on n'ait pas essayé? J'imagine que ce doit être pour des raisons d'ordre purement théorique et c'est là que nous touchons du doigt l'influence de l'hypothèse scientifique sur les expérimentateurs.

On se rappelle que Newton professait la doctrine de _l'émission_; dans sa pensée, la lumière n'était qu'un jet de particules lancées par l'objet lumineux. L'auteur des lois immortelles de la gravitation eut même l'idée première de la courbure d'un rayon de lumière passant près d'une masse pesante[19]. Mais, depuis, les théories ont changé; l'émission s'est trouvée impuissante à ex-

pliquer le phénomène connu en Optique sous le nom de _diffraction_. On a donc opté pour l'hypothèse des ondulations due à Fresnel, ce qui écartait définitivement l'assimilation du rayon lumineux à un chapelet de projectiles; l'incurvation, dans la dernière hypothèse admise, n'était donc plus à envisager.

[19] Newton admettait qu'une particule lumineuse décrit sous l'influence de la gravitation un arc de parabole, tel un projectile. Cf. NEWTON: _Les Principes mathématiques de la Philosophie naturelle_. Liv. I, XIVe S.

Les idées nouvelles sur la nature de l'atome et de l'électron semblent maintenant nous ramener aux théories newtoniennes et nous voilà dans une impasse.

Je m'explique: nous avons vu que l'électron tourne à grande vitesse autour d'un noyau central. Sous des influences diverses, il peut quitter son orbite primitive et sauter sur une autre où la vitesse n'est plus la même. Ces sortes de changements sont toujours accompagnés d'une absorption ou d'une libération d'énergie et, dans ce dernier cas, il y a émission de lumière; mais ce qu'il y a de plus curieux, c'est que chaque atome ne peut absorber ou émettre _qu'un nombre entier_ de grains d'énergie et c'est ce qui explique pourquoi le phénomène a lieu par sauts brusques bien définis où nous retrouvons encore la _discontinuité_ qui semble bien accompagner tous les phénomènes physiques sans exception.

Ce sont ces faits singuliers qui ont conduit Planck à sa fameuse théorie des _Quanta_[20] d'énergie.

[20] _Quanta_, pluriel de _quantum_ (en latin): mot indiquant que l'énergie est émise ou absorbée par des _quantités_

toujours multiples d'une unité commune d'énergie; v. à ce sujet J. PERRIN: _Les Atomes_ et LOUIS ROUGIER: _La Matière et l'Energie selon la théorie de la Relativité et la théorie des Quanta_(Gauthier-Villars, 1921).

Dans la nouvelle hypothèse «le rayonnement est une forme d'énergie qui n'apparaît plus comme propagée sous l'espèce d'ondes continues par un milieu hypothétique (l'éther), mais comme expulsée sous forme d'unités discrètes (et de façon discontinue) dans l'espace vide de matière, avec la vitesse de la lumière[21].»

[21] Cf. LOUIS ROUGIER op. j. cit., p. 107.

Mais alors il faut expliquer ce que c'est que l'Espace. Qu'est-ce qu'un espace sans les corps, et un espace vide de matière? Et puis comment envisager le mécanisme de la diffraction, avec nos projectiles qui nous ramènent à l'émission? En introduisant de nouveau, peut-être, la notion de cet éther qu'on avait jeté par-dessus bord comme un objet trop encombrant. Ce sont bien d'ailleurs les tendances qui apparaissent maintenant dans la nouvelle école einsteinienne.

Après avoir brisé l'idole qu'on avait adorée, on va donc la reconstituer tout en gardant la nouvelle; ainsi opèrent parfois les savants à l'instar des politiciens. Après avoir oscillé entre les deux extrêmes, l'hypothèse scientifique cherche une position intermédiaire jusqu'au moment où des faits nouveaux renversent un échafaudage qu'on ne saurait plus décemment étayer. Et les naïfs seuls croient encore au mot de Renan nous affirmant sérieusement que la Science a été créée «pour nous donner le mot des choses!»

Quoi qu'il en soit, la nature ne semble guère s'inquiéter de nos théories; elle nous présente des faits simplement; seules, les contradictions que nous trouvons dans leur interprétation, nous avertissent que nous faisons fausse route. Nous mettons parfois un temps bien long à nous en apercevoir et parfois aussi, par une singulière ironie, nos expériences nous ramènent dans des sentiers depuis longtemps délaissés.

La pesanteur de la lumière en est la meilleure preuve. Après avoir abandonné l'hypothèse de l'émission qui avait rendu de longs services, nous y voici ramenés, non seulement en vertu de la théorie, mais en raison de la méthode expérimentale. On a pu constater en effet, lors de l'éclipse totale de Soleil du 29 mai 1919, une déviation des rayons lumineux émanés de quelques étoiles proches du disque solaire.

[Illustration: Fig. 2.--Montrant qu'un rayon émané d'une étoile se courbe en passant près du Soleil. Pour un observateur terrestre, l'étoile est aperçue en 2 (position apparente) au lieu d'être vue en 1 (position réelle).]

En lui-même, le fait est extrêmement intéressant et ne peut guère s'expliquer autrement que par l'attraction de la masse du Soleil, s'exerçant sur les rayons lumineux qui passent dans son voisinage. On en a déduit immédiatement une confirmation éclatante des théories de la relativité. C'était aller un peu vite, puisque le phénomène, compatible avec la vieille théorie de l'émission proposée par Newton, aurait pu être constaté depuis bien des années. «Il faut tenir pour bonne, a-t-on ajouté, une hypothèse qui permet de prévoir.» Encore une erreur formidable de logique, dénoncée par l'histoire de la science. La plupart de nos lois ne sont qu'empiriques dans leur expression, souvent même

purement statistiques; elles donnent rarement la raison cachée de la loi; avant l'invention de la Thermodynamique, on expliquait la chaleur par une qualité occulte; vint ensuite le règne des fluides, puis celui de l'agitation moléculaire; or, constatation surprenante, chaque génération de savants s'est contentée des explications mises à sa disposition. Ces vieux schémas nous font sourire; nous les contemplons avec un état d'esprit analogue à celui d'un préhistorien étudiant les outils en silex taillé de nos ancêtres; et cependant, sans nous en douter, c'est un arsenal où nous puisons à l'occasion, tellement pauvre est l'imagination humaine.

Ajoutons aussi pour être juste que la tâche du vrai savant est autrement difficile que celle du manœuvre de la science; le rôle de ce dernier consiste surtout à amasser des faits qu'une technique de plus en plus perfectionnée lui fournit avec une incroyable prodigalité.

Tout autre est l'occupation du théoricien auquel incombe le classement; chaque fait nouveau lui montre l'étroitesse des cadres mis à sa disposition et c'est ainsi que nombre de phénomènes font antichambre et attendent leur tour d'incorporation; mais, règle générale, tout se passe comme dans la société, ce sont les plus récalcitrants et ceux qui réclament bruyamment qui passent les premiers.

Les expériences sur la vitesse de la lumière sont là pour illustrer cette thèse. Pour expliquer la nature de la lumière qui se transmet à raison de 300 000 kilomètres par seconde, les physiciens, nous le savons, avaient été naguère acculés, avec Young et Fresnel à la théorie des ondulations; mais qui dit _ondulations_, sous-entend milieu qui ondule: de là, l'hypothèse de l'éther.

Personne n'a jamais pu définir _l'éther_ et aucun physicien n'est parvenu à nous décrire ses propriétés. Celles-ci sont d'ailleurs contradictoires: l'éther doit être le plus subtil des éléments et la vitesse de la lumière lui impose une densité infinitésimale; mais, d'autre part, il doit être l'un des plus _solides_ pour propager les ondulations transversales et l'un des plus résistants à la tension pour supporter les forces gravitationnelles; alors, comment les corps célestes peuvent-ils s'y mouvoir sans résistance apparente?

On n'explique rien en faisant intervenir des champs électromagnétiques, ou des champs de gravitation; ceux-ci ne sont qu'une modalité de l'énergie; or l'énergie elle-même, nous l'avons dit, n'est autre que la substance vue sous un certain jour. Entre les astres, si nous voulons éviter l'action à distance, il y a donc des supports d'énergie et nous voilà ramenés à l'éther.

--Pas du tout, il n'y a rien, disent les Einsteiniens.

--Mais alors, dites-nous ce qu'est l'espace en dehors des corps? Y aurait-il donc un espace _en soi_? Évidemment non!

L'ancien éther mécanique est décédé d'inanition[22]; soit, mais l'éther pur et simple a résisté, pour la bonne raison que si personne ne peut le définir, personne ne peut s'en passer. Son existence est un fait logique, pour ainsi dire, mais on désirerait davantage, on voudrait qu'il fût d'ordre expérimental. Pouvons-nous caresser ce dernier espoir? Peut-être; et par un moyen assez simple en apparence.

[22] Cf. P. G. NUTTING: _Sur l'éther_ dans _Rev. Gén. des Sc._ Août 1922.

Lorsque nous nous déplaçons dans l'atmosphère, notre vitesse se traduit par une impression très sensible. A moins de nous trouver en ballon libre et d'être transportés avec la couche d'air, nous sentons le vent nous fouetter le visage; n'en serait-il pas de même pour l'éther dans lequel nous sommes plongés? La Terre, en effet, n'est pas fixe dans l'espace; alors, de deux choses l'une: ou bien l'éther participe à notre mouvement et est entraîné avec nous, en partie ou en totalité; ou bien il est immobile par rapport à nous qui marchons et, dans les deux cas, nous pouvons imaginer des expériences qui nous fixeront à ce sujet.

Lorsque vous êtes dans un train avançant à une vitesse de 60 kilomètres à l'heure, si vous rencontrez un express marchant à 100 kilomètres, et venant en sens inverse, ce dernier passera à vos côtés comme s'il faisait du 160 à l'heure: les vitesses s'ajoutent; elles se retrancheraient si l'express, venant derrière vous, dépassait votre convoi; vous auriez la sensation d'un train omnibus filant à la vitesse de 40 kilomètres.

Le même raisonnement semble valable pour le globe terrestre qui avance dans l'espace à raison de 30 kilomètres par seconde. Si nous nous dirigeons en effet vers un point bien repéré, la vitesse de la lumière venue de cette direction, devrait augmenter de 30 kilomètres en apparence; de même, nous devrions constater une diminution pour le mouvement de la lumière qui nous rattrape en cours de route.

Voilà ce qu'indique la théorie. Et l'expérience, que nous dit-elle? Exactement le contraire. Des mesures minutieuses et d'une exactitude extrême, faites par Michelson en 1881 et en 1887, ont démontré que, quelles que soient la direction, la vitesse de la

Terre et du rayon lumineux, tout se passe comme si nous n'avançions pas.

Depuis ces constatations, vous pensez bien que les explications n'ont pas fait défaut; comme le disait malicieusement Henri Poincaré, on en trouve toujours; les hypothèses, c'est le fonds qui manque le moins.

Fizeau proposa d'admettre que l'éther, dans nos expériences, était entraîné en partie par notre mouvement; Stokes voulait un entraînement total. Les physiciens, par de nouvelles expériences, les renvoyèrent dos à dos.

C'est alors que Fitzgerald et Lorentz conçurent une idée bizarre, afin de sauver les principes de notre Mécanique. D'après eux, l'éther reste bien immobile, mais lorsque la Terre avance dans une direction, tous les corps se contractent dans le sens du mouvement. Oh! la contraction est très faible; néanmoins, sa mesure n'est pas en dehors de nos moyens; malheureusement le double-décimètre qui nous servirait à la déceler se contracte, lui aussi, et voilà pourquoi nous ne pouvons nous en apercevoir.

Le calcul de cet effet de contraction est assez simple, mais pour notre but, il nous suffira ici d'indiquer les résultats. On démontre en effet que dans les conditions énoncées, chaque unité de longueur, au lieu de valoir 1 exactement (soit un mètre), vaut la racine carrée de (1 _moins_ une fraction) et c'est précisément la valeur de cette dernière qui fait tout l'intérêt du problème. Cette fraction a pour numérateur _le carré de la vitesse de la Terre_, soit 30 × 30 = 900 kilomètres, et pour dénominateur, _le carré de la vitesse de la lumière_, soit 300 000 × 300 000 = 90 milliards; on aurait donc pour valeur de la fraction 300/(30 mil-

liards) soit, en simplifiant: 1/100 000 000, ou 1 divisé par cent millions; c'est cette valeur qu'il faut d'abord retrancher de 1 dans la formule[23]; si l'on effectue toutes les opérations, on voit qu'à la vitesse de 30 kilomètres par seconde, notre mètre se raccourcit de 5 millionièmes de millimètre; pour le diamètre du globe terrestre, on trouverait 6 centimètres 4 millimètres.

[23] Si l'on désigne par v la vitesse de la règle en mouvement (mètre par ex.) et par c la vitesse de la lumière, la règle-unité, au lieu de valoir 1, vaut $\sqrt{(1 - v^2/c^2)}$; c'est de la fraction v^2/c^2 qu'il s'agit dans le texte. On voit immédiatement que si v = c, la valeur de la fraction v^2/c^2 est égale à 1. La quantité sous le radical devient donc $\sqrt{(1 - 1)} = 0$; si v était plus grand que c, la fraction v^2/c^2 aurait une valeur supérieure à 1 et la quantité sous le radical deviendrait imaginaire.

Ainsi, la contraction est très faible, mais ce résultat tient à ce que notre vitesse n'est que de 30 kilomètres à la seconde. Si celle-ci était aussi forte que celle de la lumière, que se passerait-il? Le numérateur de notre fraction au lieu de 900, vaudrait 90 milliards, c'est-à-dire que numérateur et dénominateur seraient égaux; or tout le monde sait que, dans ces conditions, une fraction représente l'unité. Ainsi, au lieu d'avoir dans la formule: 1 moins une fraction, nous aurions: 1 moins 1, c'est-à-dire _zéro_. Ce qui veut dire que la contraction serait tellement accusée que la longueur de notre mètre serait réduite à zéro. La conclusion est valable pour un corps quelconque, pour la Terre par exemple, qui serait infiniment aplatie et prendrait la forme d'un disque sans épaisseur.

Voilà pourquoi les physiciens avaient conclu que la vitesse d'un corps quelconque ne pouvait dépasser celle de la lumière.

Cette vitesse de 300 000 kilomètres par seconde est donc la dernière limite des possibilités. J'ai insisté sur cette particularité parce que nous retrouverons bientôt cette même formule dans la théorie de la relativité.

La contraction lorentzienne--ainsi fut-elle appelée--suscita les plus vives discussions; on la traita de _deux ex machina_; cette compensation exacte des effets du mouvement avait l'air d'une intervention providentielle; et puis, si la contraction se produit dans le sens de la marche de la Terre sur son orbite, je ne vois pas pourquoi elle ne se produirait pas dans le sens de la translation du système solaire, puisqu'en fait, la Terre participe à ce mouvement qui atteint une vingtaine de kilomètres à la seconde; d'autre part, notre Voie lactée ne paraît pas fixe dans l'Univers et quelques astronomes pensent, non sans raison, que nous volons avec elle dans la direction du Capricorne, au taux de 750 kilomètres à la seconde: encore une autre source de contraction, la troisième cette fois et il s'en trouve d'autres probablement.

Si l'on se tourne du côté du principe de l'action et de la réaction, Poincaré nous fera observer que les choses ne s'arrangent guère mieux: l'hypothèse de la contraction de Lorentz se heurte ici à d'inextricables difficultés, en raison même de l'éther que nous voyons réapparaître inopinément. Pour se prononcer, il faudrait connaître les rapports de la matière avec l'éther et sur ce point nous ignorons tout.

Entre temps, Michelson et Morley reprirent l'expérience des vitesses de la lumière dans toutes les directions et les résultats furent encore négatifs. C'est alors qu'Einstein intervint: «Ne cherchez l'explication, nous dit-il, ni dans la contraction de Lo-

rentz, ni dans la nature de l'éther, le nœud du problème réside entièrement dans la relativité du temps.»

C'est ce que nous allons examiner dans le chapitre suivant, mais d'ores et déjà, il apparaît au lecteur que les vues d'Einstein ne sont ou ne _peuvent être_, la plupart du temps, qu'une simple explication, puisque tous les faits relatés au cours des pages précédentes étaient connus avant qu'il n'intervînt; que ces faits subsisteront même si la théorie de la relativité disparaît en tout ou en partie et qu'en dernière analyse, la faillite de notre Mécanique classique n'est pas due à Einstein, ainsi qu'on l'a publié et clamé aux quatre vents du ciel. Le rôle du physicien allemand a été fort exagéré, puisqu'en fait, ce dernier n'offre que l'interprétation, à sa manière, d'une formule imposée jusqu'ici par nos expériences.

CHAPITRE II

LA DOCTRINE DE LA RELATIVITÉ

Depuis longtemps, les philosophes nous avaient accoutumés à envisager l'espace, comme quelque chose de tout relatif. Toute appréciation de l'étendue se ramène en effet à l'évaluation d'une grandeur; celle-ci est comparée, dans ce but, à une autre grandeur prise pour unité. Le nombre obtenu est donc un peu artificiel; néanmoins, direz-vous, la grandeur reste bien la même, qu'elle soit évaluée en pouces ou en centimètres et votre réflexion est très juste.

Mais nous pouvons compliquer le problème: Supposons qu'un génie ou un démon vous joue le vilain tour, pendant votre som-

meil, d'accroître toutes les dimensions de la Terre et mieux, celles de l'Univers; rien à votre réveil, penserez-vous, ne sera changé. Vos mètres étant triplés, ainsi que vos dimensions corporelles, en même temps que vos appartements et tout le reste, votre salle à manger contiendra le même nombre d'unités de mesure que la veille. En serait-il de même pour le temps? Oui, répondrez-vous?

Eh bien, cela n'est pas certain, quoi qu'en dise Poincaré dans ses _Dernières Pensées_[24]. Il est vrai qu'en la circonstance l'auteur ne parle que de la relativité de l'espace. Au point de vue mécanique, tout serait changé et nous ne tarderions pas à nous en apercevoir. C'est bien ce qu'ont démontré autrefois Delbœuf, dans son _Mégamicros_, et mon ami, feu le colonel du Ligondès[25].

[24] H. POINCARÉ: _Dernières pensées_, p. 37 (Flammarion, Paris 1913).

[25] Cf. _Rev. des Quest. Scient._ 1904 pp. 70 et 597.

En attendant, adoptons, au point de vue purement spatial, les conclusions de Poincaré et supposons que la grandeur d'espace, comme la durée, soit extensible indéfiniment à la façon d'un fil de caoutchouc parfaitement élastique; toutes les grandeurs mesurables seront relatives. Mais la relativité envisagée par les physiciens de la fin du XIXe siècle et qu'Einstein n'a nullement inventée, soit dit en passant, n'a rien de commun avec les exemples précédents.

En effet, dans tout ce que nous venons de considérer, les rapports de temps et d'espace ne sont pas altérés. Une fois l'unité de mesure adoptée, celle-ci est toujours contenue le même nombre

de fois dans la grandeur à évaluer. Si je m'entends avec vous pour définir la minute de temps et la durée d'une heure, je trouverai, comme vous, que l'heure vaut 60 minutes à toutes les horloges réglées sur la mienne.

Or, nous dit Einstein, comment allez-vous régler vos horloges? Évidemment par la coïncidence des aiguilles de leur cadran. Ceci est facile quand toutes les horloges sont toutes réunies en un même lieu. Lorsque la première marque midi, la seconde et les suivantes marqueront midi également et il en sera ainsi de toute la suite des minutes et des heures. Et nous voici amenés à la notion de _simultanéité_.

Lorsqu'un événement se passera dans le lieu des horloges, soit une décharge électrique, l'heure indiquée par les horloges, me donnera l'heure de l'événement. L'événement, ici, est l'étincelle produite, je suppose, par la décharge et l'heure est la position de l'aiguille des horloges; je dirai que _heure_ et _événement_ (étincelle) sont des faits simultanés.

Et si l'événement n'a pas lieu à côté de l'horloge? Ah! cette fois, le problème est moins simple et il faut adopter des conventions. Voici la solution que propose Einstein.

Je suis placé au milieu d'une droite alors que deux observateurs en occupent les extrémités et je me fais envoyer par eux, des signaux optiques; dès lors que la lumière n'est pas instantanée et qu'elle franchit 300 000 kilomètres à la seconde, je recevrai les signaux en retard: je le sais parfaitement, mais cela m'importe peu pour l'instant. Ce qui reste vrai, c'est que les deux observateurs étant à la même distance de mon œil, si je reçois en même temps[26], c'est-à-dire à la même indication de mon chro-

nomètre, les signaux émis, j'en inférerai que ces signaux sont partis des deux stations également éloignées, _au même moment_. Les signaux ici sont encore simultanés dans le temps.

[26] Par un dispositif de miroirs inclinés, facile à imaginer.

Nous allons résumer cet exemple au moyen d'une figure: (v. figure 3) la droite est AB. J'occupe le milieu M; donc AM égale MB. La lumière mettant le même temps pour parcourir les deux moitiés de la ligne, si je reçois les signaux de A et de B au même moment, j'en infère que ces signaux sont partis de A et de B en même temps, c'est-à-dire simultanément.

[Illustration: Fig. 3.--Illustrant la définition de la simultanéité optique.]

Vous voyez que déjà nous sommes dans l'obligation d'introduire des postulats dans nos raisonnements; je n'insiste pas pour le moment et nous allons passer à une autre expérience qui nous fera toucher du doigt la source inépuisable de quiproquos suscités dans toute la suite de la théorie (v. figure 4).

[Illustration: Fig. 4.--Si les signaux émis par A et par B, sont jugés simultanés par un observateur situé en M, ces signaux seront aussi simultanés pour l'observateur M′ situé en face de M.]

Reprenons notre droite AB; je suis en M avec vous et nous avons chacun un chronomètre mis à la même heure. Vous allez vous placer en M′, juste en face de moi, c'est-à-dire sur la perpendiculaire à AB élevée en M. Si les observateurs continuent à envoyer des signaux rythmés, à chaque minute par exemple, non seulement je continuerai à les recevoir au même instant, mais vous qui êtes en M′, vous les recevrez aussi au même instant;

seulement, mon instant à moi sera différent du vôtre, mais, _par définition_, nous continuerons l'un et l'autre à dire que les émissions sont simultanées; ce qui est vrai à notre point de vue, en raison de notre définition conventionnelle de la simultanéité.

Tout ceci est très facile à comprendre à l'aide de la figure 4. Supposons en effet que la lumière mette 40 secondes pour parcourir AM ou BM qui lui est égal et qu'elle parcoure BM′ en 50 secondes; elle mettra aussi 50 secondes pour aller de A en M′, puisque AM′ égale BM′. Si donc les deux signaux émis partent de A et de B à midi, moi qui suis en M, je les recevrai à midi 40 secondes, ils arriveront à mon œil au même instant; _par convention_, toujours, je les dirai simultanés.

Pour M′, les choses se passeront de même façon; seulement, les signaux lui arriveront avec un léger retard et la simultanéité pour lui, se produira à midi 50 secondes.

Concluons que chacun de nous, en jugeant les signaux simultanés, ne commet pas d'erreur; ils ont été en effet émis au même moment dans le temps, mais ils n'ont pas affecté notre rétine au même moment.

Il y a donc une simultanéité _objective_, celle où les deux événements se sont produits dans le temps et une simultanéité _subjective_, indépendante de l'événement lui-même, mais dépendante du sujet qui la reçoit, ou plutôt de la distance à laquelle celui-ci se trouve des signaux.

Si la simultanéité _objective_ existe et nous n'en doutons pas, au moins théoriquement, nous voyons par contre que la notion de _simultanéité subjective_ résulte d'une pure convention; voilà ce qu'il ne faut jamais perdre de vue dans la doctrine de la Relati-

vité; l'oublier nous exposerait aux pires erreurs. On pourrait par exemple arriver à dire ceci, au nom du principe de la relativité: _Deux événements peuvent se produire en même temps sans qu'ils soient simultanés._ Dès lors, les non-initiés ne comprennent plus, ou plutôt, ils croient comprendre que toutes nos antiques notions s'en sont allées à la dérive, que les anciens philosophes raisonnaient comme des enfants, qu'un homme sorti d'Israël, nouveau messie de la science, est venu qui a renouvelé nos conceptions, jetant bas tout ce que la pensée humaine avait jusqu'ici vénéré, brisant les idoles chères à nos aïeux.

Mais quand on descend au fond des choses, quand on serre les termes de plus près, on pense à la fable du _Chameau et des bâtons flottants_; on s'aperçoit que toutes ces propositions paraissent profondes et anormales tout simplement parce que nous oublions que les expressions en sont conventionnelles; on joue sur les mots.

Voici un troisième exemple qui va prouver ce que j'avance.

Au lieu de supposer que mon ami, porteur d'un chronomètre réglé sur le mien, vient se placer en face de moi, c'est-à-dire en M′, comme précédemment, admettons qu'il vienne en D (fig. 5) dans une position telle qu'il soit plus près de B que de A. Supposons que DB soit parcouru par la lumière en 35 secondes tandis que AD le soit en 55 secondes.

[Illustration: Fig. 5.--Si un observateur M juge simultanés les signaux émis de A et de B, il n'en sera pas de même pour un observateur situé en D.]

Si les deux signaux sont émis à midi, de A et de B, moi qui suis resté en M, je les apercevrai toujours à midi 40 (exemple précé-

dent); pour moi, les signaux sont _simultanés objectivement_, c'est-à-dire en fait, et _subjectivement_, puisqu'ils arrivent en même temps à mon œil.

Mais pour mon ami situé en D, les choses se passeront tout autrement: à midi 35 secondes, il recevra l'émission issue de B et à midi 55 secondes, il recevra celle issue de A. Pour lui, la simultanéité subjective n'existe pas. Il ne pourra conclure à la simultanéité objective que s'il connaît les distances des signaux et s'il fait un calcul.

Ainsi, nous pouvons dire: _Deux événements peuvent se produire en même temps sans qu'ils soient simultanés._ Cette proposition qui nous paraissait révolter le sens commun, prend sa vraie signification dès que nous la traduisons en un langage précis et nous dirons: _Deux événements qui se sont produits en deux points différents de l'espace, au même instant, peuvent ne pas m'apparaître comme simultanés ou mieux, n'être pas simultanés subjectivement._

Cette remarque sur les apparences dues à la transmission non instantanée de la lumière ne date pas d'aujourd'hui, heureusement! Un astronome sait fort bien qu'en contemplant le ciel, il n'a devant lui qu'une représentation approchée de la réalité. Il dirige son regard sur la Polaire et l'image qu'il en aperçoit est celle que cette étoile lui a envoyée il y a 47 ans. En un demi-siècle, l'astre a fait du chemin et nous aussi: la place que nous lui attribuons est donc fictive; aussitôt après, notre astronome contemple Véga de la Lyre: il en aperçoit une image partie depuis 25 années; même raisonnement pour Altaïr de l'Aigle, dont la lumière met 14 ans à nous parvenir. Si nous étions placés en un autre endroit de l'Univers, nous verrions Véga, Altaïr et la Polaire

dans des positions très différentes, aussi bien au point de vue de l'espace qu'au point de vue du temps.

Ainsi, à la condition expresse de ne pas perdre de vue notre définition, conventionnelle encore une fois, de la simultanéité, nous pouvons nous entendre.

Que si cette distinction entre objectif et subjectif vous semble quelque peu spécieuse, le physicien vous répondra qu'il tient une foule d'autres exemples à votre disposition. Vous êtes dans une gare au moment où un rapide brûle la station. Pour vous avertir, le mécanicien fait agir le sifflet de sa locomotive. Supposons qu'il ait un diapason et qu'il prenne la note émise par l'appareil: son oreille l'informe qu'il donne le _la_ ordinaire. Quelle note, vous et ceux qui stationnent sur le quai, allez-vous entendre? Une série de sons de plus en plus aigus, à mesure que se rapproche le train et de plus en plus graves, à mesure qu'il s'éloigne. Et ceci provient du nombre de vibrations émises par seconde, nombre évidemment variable, puisque la source sonore se déplace _relativement à votre oreille_ demeurée fixe.

Chaque nuit, nous assistons à un phénomène analogue: les raies des spectres stellaires sont déplacées vers le rouge ou vers le violet suivant que les étoiles s'éloignent ou s'approchent de nous; c'est l'effet connu en Optique sous le nom de Doppler-Fizeau, dont parle Einstein dans sa brochure sur la Théorie de la Relativité; mais, à l'instar des Allemands ses compatriotes, il ne manque pas d'omettre le nom de Fizeau qui était Français. Je n'apprécie pas, je constate simplement[27].

[27] Cf. p. 42 dans EINSTEIN: _La Théorie de la Relativité_ etc. (Gauthier-Villars, Paris, 1921).

Tous ces faits connus et expliqués ne nous paraissent pas extraordinaires; ils tiennent, en dernière analyse, au fait que les phénomènes de l'Univers se passent dans le temps et dans l'espace et qu'ils sont soumis à des lois déterminées; dès lors, les propositions concernant la simultanéité de deux événements ne doivent pas davantage nous étonner, à la condition de bien nous entendre sur les définitions.

Vous ne trouverez donc pas étrange qu'un observateur terrestre, qui voit au même moment des protubérances du Soleil s'élancer des extrémités d'un diamètre solaire, s'il n'est pas à égale distance des deux phénomènes, assiste à des événements simultanés pour lui, mais non-simultanés pour un observateur occupant le centre de l'astre.

On comprend mieux maintenant pourquoi la notion de simultanéité, très claire pour des événements contigus, devient obscure dès qu'on l'applique à des événements éloignés dans l'espace; de toute nécessité, il faut sous-entendre, suivant les cas, subjectif ou objectif. Mais cela même ne suffit pas, car l'idée de relativité va encore intervenir.

Prenons un quatrième exemple. Cette fois, je vais prier mon ami d'emporter son chronomètre préalablement réglé sur le mien, très loin de moi et cela avec une grande vitesse; vous allez voir que nos montres ne seront plus d'accord. En effet, mon ami part à midi, mais dès la première heure du voyage, s'il peut apercevoir de loin l'heure de mon chronomètre, il constatera un décalage avec le sien; _s'il regarde mon cadran qui la lui donne_ (retenez bien cette condition qui sera toujours sous-entendue) _il en verra une image_ qui a mis un certain temps à parvenir jusqu'à lui. Un signal instantané lui aurait donné mon heure exacte-

ment, mais ce signal n'existant pas, s'il veut régler sa montre sur la mienne, il sera obligé de _retarder_ la sienne et ses heures seront plus longues. J'insiste sur cet exemple, car il est la clef de voûte de toute la suite. Je vais donc prendre des nombres pour mieux exprimer les résultats.

Je suis avec mon ami, en face de la gare de Lyon, à Paris, et nous réglons nos chronomètres sur l'horloge monumentale surmontant l'édifice: il est _midi_ et mon ami s'éloigne aussitôt avec une vitesse égale au dixième de celle de la lumière. Il est évident que lorsque l'horloge de la gare de Lyon marquera 1 heure, mon ami sera en un point de l'espace que la lumière met 6 minutes (le dixième de 60 minutes) à atteindre. Si de l'endroit éloigné qu'il occupe, il vise la gare de Lyon, la position de l'aiguille marquant 1 heure à Paris, lui parviendra 6 minutes après[28]. Même décalage dans l'heure suivante. On a inféré de cet exemple que l'horloge de mon ami retardant sur la mienne, va moins vite, en d'autres termes que ses mouvements se ralentissent. Présentée sous cette forme brutale, la proposition est un pur sophisme.

[28] En d'autres termes, la montre de mon ami doit marquer 1 heure lorsqu'il est 1 h. 6 m. à Paris.

Il faut dire ceci: Si mon ami s'éloignant, veut que sa montre marque l'heure de la gare de Lyon qu'il aperçoit de loin, il se voit dans l'obligation de la retarder à chaque instant, ou bien d'agir sur le mécanisme pour qu'elle marche plus lentement; mais, d'elle-même, la montre n'est pas capable de se mettre à l'unisson de la pendule qui ne voyage pas.

Un autre exemple va nous en fournir une preuve encore plus tangible. Nous allons supposer, avec M. Langevin, que mon ami s'éloigne à la vitesse de la lumière. Dans ce cas, il voyagera _avec l'image_ du cadran de la gare de Lyon. Or, cette image, au bout d'une seconde, sera déjà à 300 000 kilomètres de Paris et mon ami aussi. Sur cette image, il lira donc son heure de départ, soit midi, et toujours midi en quelque lieu qu'il se trouve.

Supposons que son but soit le Soleil et que sur la surface de l'astre, il rencontre un miroir qui réfléchisse le rayon lumineux parti à midi de Paris (hypothèse Langevin). Ce rayon atteindra le Soleil après 8 minutes de parcours[29], puis rebroussera chemin vers la Terre. Mon ami qui est lié à ce rayon transportant l'image du cadran, reviendra avec lui et, comme à l'aller, s'il veut régler sa montre sur l'horloge de Paris, il se verra dans l'obligation, non plus de retarder son chronomètre, mais de l'arrêter net. Finalement, il sera de retour à midi 16, heure de la gare de Lyon et à midi, toujours à sa montre.

[29] Plus exactement: 8 m. 13 s., mais nous adopterons le nombre de 8 m. pour simplifier.

Allons-nous conclure gravement comme Langevin: «Pour lui, le cours du temps serait suspendu[30].»

[30] Cité par J. BECQUEREL dans _Exposé élémentaire de la théorie d'Einstein_ p. 59 (Payot et Cie, Paris, 1922).

Pardon; il y a là une grossière équivoque et une imprécision. Il faut dire: «Ce qui aurait été suspendu pendant la durée réelle du voyage, ce serait la marche apparente de l'horloge de départ, représentée par son image qui aurait voyagé.»

Pensez-vous que si mon ami avait usé d'un moyen de locomotion quelconque, d'un avion très rapide par exemple, son moteur n'eût pas usé d'essence? Nous sommes en plein domaine du paradoxe et les théories de la relativité ne sauraient aboutir à anéantir l'énergie.

On comprend mieux maintenant le sophisme plus déguisé qui se cache dans la comparaison suivante due au même auteur: «Supposons pour fixer les idées que la vitesse d'un voyageur quittant la Terre, soit inférieure de un vingt-millième seulement à la vitesse de la lumière. Pendant un an, le voyageur s'éloigne de la Terre et il revient au bout de deux ans, car il a vécu le temps propre de son système, temps enregistré par ses horloges. Cependant, à son retour, il trouve sur la Terre d'autres générations et il apprend qu'il est parti depuis 200 ans. Il s'est transporté dans l'avenir de la Terre, mais sans retour possible dans le passé[31].»

[31] Cité par J. BECQUEREL, op. j. cit. p. 58.

Voilà la vraie raison pour laquelle le public a pris si grand intérêt à la relativité. On lui a tant et tant débité de ces raisonnements paradoxaux qu'il a fini par croire que ceux-ci reposaient sur une base véritablement scientifique.

«Il a vécu, nous dit M. Langevin, en parlant de notre voyageur hypothétique, le temps propre à son système, temps enregistré par ses horloges.» Mais voilà précisément où est le nœud de la solution. En fait, le voyageur s'éloignant à grande vitesse, a dû retarder sa montre; ses heures n'étaient donc plus comparables à celles des habitants de la Terre. Pendant tout le temps qu'a duré le voyage, notre touriste et les Terriens n'appelaient pas _heure_, _la même durée_ et c'est tout le secret de l'affaire.

Est-ce à dire que cette constatation diminue la portée de la Relativité au point de vue scientifique? Pas du tout; j'ai voulu simplement montrer que certaines interprétations de la théorie devaient être soigneusement évitées. J'avoue que, dans certains cas, les raisonnements de quelques auteurs sont extrêmement spécieux, mais on peut la plupart du temps les percer à jour en pesant tous les termes et en définissant les expressions employées. Je vais d'ailleurs le montrer encore en reprenant notre avant-dernier exemple, celui de l'homme qui s'éloigne de la Terre à la vitesse de la lumière.

Il vous souvient que mon ami s'éloignait de l'horloge de la gare de Lyon, à raison de 300 000 kilomètres à la seconde et c'est pourquoi il y lisait toujours midi. Nous avons admis qu'après avoir touché le Soleil au bout de 8 minutes des nôtres, il a suivi le rayon lumineux réfléchi par un miroir et finalement est revenu à l'heure de midi, heure de départ.

Ceci n'est vrai qu'à un seul point de vue: c'est à condition que pour voir l'heure de la gare, il se retourne au moment où il touche le Soleil. En effet, dès cet instant, il aperçoit l'horloge (ou plutôt son image) réfléchie par le miroir, donc dans une direction opposée à celle de Paris et c'est sur cette image qu'il lit midi, puisque par rapport à lui qui l'accompagne, elle est immobile; mais qu'il lui prenne fantaisie en cours de route, alors qu'il revient, de se tourner vers Paris, il apercevra une autre image du cadran et cette image qu'il croisera en chemin ne sera pas, elle, partie à midi, mais un peu plus tard. Ainsi, s'il veut marquer la nouvelle heure ou mieux s'il a deux chronomètres, le premier, l'ancien, marquera midi, c'est-à-dire sera au repos, tandis que le second qui marquera l'heure (aperçue au retour) de la gare de Lyon,

donnera successivement des heures de plus en plus voisines de l'heure de Paris. Arrivé à Paris, alors que le chronomètre au repos marquera encore celle de l'image partie à midi et vue par réflexion, l'autre indiquera midi 16, heure de la gare.

Mais si notre ami n'avait à sa disposition qu'un seul chronomètre, il s'est vu dans l'obligation, s'il a regardé l'image qui l'a croisé au retour, après avoir laissé son chronomètre 8 minutes au repos, de l'avancer brusquement et de lui donner ce que M. Painlevé appelait dans un exemple analogue «un vrai coup de pouce».

* * * * *

Quittons vite ce domaine de pure fantaisie pour revenir à des considérations beaucoup plus sérieuses. Voici, pour commencer, un problème autrement difficile à résoudre.

Jusqu'ici nous avons supposé qu'une des horloges était immobile et que l'autre s'éloignait avec une grande vitesse. Dans ce cas, nous avons constaté que l'horloge voyageuse devait être retardée, si nous voulions conserver des heures identiques sur les deux cadrans. Si, par exemple, mon ami avait pu m'envoyer un avis instantané de _l'heure lue de loin à ma montre_ et si j'en avais fait autant de mon côté, j'aurais pu déceler son mouvement; c'est le vieux problème des diligences qui courent l'une après l'autre et qui finissent par se rejoindre à condition que les vitesses soient inégales; mais supposons qu'au moment où mon ami me quittait, emportant notre heure commune, il m'ait pris la fantaisie de partir, moi aussi, avec une vitesse quelconque et inconnue dans la direction opposée; nous aurions pu de loin, au moyen d'un instrument d'optique, continuer à régler nos montres de façon à marquer la même heure et je sais, par ce que nous avons vu, que

nos heures non seulement n'auraient pas eu une égale durée, mais auraient été fonction de notre vitesse d'éloignement l'un par rapport à l'autre. Cette fois, lequel de nous deux aurait pu se flatter de posséder la meilleure heure? Ni lui, ni moi, évidemment.

Faisons un pas de plus; imaginons deux observateurs dans l'Univers: ils constatent simplement que leurs distances varient et ils règlent leurs montres en conséquence, toujours par signaux optiques; cette fois, ni l'un ni l'autre ne seront capables de décider lequel des deux est immobile, et c'est là un des aspects les plus curieux du principe de relativité.

Bien mieux, cette question n'aura même plus de sens précis: seule interviendra la vitesse relative d'éloignement.

Et ce cas n'est plus chimérique, c'est l'exacte réalité. Nous sommes sur la Terre qui tourne autour du Soleil; celui-ci nous emporte vers un point proche de Véga, dans la constellation de la Lyre; toutes les étoiles sont animées de mouvements propres souvent plus rapides que le nôtre et peut-être la Voie lactée elle-même, dont nous faisons partie, se promène-t-elle dans l'Univers. Donc, aucun point fixe autour de nous, à quoi rapporter nos mouvements. Comment les astronomes de tous ces mondes et nous-mêmes réglerons-nous nos horloges? En l'absence de points fixes de repère, d'axes immobiles, de signaux instantanés, il nous faut bien accepter la définition de la simultanéité telle que nous l'offrent les relativistes.

Évidemment, il serait plus commode pour nous de faire intervenir dans nos formules la notion de temps absolu, ainsi que l'avaient proposé Newton et ses successeurs, mais dès lors que l'instantanéité n'existe pas dans l'Univers, force nous est de nous

repérer à l'aide de rapports mesurés sans quitter notre observatoire terrestre... Nous devons donc nous contenter désormais, nous et ceux qui peut être nous observent de loin, d'un _temps tout relatif_, de ce que Lorentz appelait déjà un _temps local_, sans que nous puissions prétendre arriver, pour l'instant tout au moins, à préciser ce qu'est une durée au point de vue scientifique.

* * * * *

On voit mieux maintenant que la vitesse de la lumière est la base même sur laquelle reposeront toutes nos mesures de temps et d'espace. Cette vitesse, la théorie de la relativité la suppose constante et c'est là que se trouve le _postulat_ sur lequel elle s'appuie.

Ce postulat, de prime abord, paraît l'évidence même et on n'aperçoit aucune raison pour que la lumière, tout au moins loin des grosses masses, puisse changer sa vitesse; mais quand on y réfléchit, on voit bientôt qu'en fait la proposition est invérifiable, surtout si nous admettons en même temps le principe de relativité. Cette vitesse qui est posée comme constante absolue «doit être en effet indépendante de tout mouvement de translation rectiligne et uniforme que pourraient posséder la source lumineuse et le groupe des observateurs qui reçoit sa lumière»[32]. Finalement, elle suppose que si un système AB, comme celui de la figure 3, est en mouvement, la lumière, _malgré ce mouvement_, met le même temps pour aller de A en B que pour aller de B en A, ou, ce qui revient au même, pour aller de A en M, point milieu, que pour aller de B en M, toujours malgré le mouvement du système; et, nous l'avons vu, c'est finalement sur ce postulat qu'Einstein fait reposer sa définition de la simultanéité. Voilà pourquoi

ce physicien est lui-même contraint d'avouer que tout cela est pure convention.

[32] Cf. L. DUNOYER: _Einstein et la Relativité_ dans _Rev. Univ._, 1er mai 1922, p. 315.

Je sais bien que toutes nos théories physiques sont réduites à une nécessité analogue et cela ne leur enlève pas tout mérite, mais ma réflexion vise plus loin; elle répond à une question souvent formulée par ceux qui ne sont pas au courant des procédés scientifiques. Si la théorie de la relativité n'est pas tout à fait exacte et si elle pèche par sa base ou par quelque côté défectueux; si elle n'est pas à l'abri de nombreuses contradictions; si, pour la faire cadrer avec certaines lois admises, ses auteurs se sont vus dans l'obligation de donner çà et là quelques «coups de pouce», comment se fait-il qu'elle parvienne à fournir la raison de phénomènes jusqu'ici ignorés ou inexpliqués?

Une double réponse s'impose; réponse d'ordre général d'abord: Qu'entendons-nous par hypothèse en Physique? tout est là. Prenons l'Optique; les physiciens d'autrefois avaient noté un certain nombre de faits et il s'agissait de trouver une formule qui pût les relier. Après quelques tâtonnements, les plus intelligents y parvinrent; qu'avaient-ils fait au fond? Ils avaient simplement agi comme le mathématicien auquel on donne des points sur une surface, points par lesquels il fait passer une courbe dont il parvient peu après, à trouver l'expression analytique.

Et si, dans la suite, une nouvelle expérience vient fixer la position d'un autre point, qu'arrivera-t-il? Ou bien le point sera sur la courbe et confirmera la première hypothèse; ou bien il sera notablement en dehors et cela nous indiquera qu'il faut chercher une

autre explication, donc que la première était mauvaise, inexacte ou, pour le moins, très incomplète.

Or, il est d'expérience que généralement une hypothèse «bien travaillée» donne des résultats intéressants pendant un certain nombre d'années. Et la raison de ce fait saute aux yeux; dès lors que l'hypothèse a été émise à telle ou telle époque, c'est que les faits enregistrés en amenaient la nécessité, l'imposaient pour ainsi dire, étaient la conséquence aussi d'une méthode commune de travail... jusqu'au jour où un esprit nouveau devait s'introduire et provoquer des expériences dans un champ insoupçonné.

Pendant un certain temps, l'hypothèse peut donc être féconde et prévoir des phénomènes vérifiables. Nous avons déjà donné comme exemple l'hypothèse de l'émission qui a tout prévu en Optique, jusqu'au jour où elle fut impuissante à nous expliquer la diffraction.

Supposons pour un instant que ce dernier phénomène fût resté ignoré; l'hypothèse aurait été conservée et, dans cas, elle nous eût amené depuis longtemps à nous apercevoir qu'un rayon lumineux doit être dévié en passant près du Soleil. La constatation du fait aurait-elle été la consécration définitive de l'hypothèse de l'émission? Pas le moins du monde, car peu après les physiciens auraient découvert la diffraction et dès lors, senti la nécessité d'abandonner leurs premières vues.

Ainsi, concluons, si nous voulons être logiques, que le succès des mesures opérées lors de l'éclipse de Soleil, tout en donnant raison à Einstein sur ce point particulier, est encore loin de prouver qu'avec lui nous tenons l'explication réelle des faits.

Ajoutons enfin que dans la plupart des cas, les formules mathématiques relevant des données expérimentales, n'ont qu'une valeur toute formelle; elles n'expliquent pas le mécanisme qui réalise le phénomène.

Prenons par exemple la gravitation: Newton avait dit: «Les choses se passent comme si les corps s'attiraient en raison directe de leurs masses et en raison inverse du carré des distances»; eh bien, rien dans la loi ainsi énoncée, ne fait présumer quelle cause est en jeu. On a formulé à cette occasion tout un monde d'hypothèses; elles se sont toutes effritées lamentablement; puis, les astronomes reconnurent au siècle dernier qu'en fait, cette loi de Newton n'est qu'approchée: l'illustre mathématicien Newcomb réussit même à indiquer les corrections qu'il fallait lui faire subir en certains cas, mais celles-ci ne furent qu'empiriques et la raison ultime du phénomène demeure toujours une énigme.

Cette correction, répliquera-t-on, est fournie par la théorie de la Relativité qui, ainsi, a pu expliquer l'avance du périhélie de Mercure. Soit, mais on n'a pas assez insisté sur notre ignorance de la valeur exacte du nombre qui représente cette avance. Allons plus loin et admettons que la formule d'Einstein donne très exactement le chiffre réel. Cela ne prouve encore rien et nous continuons, quoi qu'on affirme, à ignorer la vraie cause en jeu... parce que, encore une fois, l'expression analytique d'une loi se réduit le plus souvent à interpréter une statistique.

Dressons, par exemple, une Table de Mortalité; nous pouvons la mettre sous la forme d'une courbe dont un mathématicien trouvera la formule. Sommes-nous plus avancés? Oui, sous un certain point de vue purement formel; ce sera pour notre esprit une simplification, mais au fond, rien ne sera dans la courbe qui

n'ait été contenu implicitement dans les statistiques ayant servi à la construire. Du mécanisme qui préside à la mortalité, nous continuerons à ignorer tout.

Autre exemple totalement différent. Un mathématicien allemand, Wolf, avait formulé en 1741, une loi curieuse d'après laquelle il était évident que les intervalles des planètes, loin d'être répartis au hasard, se doublent, ou à peu près, en passant d'une planète à la suivante; en 1772, Titius, astronome prussien, dépouilla Wolf de sa loi et se l'appropria, sans citer son prédécesseur évidemment; survint un troisième larron du nom de Bode, directeur de l'Observatoire de Berlin qui s'annexa définitivement la trouvaille, à telles enseignes que la loi des distances des planètes au Soleil est universellement connue aujourd'hui sous ce nom de _loi de Bode_; ces procédés sont courants, paraît-il, en Allemagne, surtout lorsqu'il s'agit de savants étrangers[33].

[33] J'ajoute ici pour l'honneur de Bode, que celui-ci _aurait protesté_ contre cette attribution: le fait est à vérifier.

N'insistons pas et appelons _loi de Bode_ cette formule qui lie les distances. Jusqu'en ces derniers temps, la loi fut regardée comme purement empirique et personne n'en soupçonna la cause. Or, au courant de l'année 1921, en travaillant mon hypothèse cosmogonique sur la formation du Système solaire, je fus amené à m'occuper de la question et je réussis, par un mécanisme analogue à celui des _Quanta_ de Plank, dont nous avons parlé, à montrer que cette loi des distances, regardée jusqu'ici comme empirique, résultait au fond de la loi newtonienne de la gravitation[34]. Est-ce un progrès? Oui, évidemment, puisque j'ai pu pénétrer un peu plus avant dans la Mécanique de l'Univers, mais au demeurant, je n'ai fait que reculer la question.

Reste toujours à indiquer la cause intime de la gravitation et l'explication que nous en donne Einstein est encore formelle et paraît bien loin d'avoir épuisé le sujet.

[34] Cf. TH. MOREUX: _Origine et Formation des Mondes_, pp. 163 et suiv. (Doin, Paris, 1922).

Mais n'anticipons pas et revenons aux effets de la relativité du temps.

* * * * *

Nous avons vu, à la fin du chapitre I, que pour donner une interprétation de l'expérience de Michelson et Morley, Lorentz avait proposé l'hypothèse de la contraction des longueurs dans le sens de la marche de la Terre; ce même physicien avait été amené peu à peu à la conception du _temps local_, mais dans sa pensée, quelque _temps absolu_ subsistait encore et la contraction dont il parlait était une réalité. La théorie de la relativité du temps a été instaurée précisément, non pour nier cette contraction nécessaire, mais pour montrer qu'elle n'est qu'une simple apparence. D'après Einstein, elle est la conséquence obligée de la vitesse relative de deux observateurs animés, l'un par rapport à l'autre, d'une translation rectiligne et uniforme.

Nous allons donc reprendre les conditions de la figure 5; mais cette fois, mon ami situé en M′, sera animé d'un mouvement rectiligne et uniforme dans le sens de la flèche. Que va-t-il se passer? Concrétisons les données de l'expérience afin de mieux saisir (v. fig. 6).

[Illustration: Fig. 6.--La voie AB est fixe; le train A′B′ se déplace dans le sens de la flèche.]

Mon ami occupe le milieu d'un train A′B′ de même longueur qu'une portion AB du talus de la voie dont j'occupe le milieu M; et nous nous arrangeons de façon que, lorsque A′ passera devant A, un mécanisme donnera une double étincelle électrique qui émanera _au même moment_ de A′ et de A. De même, B′ déclanchera deux étincelles en passant devant B, l'une émise par B′, l'autre par B. Il est clair que M′ sera alors en face de moi qui suis en M.

Maintenant, reculons A′B′ très loin à gauche et lançons le train à grande vitesse, mais toujours en mouvement uniforme.

Lorsque A′ et B′ passent en face de A et de B, les étincelles éclatent. Pour moi qui suis en M, immobile, les signaux lumineux partis de A et de B et qui appartiennent à la voie (mon système), sont simultanés. Pour mon ami, les signaux partis de A′ et de B′ (son système) sont aussi simultanés; mais c'est en vertu du fameux postulat dont nous avons parlé; c'est-à-dire que, _malgré le mouvement du train_, la longueur B′M′ a été parcourue avec la même vitesse que A′M′; admettons ce postulat sans sourciller.

Donc, jusqu'ici pas d'ambiguité: les signaux partis des extrémités de chacun de nos systèmes respectifs sont simultanés, aussi bien pour moi que pour mon ami.

Mais supposons que ce dernier, lorsqu'il atteint M′, veuille se rendre compte de la façon dont lui arrivent les signaux fixes sur la voie, ceux de mon système: il trouvera que, pour lui, ces signaux ne sont pas simultanés.

En effet, comme mon ami se déplace en allant vers B, il recevra nécessairement le signal de B avant celui de A. Il en conclura que lorsque l'avant B′ du train qu'il occupe, est arrivé en face de

B, l'arrière A′ n'était pas encore en face de A, donc que son train A′B′ est plus long que la portion de voie AB qui lui correspondait auparavant ou, ce qui revient au même, que AB est maintenant plus petit que son train[35].

[35] On a souvent donné des démonstrations fausses de ce résultat dans les livres de vulgarisation; cela tient à la difficulté de se passer de formules mathématiques; le principe de celle qui précède est dû à M. G. Moch auquel je l'ai empruntée en la modifiant suivant mon exemple. On la trouvera dans son livre: _Initiation aux théories d'Einstein_ que je recommande à mes lecteurs, comme le plus clair de ceux qui ont paru sur ce sujet (Larousse, éd. Paris, 1922).

Si mon ami a participé aux mesures au repos, il ne doute pas que les repères soient restés tels et que le train, comme la portion de voie, n'aient subi aucune altération, mais pour lui, les choses se passent tout de même comme si ma portion de voie s'était contractée. Si donc les mesures ont été faites seulement par moi, et que mon ami n'en sache rien, il sera victime de son illusion et rien ne pourra lui indiquer la vraie valeur de AB; ou plutôt, il jugera la grandeur AB telle qu'il la voit et en cela, il sera induit en erreur.

Et c'est ainsi que doivent se passer les choses dans l'Univers. Nous sommes dans la situation de mon ami vis-à-vis des corps célestes et vis-à-vis de la lumière qu'ils nous envoient.

Ainsi s'explique la contraction de nos mesures dans l'expérience de Michelson; cette contraction n'est plus réelle, comme le supposait Lorentz; elle n'existe qu'en apparence et ce qu'il y a de

plus intéressant ici, c'est que la formule à laquelle on est conduit est exactement celle qu'avait donnée Lorentz.

Ce résultat, il ne faut pas se le dissimuler, est extrêmement remarquable et l'on conçoit sans peine qu'il ait fourni un grand appui à la doctrine des relativistes.

CHAPITRE III

LES CONSÉQUENCES DE LA RELATIVITÉ

Pour les études que poursuit le physicien, les conséquences déduites des considérations qui précèdent sont d'une importance capitale. L'unité de temps, telle qu'on l'admettait depuis Newton, ne peut plus être considérée dans nos formules, comme une grandeur invariable et constante; il n'y a pas de temps absolu. La durée dépendant de la vitesse d'éloignement des observateurs, ceux-ci ne peuvent plus choisir une commune unité; chaque système en est donc réduit à avoir son temps propre, son _temps local_, celui que proposait déjà Lorentz.

Où que nous soyons, le _temps_ est donc _relatif_, parce que ce _temps_ nous est donné, dans l'Univers, par des signaux généralement lumineux; ou, si vous préférez, nous ne pouvons nous rendre compte des événements lointains qu'au moyen de la vision, phénomène lié à la vitesse de la lumière. Pour que le temps pût être regardé comme absolu, il faudrait un signal instantané et ce signal n'existe pas.

Donc, l'espace donné par la même sensation visuelle, et soumis comme le temps a une condition de dépendance--vitesse re-

lative du système--est aussi relatif et devient par là même (la dernière expérience décrite l'a prouvé), un corollaire obligé de la relativité du temps.

Ainsi raisonnent les relativistes: ils n'ont pas tout à fait tort, mais les termes qu'ils emploient prêtent à l'équivoque.

Je vais donc essayer de mettre un peu de rigueur dans les conclusions admises.

Lorsque Newton nous parlait de _temps absolu_, visait-il la nature du temps? Évidemment non; tout le monde s'accorde à admettre que le temps n'existe pas _en dehors_ des choses qui durent: pas de temps sans mouvement, sans changement, donc sans quelque chose qui change. De ce _temps_-là, il ne saurait être question entre physiciens: or, ces derniers n'ont d'autre souci que la recherche d'un moyen pour _mesurer_ le temps.

Le mot _absolu_, dans le langage de Newton, avait donc une signification bien nette; il se rapportait à l'unité de temps que le savant admettait implicitement comme une grandeur conventionnelle certainement, mais toujours identique à elle-même, dans l'étendue de l'Univers.

Or, en posant cette convention, il sous-entendait, sans s'en douter, une condition qui n'est pas réalisée dans la nature: la propagation instantanée de l'action, dont l'existence ne nous est connue que par la transmission de la lumière. Dès lors que l'instantanéité n'existe pas, l'espoir d'une unité absolue de mesure s'évanouit et nous sommes ainsi conduits à nous servir d'une unité, non seulement conventionnelle comme autrefois, mais _relative_ et variable, suivant le système où nous opérons.

Cette mise au point était nécessaire pour restreindre la portée et préciser la signification des conclusions de nos relativistes: ceux-ci n'ont pas le droit d'affirmer que le temps absolu n'existe pas, mais ce qu'ils peuvent dire, c'est qu'en l'état actuel de la science et en raison des circonstances dans lesquelles nous nous rendons compte des événements par la vision, nous sommes réduits à ne pouvoir employer une unité de temps invariable.

Mêmes réserves en ce qui concerne l'espace qu'il ne faut pas d'ailleurs confondre avec l'étendue. Je n'insiste pas ici sur cette distinction; nous aurons, dans la suite, occasion de pénétrer plus avant dans les mystères de l'espace et du temps.

Vous concevez maintenant quelle répercussion profonde doit avoir sur les grandeurs étudiées en Physique et en Mécanique, l'emploi d'unités qui n'ont plus rien d'absolu. Tous nos résultats concernant la masse, la composition des vitesses, l'énergie potentielle, vont subir dans leur expression finale, une modification imposée par l'adoption même du principe de relativité.

Nous avons vu que les expériences sur l'émission des corpuscules et sur les électrons avaient démontré, bien avant Einstein, que la masse d'un corps est fonction de sa vitesse; ce fait assez surprenant n'était au fond qu'une simple constatation; or, la théorie de la relativité nous l'explique, ou prétend tout au moins l'expliquer. On conçoit très bien en effet que ce qui affecte nos sens, ce qui manifeste la substance à notre perception, soit dépendant des vitesses relatives. Supposez que je voyage avec la vitesse d'un projectile qui m'accompagne; l'effet produit par l'obus sur mon corps sera nul, tout au plus se réduira-t-il à une simple action de contact. Mais que nous croisions, l'un et l'autre, un sujet venant à notre rencontre, le choc sera terrible et son intensité

deviendra la mesure de la masse, pour ainsi dire. Pour une troisième personne filant devant nous avec une vitesse un peu moindre que la nôtre, et que nous rejoindrions en cours de route, l'effet serait très atténué. Ainsi, nous sommes trois observateurs qui apprécierons différemment la masse du corps en mouvement; et nous comprenons qu'au fond, c'est dans la relativité de nos vitesses qu'il faut chercher la clef du mystère.

Seulement, si nous poussons jusqu'au bout l'application des formules, nous allons arriver à une conclusion quelque peu déconcertante: la vitesse d'un corps ne saurait dépasser celle de la lumière. La formule à laquelle j'ai fait allusion dans le chapitre II et qui était relative à la contraction de Lorentz, se retrouve, nous l'avons vu, dans la théorie de la relativité. Pour Lorentz, la contraction était réelle, pour les relativistes, elle est apparente; c'est la seule différence, mais, dans l'un et l'autre système, son expression intervient à chaque instant dans les équations. S'agit-il des longueurs, nous voyons aussitôt que la fraction de la formule prend la valeur de 1 pour une vitesse du corps égale à celle de la lumière; la contraction est maximum et le corps est réduit à zéro en épaisseur[36]. Quant aux durées et aux masses, elles deviennent infinies dans la même hypothèse.

[36] Cela résulte de la formule donnée dans la note [23] de la page 37. Les durées et les masses se déduisent de la même expression.

Et si nous supposions un corps allant plus vite que la lumière? Dans ce dernier cas, la formule nous avertit que nous sommes en dehors de toute réalité; l'hypothèse est inadmissible. Et cependant elle ne répugne pas en soi, elle n'offre à l'esprit rien d'absurde; je conçois très bien qu'une vitesse ne peut pas être infinie,

car si cela était, un corps serait à la fois, c'est-à-dire au même instant, aux deux extrémités d'une même longueur représentée par une droite AB; mais je n'aperçois pas la raison d'une limitation de la vitesse à une valeur donnée, et c'est pourtant ce qu'indique la formule.

Il y a là une obscurité singulière qu'il faudrait bien faire cesser. Les relativistes s'en tirent en invoquant leur formule; ce n'est pas une réponse, car une équation ne peut donner finalement que ce qu'on y a introduit dès le début. Il faut donc ouvrir l'œil et chercher à la base même de la théorie.

Il paraît singulier que toute matière, dans son mouvement, ne puisse dépasser la vitesse de 300 000 kilomètres par seconde; la vérification du fait est du domaine de l'expérience et nous attendrons pour nous prononcer.

Pour ce qui est de la fameuse équation magique, à y regarder de près, on ne tarde pas à découvrir l'artifice. Dès lors que nous tablons sur la vitesse de la lumière pour nous faire connaître un événement et que cette vitesse entre dans nos formules, notamment comme dénominateur dans la fraction indiquée, elle limite par avance le résultat, puisque le numérateur de notre fraction ne saurait en aucun cas devenir supérieur à son dénominateur.

Cette simple réflexion nous explique pourquoi, d'après la formule, une vitesse supérieure à celle de la lumière n'a plus de valeur réelle, mais devient imaginaire[37].

[37] Parce que la quantité sous le radical, dans la formule donnée en note de la page 37, devient nécessairement négative. Dans ces conditions, la racine est _imaginaire_.

Eh bien, même dans ce cas, tout au moins en ce qui concerne les vitesses, notre expression possède un sens interprétable. Nous avons vu que pour un observateur voyageant avec l'image d'un événement, c'est-à-dire à la vitesse de 300 000 kilomètres, cet événement serait pour lui éternellement présent; la Terre lui paraîtrait comme à l'instant où il l'a quittée, elle serait immobile; que dis-je, toute la surface de la Terre lui semblerait figée dans la plus parfaite immobilité: les cyclones arrêteraient leur marche, les oiseaux suspendraient leur vol, les trains ne rouleraient plus; les hommes, acteurs des événements, lui apparaîtraient comme nous les contemplons sur une photographie instantanée; tout mouvement serait anéanti, toute durée terrestre suspendue. Mais puisque nous sommes dans le domaine de l'hypothèse, il ne m'en coûte pas davantage d'imaginer notre voyageur emporté loin de la Terre avec une vitesse supérieure à celle de la lumière. Dans ce cas, il rejoindra en cours de route, des images ayant quitté la Terre _avant_ son départ, donc des images d'événements se succédant à rebours, tel un film cinématographique qu'on déroulerait à l'envers. Curieuse façon de vérifier l'authenticité des faits passés, d'assister au règne de Napoléon, de revivre le Moyen-Age, de revoir la mort du Christ, la décadence de l'Empire romain _précédant_ sa grandeur, etc...

Rêve chimérique, direz-vous! Pas autant que vous le croyez; car, enfin, vingt siècles suffisent à encadrer les événements auxquels je faisais allusion à l'instant; or, la lumière partie de la Terre il y a 2 000 ans, n'a pas encore touché un grand nombre d'étoiles. Un observateur situé aux confins de la Voie lactée, dans la portion la plus éloignée du système solaire, s'il possédait des instruments grossissants, contemplerait des événements qui se sont déroulés sur notre planète il y a environ 200 000 ans[38].

[38] Voir, à ce sujet, les idées modernes sur le diamètre de la Voie lactée et notre position dans l'ensemble aux chap. XIV, XV, XVI de _Où en est l'Astronomie_, par l'Abbé TH. MOREUX (Gauthier-Villars, Paris, 1920).

Un homme qui possèderait le moyen d'atteindre les lointaines régions dont je viens de parler, en un demi-siècle, verrait en cours de route, se dérouler à rebours tous les événements de notre lointain passé. Nous n'avons pas attendu la venue d'Einstein pour imaginer cette fiction: depuis un siècle et demi pour le moins, les romanciers ont su en tirer un parti plus ou moins heureux, sans oser se prononcer sur la possibilité intrinsèque d'une aussi extraordinaire randonnée.

Et c'est cette hypothèse que suggère la formule servant de base à la relativité. Seulement, pour les raisons indiquées, ce cas perd toute réalité et devient imaginaire. Quoi d'étonnant puisque, d'avance, on a limité la condition de la simultanéité en ne considérant que le signal lumineux.

Les relativistes avertis pourraient, ce me semble, se tirer de ce mauvais pas d'une tout autre façon et voici comment: on se souvient que les travaux contemporains, s'appuyant sur les équations de Maxwell, ont pu rattacher la dynamique de l'électron à la vitesse de la lumière et la faire entrer dans le cadre de la théorie électro-magnétique. L'émission corpusculaire elle-même ne serait qu'un cas particulier des lois du rayonnement; or, c'est dans ce domaine que nous avons constaté les plus grandes vitesses: 297 000 kilomètres dans certaines expériences, pour les rayons _Bêta_. La vitesse de la lumière n'a jamais pu être dépassée, ce qui s'accorderait avec les formules de la relativité.

Mais alors on ne fait que reculer la question et une autre difficulté surgit. Certaines particules pourraient atteindre 300 000 kilomètres à la seconde, car enfin il y a _quelque chose_ qui voyage à ce taux. Serait-ce l'électron? Dans ce cas, notre électron, d'après les relativistes, doit avoir une masse infinie; cela résulte de la formule fondamentale, et une épaisseur réduite à zéro; double contradiction.

Et si c'est une partie d'électron, un grain d'énergie, la même question va se poser. Ne serait-ce pas l'éther? Peut-être et dès lors c'est une nouvelle Physique à construire... avec les débris de l'ancienne.

L'esprit se perd dans ce dédale; à chaque pas, nous avons l'impression plus nette d'être enfermés dans un labyrinthe dont les issues se dérobent à nos recherches. Qui éclairera notre route! Où trouver le fil conducteur de nature à guider notre marche?

Est-ce tout? Pas encore. Plaçons-nous à un autre point de vue et examinons d'un peu plus près que nous l'avons fait, la base fondamentale de la théorie.

* * * * *

Vous posez, dirons-nous aux relativistes, comme évident, la constance de la vitesse de la lumière; c'est votre postulat. Soit, les sciences réputées les plus exactes fourmillent d'exemples de ce genre, vérités peut-être intuitives, en tout cas primordiales, que l'esprit ne se peut refuser d'admettre. Mais ici, la question se présente autrement.

Pour vous rendre compte de la constance d'une vitesse, il vous faut mesurer une longueur parcourue et cette longueur est elle-

même déterminée par une durée égale de temps.

Reprenons l'exemple de la voie et du train en marche: avec mon ami, nous conviendrons pour mesurer nos longueurs d'adopter une unité qui vaudra un certain nombre de longueurs d'ondes d'une lumière identique. Mais mon ami est en marche et moi je suis au repos; dans ces conditions, qui nous assure que nos longueurs d'onde seront les mêmes?

Difficulté analogue pour le temps: sa mesure repose sur la notion de simultanéité. Au repos, tout va bien: mon ami et moi, qui sommes à égale distance des extrémités de notre système, jugerons que les émissions auront lieu au même moment, si elles arrivent à notre œil au même instant. Une fois le train en marche, mon ami continue à se servir de la même définition de la simultanéité; il suppose donc implicitement que, malgré le mouvement des signaux lumineux qui arrivent à son œil de l'avant et de l'arrière, c'est-à-dire qui voyagent en sens contraire, l'espace parcouru, qui est le même, l'est dans le _même temps_. Or, admettre cette proposition c'est supposer qu'on a déjà un moyen de mesurer le temps.

De toute façon, on tourne dans un cercle vicieux, dont rien ne pourra nous faire sortir.

--Ne vous embarrassez point pour si peu, répondra Einstein; cette constance de la vitesse de la lumière qui vous préoccupe, nous allons la faire disparaître dans la Relativité généralisée; la première, la Relativité restreinte ne s'adressait qu'au mouvement rectiligne et uniforme; c'est là un cas particulier qui se fondra en un cas plus général où nous verrons la vitesse de la lumière s'accélérer ou se ralentir sous l'influence des grosses masses répar-

ties dans l'Univers. Dès lors, nous pouvons nous passer du postulat qui heurtait si fort vos sentiments de philosophe.

--Très bien, mais n'empêche que votre postulat vous a été nécessaire pour arriver à l'établissement des équations d'où sortiront plus tard les principes de la Relativité généralisée. Vous vous êtes allégrement débarrassé d'un commanditaire encombrant, soit, mais la source de votre fortune est dans le premier argent mis à votre disposition. Nous connaissons ce genre de raisonnement, la philosophie allemande en est pétrie.

Trêve de ces théories alambiquées! Si les masses exercent une action sur la constance de la vitesse de la lumière pour la modifier, cette vitesse constante préexistait à la modification. Pour qu'une chose change, pour qu'elle revête un autre aspect, il faut que cette chose existe préalablement. La modification n'a pas d'existence propre, il lui faut un support pour exister. Avant la perturbation créée par les masses, il y avait de même une grandeur qu'il vous plaît maintenant d'ignorer, que vous avez transformée en une quantité variable, mais qui était constante de sa nature et posée comme telle dans votre fameux postulat.

Ces réflexions et quantité d'autres que je pourrais encore développer, sont de nature à faire soupçonner la cause des obscurités et des contradictions inhérentes à la théorie et que les promoteurs de la Relativité ont dissimulées, tant bien que mal, en se jetant comme on l'a fait observer «dans un océan mathématique»[39]. J'estime même qu'en la circonstance, la plupart des physiciens perdront pied et ne suivront plus les démonstrations qui supposent pour être comprises une culture très spécialisée; une citadelle où ne pénètrent que les seuls initiés revêt toujours des aspects mystérieux et c'est à cette circonstance,

n'en doutez pas, qu'est dû le succès prodigieux des nouvelles théories, dans certains milieux intellectuels.

[39] Cf. L. DUNOYER, art. j. cit. p. 329. _Rev. univ._ 1er Mai 1922.

Cette remarque est d'ailleurs d'ordre général: pour soutenir une hypothèse, on s'accroche à tout ce que l'on rencontre et lorsqu'on sent le terrain se dérober sous les pas, à l'exposé logique, en un langage clair et précis de la pensée, on substitue des formules, ce qui faisait dire autrefois à Russell: «Quand on ne sait ni de quoi on parle, ni si ce que l'on dit est vrai, on fait des mathématiques.»

Et c'est l'impression qui vous étreint par exemple, après l'étude de l'ouvrage de A. Weyl, le disciple d'Einstein, qui fait appel, pour justifier la Relativité dans toutes ses conséquences, aux ressources les plus profondes de l'Analyse et du Calcul différentiel absolu[40]. Et lorsqu'on ferme le volume, on se demande si des savants n'auraient pas mieux fait de dépenser une énergie égale, en variant de toutes les façons imaginables, la célèbre expérience de Michelson et Morley, cause de tant de travaux et de si sévères discussions.

[40] Cf. A. WEYL: _Espace, Temps, Matière_ (A. Blanchard, Paris, 1922).

Car, au fond, c'est pour échapper à la contraction réelle imaginée par Lorentz qu'on a fait tout ce tapage. C'est pour retrouver la formule du savant hollandais qu'on a échafaudé une nouvelle hypothèse; c'est pour raccorder les formules empiriques de Newcomb sur la gravitation encore mal connue, avec celles de l'élec-

tron, édifiées bien avant Einstein et qui menaçaient déjà notre vieille Mécanique, qu'on a accumulé des montagnes d'intégrales.

La dynamique de l'électron est à peine esquissée, qui sait ce que nous réserve l'avenir; toute séduisante que soit la théorie des _quanta_, nous sentons qu'elle se heurte à des difficultés insurmontables de nature à la faire modifier profondément. A l'heure actuelle, je l'ai déjà fait remarquer, nous faisons machine arrière et nous revenons à la théorie de l'émission; mais alors vont surgir de nouveaux problèmes. Il va falloir, coûte que coûte réintroduire la notion de cet éther énigmatique dont on avait voulu se passer et ce sont toutes les lois du rayonnement qui sont à reprendre.

Quand on embrasse d'un seul regard les énigmes soulevées et les questions pendantes, on se demande si le moment était bien opportun de rechercher une formule synthétique, alors que tant de phénomènes nous échappent encore.

D'enthousiastes vulgarisateurs nous ont invité à voir dans Einstein un génie comparable à celui de Newton. C'est un titre de gloire bien lourd à porter et que, seule, la postérité peut décerner.

* * * * *

Passons maintenant au côté des applications pratiques.

Les conséquences de la théorie de la Relativité qu'il est inutile d'exposer ici en détail, ont ceci de particulier qu'elles ne se font véritablement sentir qu'au cas des grandes vitesses. Par leur essence même, elles constituent donc, pour ainsi dire, un rempart aux idées des novateurs, puisque très rares sont les occasions où nous pouvons les vérifier. Voici quelques exemples numériques; commençons par les durées: Dès lors que la Terre tourne autour

du Soleil à raison de 29 745 mètres à la seconde en moyenne, nos montres ne sauraient s'accorder avec celles qui marqueraient le temps sur le Soleil, centre immobile par rapport à nous; dans ces conditions, savez-vous à combien se monterait le désaccord des deux chronométreurs au bout d'une année, c'est-à-dire après 31 536 000 secondes? Devinez: Pas même à une seconde de temps; à _un dixième et demi de seconde_ tout au plus.

Lorsque nous constatons dans la durée du jour des écarts atteignant 5 à 6 secondes en certaines années, on conviendra que l'effet einsteinien est tout à fait négligeable et ne vaut guère la peine qu'on s'y arrête.

Les événements, dit-on, pourraient être intervertis et c'est une conséquence inéluctable de la théorie de la relativité. Je ne le nie pas, mais le calcul montre aussi que l'hypothèse sera toujours irréalisable pour deux événements se passant au sein du système solaire limité à Neptune, c'est-à-dire dans la partie de l'espace qui nous intéresse davantage et qui ne mesure pas moins de 9 milliards de kilomètres de diamètre.

Nous avons vu de même, que l'effet de notre mouvement sur le rayon de la Terre ne raccourcirait celui-ci que de 3 _centimètres_ environ dans le sens de notre translation autour du Soleil; or, 3 centimètres sur 6 371 kilomètres, c'est vraiment une diminution infime que nous ne parviendrons jamais à évaluer pratiquement. Il suit de là, nous l'avons vu, que nos mètres eux-mêmes subissent une contraction proportionnelle, dès que nous mesurons la grandeur d'un objet orienté dans le sens de la marche de notre globe. C'est bien en effet ce qui résulte de la théorie, qu'on admette l'hypothèse de la relativité ou celle de la contraction de Lorentz; mais, dans les deux cas, on aurait bien dû

avertir le public que l'erreur, en la circonstance, n'est tout au plus que de 5 _millionièmes_ de millimètre par mètre! Nos arpenteurs peuvent donc sans remords continuer à ignorer les nouvelles doctrines.

Passons maintenant à la masse. Nous avons dit que les physiciens n'avaient pas attendu l'avènement d'Einstein pour nous enseigner que la masse des corps, considérée, voilà cinquante ans, comme une donnée constante et intangible, augmentait avec leur vitesse. Ainsi, constatation mystérieuse, mais qui paraît bien réelle, puisqu'elle semble d'ordre expérimental, un corps lancé avec force possède une masse plus grande qu'à l'état de repos; le tout est de savoir quel ordre de grandeur manifeste cet accroissement. Lançons un boulet de 500 kilogrammes à la vitesse que possédaient probablement les obus de la fameuse Bertha, soit à 1 500 mètres par seconde. Savez-vous de combien sera augmenté le poids de notre projectile? De 38 _milligrammes_ seulement; et notez qu'ici, le surplus est un maximum; jamais nous ne réaliserons de semblables vitesses industriellement. C'est ainsi qu'un train pesant 1 250 tonnes et faisant du 108 kilomètres à l'heure, ce qui est énorme, verrait son poids ne s'augmenter que de 27 _cent-millionièmes de milligramme_. Voilà de quoi rassurer nos ingénieurs; comme les balisticiens, ces derniers peuvent se livrer à leurs calculs suivant les méthodes enseignées dans nos grandes écoles; ils sont certains à l'avance de ne commettre aucune erreur sensible et funeste.

Autrefois, on nous disait couramment que si deux avions marchent en sens contraire l'un de l'autre et se croisent à la vitesse de 85 mètres par seconde, ce qui nous donne du 306 kilomètres à l'heure, leur vitesse relative est doublée; nos deux avia-

teurs doivent donc avoir l'impression de faire du 170 mètres à la seconde. Dans les nouvelles théories, tout ceci est changé. Les vitesses étant relatives, il est évident qu'il faudra, en Mécanique, modifier la règle du parallélogramme; dans le cas considéré, la vitesse résultante n'est donc pas exactement le double des composantes, mais la différence avec ce dernier nombre n'atteint pas _un demi-milliardième_ de millimètre[41].

[41] Tous ces exemples numériques sont tirés de l'ouvrage si documenté de M. GASTON MOCH sur _La Relativité des Phénomènes_ (Flammarion, Paris, 1921).

Pratiquement, notre système actuel est seul à retenir; la Relativité ne peut servir que dans l'étude de l'infiniment petit, dans le domaine des atomes, où le physicien, nous l'avons vu, se trouve toujours en présence de vitesses fantastiques.

Mais, à ne considérer encore que le point de vue expérimental, il restera à montrer pourquoi, dans nos formules, la vitesse de la lumière semble toujours jouer le rôle de limite et de l'infini en mathématiques. Il y a là une obscurité réelle que la Relativité n'explique pas, puisqu'elle la suppose et l'admet toujours implicitement.

Or, nous l'avons vu, c'est sur cette vitesse limite de la lumière que s'appuie la définition même de la simultanéité: celle-ci est donc non seulement conventionnelle, mais relative à un monde où les actions qui se transmettent de proche en proche, ne peuvent se propager plus vite que par le signal lumineux.

D'où il suit que si nous trouvons un moyen de communication plus rapide, ou si nous constatons que dans l'Univers, il existe

des actions se transmettant à plus grande vitesse, la théorie de la relativité actuelle s'écroulera du même coup.

Or, nous sommes d'ores et déjà certains qu'il existe au moins un phénomène nous montrant un exemple de transmission plus rapide que celle de la lumière: c'est la gravitation. De même qu'avant Rœmer, on admettait couramment l'instantanéité de la transmission de la lumière, les savants de la première moitié du XVIIIe siècle professaient une théorie analogue en ce qui concerne l'action de la gravitation, c'est-à-dire qu'ils croyaient à la propagation instantanée de la pesanteur.

Ce dogme fut définitivement renversé par Laplace. Les calculs entrepris par l'auteur de _l'Exposition du système du Monde_, lui montrèrent en effet que la gravitation se transmet avec une vitesse au moins 7 millions de fois plus grande que la lumière. Ainsi, écrit-il, «la pesanteur agit donc avec une vitesse que nous pouvons considérer comme infinie et nous devons en conclure que l'attraction du Soleil se communique dans un instant presque indivisible aux extrémités du système solaire»[42].

[42] Cf. LAPLACE: _Exposition du Système du Monde_, p. 321, éd. 1835. Cette conclusion est vivement attaquée par les relativistes actuels qui soutiennent que la gravitation voyage au même taux que la lumière.

La conclusion nécessaire et obligatoire est celle-ci: Il existe dans le monde des actions qui se transmettent beaucoup plus vite que nos signaux lumineux, des ondes plus rapides que celles de la lumière; ce sont les ondes gravifiques.

Alors que la lumière marche à raison de 299 860 kilomètres par seconde, d'après Michelson et Newcomb[43], la gravitation

se fait sentir à travers l'espace matériel à la vitesse de 2 100 milliards de kilomètres dans le même temps. Ce chiffre est une limite inférieure; pour donner une idée de sa valeur, un simple rapprochement suffira: alors que la lumière ne met pas moins de 4 années pour nous venir de l'étoile la plus proche, _Proxima Centauri_, la gravitation se transmet dans cet intervalle, en 17 secondes à peine; pour nous venir d'étoiles situées à 7 000 années-lumière de notre œil, l'onde gravifique amorcée en ces lointaines régions met exactement le même temps pour nous arriver que l'onde lumineuse pour traverser notre système solaire limité à Neptune.

[43] Les valeurs de la vitesse de la lumière sont encore très discordantes; on sait seulement que la valeur réelle est très près de 300 000 kilomètres.

Dès lors, une réflexion s'impose: des êtres privés de la vue, mais pouvant percevoir des sons, auraient, depuis longtemps, fondé une mécanique relativiste appropriée à leurs facultés; comme les physiciens d'aujourd'hui, ils en seraient toujours à discuter s'ils se déplacent ou non par rapport à un milieu immobile; parce que nos expériences jusqu'ici n'ont rien donné de positif, nous concluons que la vitesse de la source lumineuse ne saurait avoir d'influence sur la transmission de la lumière; qu'en savons-nous? Et c'est cependant sur cette proposition que nous bâtissons la théorie de la Relativité, où nous posons dès lors comme une sorte d'axiome que nos 300 000 kilomètres, ou à peu près, marquent la limite de la vitesse de propagation d'une action matérielle.

Et la gravitation, qu'en font donc nos théoriciens? Nous n'allons pas, je suppose ramener la vieille querelle de l'action à dis-

tance; s'il faut un milieu pour transporter la lumière, il en faut un, le même peut-être, pour transmettre les actions gravifiques. C'est donc une action cinétique qui se propage entre les masses. De quelle nature est cette action, nous l'ignorons; mais peu importe, l'essentiel est qu'elle existe et nous parviendrons un jour à enregistrer sa vitesse. Nos successeurs seront donc amenés à réviser la théorie actuelle de la relativité. Le signal lumineux n'étant qu'un procédé grossier pour définir la simultanéité, les savants de l'avenir auront une définition calquée sur la première, évidemment, mais qui se rapprochera de celle donnée par la formule du temps absolu et tout se passera à très peu près comme dans la Mécanique classique.

Nous n'en sommes pas là, je vous l'accorde; mais, au moins, enregistrons la leçon que nous donne la gravitation. Qu'on ne nous parle plus de la vitesse de la lumière comme la limite que ne peuvent dépasser les mouvements d'un corps matériel. Conservons de la Relativité, les principes essentiels qu'elle nous a démontrés, mais laissons à l'expérience le soin de nous dire jusqu'où nous devons continuer à nous engager dans cette voie pleine d'embûches et de périls.

* * * * *

Après avoir parcouru ce premier stade de notre étude, je demande au lecteur de résumer ici toute ma pensée:

Depuis près d'un demi-siècle, la physique de l'atome nous a montré que nos lois générales, en particulier la loi de Newton sur l'attraction universelle, ne sauraient prétendre à tout expliquer. Il faudrait pouvoir englober dans une formule synthétique l'électro-

dynamique, la théorie de la lumière et l'attraction des masses célestes réparties à profusion dans l'Univers.

Moyennant des postulats qui s'appuient sur des expériences paraissant encore insuffisantes, Lorentz, puis Einstein, pour ne citer que les principaux, ont essayé d'opérer cette synthèse. La théorie de la relativité est un de ces essais remarquables; les principes en paraissent assez bien établis, mais ils sont conditionnels: c'est dire qu'ils disparaîtraient le jour où un seul des postulats serait trouvé en défaut.

La série des déductions mathématiques qu'on en retire est inattaquable, mais elle ne vaut que ce que valent les prémisses; ce sont de purs symboles dont l'interprétation est plus ou moins arbitraire. Il reste encore dans l'ensemble, bien des contradictions et des obscurités.

Cette mise au point des conclusions où nous mène ce que l'on appelle la _Relativité restreinte_, était nécessaire avant d'aborder la suite des idées d'Einstein et de Minkowski sur les conséquences de la _Relativité généralisée_.

Au début, Einstein s'est bien gardé de vouloir donner une théorie physique des phénomènes; même dans la Relativité généralisée où nous trouverons d'étranges propositions, le physicien allemand nous avertissait en 1915, que «l'espace et le temps sont dépouillés des dernières traces de réalité objective»; en 1920, il ajoutait que sa théorie «ne peut ni ne veut donner aucun système du monde, mais seulement une condition restrictive à laquelle les lois de la nature doivent se soumettre».

Malheureusement, comme le remarque fort bien M. Maillard, «en science comme en art, les disciples s'imaginent que pour sur-

passer le maître, il est nécessaire et suffisant de déformer sa pensée[44]».

[44] Cf. L. MAILLARD: _Cosmogonie et Gravitation_, p. 39 (Lausanne, 1922).

Toutefois, ces paroles judicieuses appellent une remarque: à la suite des conférences et des controverses auxquelles prit part Einstein lui-même, il semble bien que le _maître_ se soit laissé glisser peu à peu sur une pente qu'il affectionnait. Peut-on faire de la science sans idée préconçue? Je ne le pense pas; tôt ou tard, en face des notions premières et des théorèmes fondamentaux auxquels on est acculé, on sent le besoin de l'interprétation; le métaphysicien qui sommeille en chacun de nous, se réveille et l'on se trouve amené à prendre parti dans des querelles qui subsistent depuis Aristote et Platon et qui, toutes, se réfèrent à la nature intime des choses.

Si j'en crois ceux qui ont approché Einstein pendant son séjour à Paris, le physicien allemand a eu l'ambition--mettons tardive--de donner une nouvelle figure du monde. Je serai le dernier à le lui reprocher, et je n'ai jamais compris pour ma part le précepte de Bacon: «Physique, garde-toi de la Métaphysique»; car la Physique ne résout rien; ou plutôt, n'est-ce pas son but que d'essayer de résoudre les problèmes que lui pose le métaphysicien, tout au moins d'éclairer la marche du penseur et de lui fournir les données expérimentales, seuls appuis solides des théories?

Bon gré, mal gré, dès qu'on explore les avenues de la nature dans tous les champs qu'elle offre à notre connaissance, nous ne savons plus distinguer, suivant l'élégante expression du Père Car-

bonnelle, où se trouvent les «confins de la Science et de la Philosophie». Où s'arrête la première, où commence la seconde? Nul ne saurait le dire. C'est que, dans la réalité, la connaissance de l'Univers ne peut être donnée à l'homme qu'à l'aide de ses facultés: il faut le raisonnement joint à la sensation. Pas de pouvoir d'enregistrement, pas d'acquisition des faits sans les données sensibles; mais aussi, pas d'interprétation de nos statistiques sans une application de l'entendement qui abstrait, qui induit, qui compare, qui généralise, toutes opérations qui ne sauraient, quoi qu'on dise, relever de la sensation pure.

Cette alliance harmonieuse de facultés si différentes, est la source de notre faiblesse et de notre force tout à la fois. Qui ne voit en effet, qu'en vertu de la sensation, le réel se présente sous un double aspect: en même temps qu'il est subjectif, en tant que le non-moi provoque une modification du moi, il est objectif en tant qu'il dépend de la nature du non-moi, c'est-à-dire du monde extérieur.

L'homme simple prête aux choses des qualités toutes subjectives; le physicien, au contraire, sait très bien que ces qualités, objectivement, ne répondent pas au _donné_, bien qu'elles en soient la cause. Et c'est ici qu'intervient le raisonnement. Dès ce moment, notre physicien, qu'il le veuille ou non, se mue en philosophe; car la philosophie n'est à proprement parler que la recherche des causes; et voilà où est l'écueil. Pratiquement, les deux rôles sont plus ou moins confondus, car nous naissons tous avec la curiosité de savoir: lorsque j'étais enfant, je démontais mes poupées pour savoir comment elles disaient «Papa»; plus tard je mettais en pièces mes locomotives pour en surprendre le mécanisme; à l'âge d'homme, je conçus l'ambition, après avoir

étudié l'Astronomie, de démonter le Système solaire et d'aboutir à une nouvelle Cosmogonie, toujours aiguisé par la curiosité; à l'heure actuelle, j'aurais à cœur de comprendre les ressorts cachés de l'Univers, la composition de l'atome, celle de l'éther et les interactions de la substance matérielle dont la seule modalité irréductible paraît être l'énergie.

Vous apercevez maintenant l'ordre suivi: des causes visibles, nous remontons aux invisibles; mais alors, la sensation brute ne nous apprend plus rien; le physicien, je le sais, possède un puissant outillage; n'empêche qu'à un certain moment, son magasin se trouve à court; il lui faut donc d'autres procédés plus puissants ou plus faibles, suivant sa manière de les utiliser. Je veux parler de l'hypothèse, de l'induction, des formes les plus variées du raisonnement; mais toutes, au fond, se ramènent à la faculté de généralisation... et l'écueil pour lui sera d'être poussé inconsciemment, après avoir dépouillé les objets de leurs qualités réelles, à leur prêter des qualités abstraites, fruits imaginaires de la faculté qu'il possède de s'élever au général. En d'autres termes et d'une façon plus concise, le danger pour le savant consistera toujours à se laisser entraîner à la construction du monde extérieur, c'est-à-dire du réel objectif, en lui prêtant des qualités _abstraites_ tirées du _donné_.

C'est là, à mon avis, et non pas ailleurs, qu'il faut rechercher l'explication des obscurités, des contradictions et des antinomies rencontrées à chaque pas dans les problèmes concernant l'Espace et le Temps.

Voilà l'écueil que n'ont pas su éviter les Einsteiniens dans leur construction hâtive et toute artificielle du monde physique. «La théorie de la relativité a passé en revue tous les sujets de la Phy-

sique. Elle a unifié les grandes lois qui, par la précision dans la forme et la rigueur dans l'application, ont conquis dans la science humaine la place d'honneur que la Physique occupe aujourd'hui. Et pourtant, en ce qui concerne la nature des choses, cette science n'est qu'une forme vide--un échafaudage de symboles...» Et de qui sont ces paroles? D'un des plus grands savants qui connaissent le mieux la doctrine de la relativité, d'Eddington lui-même qui a vérifié la fameuse loi de la déviation du rayon lumineux au cours de l'éclipse de Soleil du 29 Mai 1919[45]. A certains, le jugement paraîtra bien sévère; les chapitres qui vont suivre seront cependant de nature à le justifier.

[45] A. S. EDDINGTON: _Space, Time and Gravitation_, p. 200 (Univ. Press, Cambridge, 1920).

CHAPITRE IV

ESPACE ET MATIÈRE

Avez-vous quelquefois réfléchi aux mystères de l'Espace? Oui, si vous avez des loisirs et si votre esprit est incliné vers les idées spéculatives. Non, si vous êtes pris par les affaires, par les relations mondaines, en un mot, si la vie matérielle vous absorbe... A peine ai-je fini d'écrire cette phrase que je la regrette presque...: elle tombe dans le vide; un lecteur parcourant ces pages, ne saurait rentrer dans cette dernière catégorie. Vous avez donc songé souvent à la question d'Espace et vous avez remarqué aussi que ce sont ceux qui usent le plus de l'Espace qui s'en préoccupent le moins.

Interrogez le mécanicien d'un rapide, un sportsman qui «court», un aviateur à la conquête du record; vous verrez que pour cette catégorie d'individus, la question d'une définition de l'Espace ne se pose même pas. Ils en ont cependant une notion implicite puisque pour eux, l'Espace est compté en Temps.

Autrefois, la distance Paris-Marseille était de deux ou trois semaines; c'était l'époque des diligences.

Aujourd'hui, l'étape est franchie par nos trains en un peu plus de douze heures; et si vous consentez à vous confier à un aérobus, cette durée sera notablement abrégée.

Imaginez maintenant un moyen de locomotion aussi rapide que la lumière ou que le courant électrique, nous ferons le tour de la Terre en une fraction de seconde; si donc, nous jugeons de l'Espace par le Temps, c'est-à-dire par le nombre de pensées diverses prenant place non-simultanément dans notre esprit, nous n'aurons pas le loisir d'en changer beaucoup dans le court intervalle qui nous suffira pour franchir 40 000 kilomètres et la Terre nous semblera bien petite.

Nous mesurons donc l'espace à notre aune, c'est-à-dire à nos sensations, et c'était depuis longtemps la conclusion des philosophes qui avaient ainsi trouvé par le simple raisonnement, cette relativité d'une notion tout à fait primordiale; curieux rapprochement avec les relativistes actuels.

Seulement, à y regarder de près, les uns et les autres doivent avoir des conclusions différentes. Le nombre de sensations diverses, avons-nous dit, perçues en un jour, par exemple, peut être pour notre esprit la mesure du temps; alors imaginez deux personnes dont l'une parcourt la Terre à petites journées; s'arrêtant

à chaque site pittoresque, étudiant la nature dans ses moindres recoins, goûtant à chaque pas le charme d'un paysage sans cesse renouvelé et toujours harmonieux; puis un aviateur tournant autour du Globe à la vitesse du courant électrique et planant dans les hautes régions de l'atmosphère; du sol qu'il a quitté, celui-ci ne verra à peu près rien de distinct; des mille bruits variés que nous entendons, il ne percevra que le ronflement de son moteur et le ronronnement de son hélice dévorant l'espace; il n'aura pour toute distraction que l'évolution lente de sa pensée.

Lequel, dans ces conditions, vous semble avoir vécu plus longtemps?

Les relativistes répondront sans hésiter: «C'est l'homme animé de la plus grande vitesse»; nous pourrions être du même avis, si le temps se mesure à l'interminable ennui qui nous étreint, dès que notre esprit reste livré à lui-même et que son action n'est plus provoquée et soutenue par la sensation.

Mais j'estime que vous n'auriez pas tort si, professant une opinion contraire, vous veniez m'affirmer que le voyageur terrestre aurait l'impression de vivre plus longtemps.

Tout compte fait, je ne saurais dire si nous sommes en progrès sur l'époque des diligences; mais, au fond, je ne suis pas éloigné de croire que nos aïeux, dont l'existence était moins agitée que la nôtre, vivaient plus longtemps ou tout au moins pouvaient se l'imaginer.

En tout état de cause, la conclusion reste la même: le Temps est tout relatif..., et aussi l'Espace.

Mais il y a là une ambiguïté à laquelle ne saurait se laisser prendre celui qui veut pénétrer le fond des choses: le mot _relatif_ ne fait que déguiser un aveu d'ignorance. Nous l'avons bien vu en étudiant le commencement de la théorie einsteinienne, puisque le résultat de nos recherches à été simplement ceci: En l'état actuel de la Science nous n'avons aucun moyen scientifique de mesurer l'espace et le temps.

Est-ce à dire que nous n'y parviendrons jamais? C'est une tout autre affaire. Commençons d'abord par examiner d'un peu plus près la notion d'espace.

* * * * *

L'espace correspond-il à quelque chose de réel ou est-ce une fiction? Entre le Soleil et la Terre, il y a, disons-nous, une étendue que nous mesurons en kilomètres, tout comme la distance Paris-Marseille. Et cependant, nous parlons couramment de vide interplanétaire: expression fausse au sens littéral et qui signifie simplement que l'air ne s'étend pas très loin au-dessus de nos têtes. Entre le Soleil et nous, il y a quelque chose: les anciens physiciens ont appelé _éther_ cette matière inconnue; les nouveaux paraissent l'ignorer, tant qu'ils s'en tiennent à leurs symboles, mais patience, ils y reviendront.

Nous n'allons pas en effet ressusciter aujourd'hui la vieille querelle du _vide_ et du _plein_, agitée au temps de Pascal: «Si le vide existait entre deux corps, faisait-on remarquer, ces deux corps se toucheraient puisque _rien_ ne les séparerait.»

Il faudrait auparavant définir le mot _contact_, c'est-à-dire la condition pour que deux corps se touchent: on n'y parvient qu'en introduisant le phénomène de l'action; deux corps agissant l'un

sur l'autre sans intermédiaire, voilà le contact; la définition exclut, on le voit, toute notion d'étendue préalable et on peut la tenir pour bonne.

Mais les corps, la Physique moléculaire nous l'apprend, sont formés de parties fort éloignées les unes des autres, donc rarement en contact, si elles le sont jamais! Et c'est l'éther ou quelque substance semblable qui les unit, qui transmet l'action.

Très bien! mais l'éther, qu'est-il à son tour? milieu continu et homogène ou bien formé de particules?

S'il est homogène et continu, comment concevoir qu'il se déplace? C'est le jeu du _Taquin_; il y faut prévoir une case _vide_ pour arriver à déplacer les dés numérotés, et nous retombons dans le discontinu, c'est-à-dire que tout est remis en question. Champ magnéto-électrique, champ de gravitation ou de forces, tout cela n'explique rien et ne nous fait pas pénétrer dans la nature intime de la matière et de l'étendue.

Continuons notre enquête, nous allons voir surgir de nouvelles difficultés. Tirez une ligne droite dont les extrémités seront marquées par les lettres A et B. Entre A et B il y a une certaine distance. Prenez en la moitié; puis la moitié de cette moitié et continuez indéfiniment. Quand vous arrêterez-vous?

Pratiquement, je sais que vous n'irez pas loin; nos moyens instrumentaux décèleront le dix-millionième de millimètre; vous entrerez dans le domaine de l'atome; ne chicanons pas pour une vétille; poussez jusqu'à l'électron, jusqu'au composé de l'électron, si vous le désirez; allez au trillionième de millimètre; lorsque vous aurez épuisé votre faculté de division réelle, il vous restera

une ressource, toujours: votre esprit continuera l'opération et vous en arriverez à imaginer une infinité de points entre A et B.

Voyons les conséquences d'un tel raisonnement: si j'admets avec vous qu'il y à cette infinité de points, combien compterez-vous de points dans une autre ligne égale? Une infinité encore, évidemment; et cependant nous savons qu'en additionnant ces deux lignes, l'étendue serait doublée; la première ne contenait donc pas un nombre infini de points, et si c'est la somme des points contenus dans les deux qui est infinie, elle ne l'est plus par rapport au nombre de points que contiendrait une somme de 3, 4, 10, 20 000 lignes et même d'une infinité de lignes.

* * * * *

Autre problème bien connu des Éléates dont Zénon, disciple de Parménide, fut le plus illustre représentant. Après avoir montré qu'entre les deux extrémités A et B de la droite, il y a une infinité de points, Zénon supposait un mobile partant de A pour se rendre en B; deux hypothèses seulement sont possibles.

Ou bien notre mobile mettra un certain temps, supposons une seconde, pour passer d'un point A au point suivant et dès lors, il n'arrivera en B qu'après une infinité de secondes, c'est-à-dire jamais; résultat absurde et contraire à l'expérience.

Ou bien il ne mettra aucun temps (zéro temps) pour passer d'un point à celui qui suit. Mais 3 fois zéro, 100 fois zéro font toujours zéro, comme d'ailleurs une infinité de zéros; donc il mettra _zéro temps_ pour parcourir tous les points qui forment l'intervalle séparant A de B.

Qu'est-ce à dire? S'il met zéro temps, lorsqu'il est en A, il est déjà en B et le mouvement ne saurait exister, ce qui est encore contraire à l'expérience; ou alors l'intervalle qui sépare A de B n'existe pas, ce qui est non moins absurde.

De toute façon, on arrive à nier le Temps et l'Espace et ainsi la possibilité du changement; et c'est ce que voulait Zénon dont les arguments, qui ne manquent pas d'ingéniosité, ont déjoué la sagacité d'Aristote[46] et de bien d'autres philosophes, Descartes en tête. Or, Zénon vivait au Ve siècle av. J.-Ch. et les considérations qu'il employait se rapprochent beaucoup de celles des relativistes, lorsque ceux-ci prétendent nous démontrer que la limite de la vitesse d'un corps matériel ne saurait dépasser celle de la lumière.

[46] _Physique_, VI, 9.

Quoiqu'il en soit, nous voyons qu'en disséquant ainsi l'espace géométrique conçu par l'entendement, nous arrivons à des contradictions et à des absurdités.

Ne serions-nous pas victimes de notre imagination et de nos sens? Nous fabriquons l'espace avec la vue et le toucher et à l'aide des sensations qu'ils nous fournissent. Pourquoi l'espace en dehors de nous, serait-il bâti comme nous l'imaginons? Nous ne confondons pas la _couleur rouge_, avec ce qu'elle est objectivement, c'est-à-dire une somme de 450 trillions de vibrations par seconde. Nous admettons de même qu'un assemblage de 870 vibrations par seconde nous donne la sensation du _la_ en musique; pourquoi un ensemble d'actions réciproques de particules, ou si vous préférez, de forces distinctes, de grains d'énergie, par

exemple, ne parviendraient-ils pas à nous donner la sensation d'étendue, d'où nous déduisons la notion abstraite d'espace?

Non seulement, il n'y a là rien de choquant pour notre raison, mais nous allons voir que là est la solution du problème, celle qui fait disparaître les dernières contradictions.

Il suit de ce que nous venons de dire, que nous ne sommes plus obligés, comme le croyaient les philosophes de l'école de Descartes... et quelques autres, de doter d'étendue les dernières particules du corps.

--Alors répliquerez-vous, vous allez fabriquer de l'étendue avec de l'inétendue?

--Parfaitement, de même que je fabrique de la couleur avec des vibrations, et des sons musicaux avec les oscillations rapides d'un diapason. Un électron n'est ni blanc, ni noir; vous ne pouvez lui prêter aucune couleur et vous ne l'apercevrez jamais, puisque son diamètre est plus faible que la plus petite longueur d'onde lumineuse qui vous fait _voir_. Si déjà, à partir de cette faible dimension, la couleur n'existe plus et ne répond plus à quelque chose, pourquoi voulez-vous que la particule dernière de la matière, qui n'est autre que _l'élément d'énergie unité_, pourquoi dis-je, voulez-vous que cet élément soit étendu? Boscovich et ses adeptes avaient admis que les dernières particules des corps étaient inétendues parce qu'elles étaient des _points_ et, avec ces points, ils bâtissaient l'espace; ils ne pouvaient aboutir qu'à des séries de contradictions et rien n'était plus loin de la réalité; dans ces conditions, on n'échappe plus, en effet, aux arguments de Zénon qui exigeait une infinité de points dans une ligne quelconque.

Toutes les obscurités rencontrées en un tel sujet, proviennent de ce que, généralement, on ne s'entend pas sur les définitions d'_étendue_, d'_espace_ et d'_infini_. Il nous faut donc, malgré l'aridité du sujet, entrer ici dans les détails.

Certains philosophes ont défini l'étendue, le fait d'avoir ses parties _hors_ de ses parties; mais une définition, de l'avis de tous, ne doit pas user du terme à définir; ici, le mot _hors_ implique l'étendue; nous ne définissons donc absolument rien. Kant écrivait que «l'espace n'est qu'une condition subjective _a priori_, sans laquelle les impressions ne pouvaient être saisies; l'espace est la forme des phénomènes, c'est-à-dire des apparences; en réalité, il n'est rien»[47]. Ici, le philosophe allemand confond espace et étendue et finalement il ne définit rien encore; nous n'avançons pas la question de l'étendue objective, en professant qu'elle est une forme _a priori_ de la sensibilité.

[47] KANT: _Esthétique transcend._ Sect. I.

Que l'espace ne soit rien en dehors des corps matériels, ceci est évident, mais il n'en va plus de même de l'étendue. A quoi donc répond cette qualité que je prête aux corps affectant mes sens? Évidemment à quelque chose qui agit sur moi. Par le sens de la vue et du toucher, j'acquiers la notion d'êtres multiples situés en dehors de moi. Ces causes, sans préjuger de leur essence, exercent sur mon corps, quantitatif comme eux, une série d'actions que j'apprécie et que je connais sous forme de sensations: le nombre des parties de mon corps qui subissent cette action ou ces actions multiples, m'avertit de la grandeur quantitative de ces actions.

Traduisons maintenant en un langage plus dépouillé, si possible, de toute représentation. Mon corps est en relation quantitative, avec des forces qui forment le non-moi, donc le monde extérieur, et ces forces s'opposent à celles qui forment mon corps, c'est-à-dire ce quelque chose que je connais directement, sans intermédiaire. Tout le mystère de l'étendue est là.

En dernière analyse, il ne reste que ceci: le monde matériel extérieur est formé de forces multiples en action sur mon corps; causes extérieures et multiplicité, voilà qui nous permet déjà d'entrer dans la nature intime de l'étendue. Pénétrons un peu plus avant et cherchons ce qu'elle peut être, objectivement. Pour ce faire, je n'ai qu'à généraliser les conditions énoncées: soient trois particules matérielles, trois forces distinctes; nous avons déjà une condition de l'étendue: la multiplicité; ces forces peuvent donc et doivent être inétendues de leur nature. Si ces forces A, B, C peuvent avoir des rapports entre elles, je réaliserai ce qu'il faut essentiellement pour faire de l'étendue (fig. 7).

Si A agit sur B sans agir sur C, alors que ces deux dernières agissent l'une sur l'autre, je dirai que A est en contact avec B; de même C touche B; mais si A et C n'agissent l'une sur l'autre que par un intermédiaire B, je dirai que B les sépare.

[Illustration: Fig. 7.]

[Illustration: Fig. 8.--Schémas destinés à faire comprendre en quoi consiste l'étendue phénoménale.]

Supposons maintenant que A, B et C puissent réagir toutes à la fois les unes sur les autres, j'aurai la conception d'une nouvelle disposition spatiale correspondant à la figure 8 très différente de la figure 7.

Ainsi, de même que j'avais la notion de _contact_ et de _lieu_ en constatant, par un phénomène de conscience dû à la sensation, qu'une force extérieure agissait sur mon corps et était présente, de même j'inférerai logiquement qu'en dehors de moi, il existe des forces échangeant des rapports dont l'essence est du même ordre.

Ainsi, multiplicité de forces coexistantes, complexité et échanges de rapports, voilà toute l'étendue; en tant que sensation, l'étendue est un fait brut que nous retrouvons chez l'animal.

C'est donc sur des données sensibles que notre esprit va appliquer sa faculté d'abstraction, de généralisation, pour s'élever à la notion d'espace, et c'est là qu'est l'écueil; car il n'est pas sûr que l'espace conçu par nous, réponde exactement au réel, c'est-à-dire à l'étendue.

Je puis aller plus loin et je dois dire que je suis certain que nous attribuons à l'espace, fruit d'une abstraction, des qualités qui ne sont pas dans le réel et que ne possède pas l'étendue; en d'autres termes, là, comme en plusieurs circonstances, faute d'avoir analysé les conditions de la sensation d'étendue, notre conception abstraite dépasse de beaucoup le _donné_.

Le chapitre suivant va nous faire toucher du doigt cette conclusion.

CHAPITRE V - L'UNIVERS EST-IL INFINI?

On a beaucoup discuté depuis les Éléates, sur le nombre infini et malgré quelques divergences de vues très secondaires, il semble

bien que l'accord entre les spécialistes de cette branche des Mathématiques, est à l'heure actuelle assez satisfaisant. Cependant, nombreux encore sont les hommes de science qui emploient à tort à travers, ce vocable: _nombre infini_; pour quantité d'autres, la question est purement métaphysique et ne vaut pas la peine qu'on s'y arrête; la plupart, il faut le dire ouvertement, ne semblent guère mieux fixés à ce sujet que Zénon et ses contemporains.

Au Moyen-Age, certaine école rejeta le nombre infini comme absurde; c'était aller un peu loin. Le mot infini, appliqué au nombre, n'est pas un non-sens et ne répugne pas à notre entendement, mais ce terme doit être soigneusement défini si l'on veut éviter contradictions et obscurités. Saint Thomas, qui fut le plus grand savant de son époque, l'avait fort bien compris; l'emploi qu'il fait du mot infini appliqué au nombre est fort judicieux, mais ses idées n'ont pas toujours été bien interprétées. Kant se garde d'une définition; il en profite pour laisser sa pensée nébuleuse osciller entre deux thèses contraires: ses antinomies ne sont qu'un simple «jeu renouvelé des Grecs».

Dans cette importante question, le clair esprit de Pascal hésite: «Nous savons, dit-il, qu'il est faux que les nombres soient finis; donc il est vrai qu'il y a un infini en nombre; mais nous ne savons ce qu'il est. Il est faux qu'il soit pair; il est faux qu'il soit impair; car en ajoutant l'unité, il ne change pas de nature; cependant c'est un nombre et tout nombre est pair ou impair; il est vrai que cela s'entend de tout nombre fini.»

Le sujet fut encore obscurci par l'invention du calcul infinitésimal. Cette proposition a tout l'air d'un paradoxe, mais je vais la justifier. La plupart des mathématiciens et des physiciens qui

usent avec fruit de ce procédé de calcul merveilleux, s'imaginent que, cette fois, ils touchent du doigt l'infini: ne manipulent-ils pas les infiniment petits de tout ordre, puis des infiniment grands, puis des formules où apparaît à chaque pas le symbole de l'infini?

Leur erreur, au surplus, est fort excusable: professeurs, cours et Traités de Mathématiques, glissent sur les notions d'infini et d'infiniment petit avec l'adresse d'un prestidigitateur; finalement, le mot, entré dans le langage, tient lieu de définition; le sens précis n'est bientôt plus en cause; il devrait l'être cependant pour résoudre nombre de difficultés et pour éviter des conclusions souvent erronées. Cauchy avait, dès son époque, attiré l'attention sur les sens très différents du mot infini en mathématiques; mais de tout cela, les étudiants n'ont cure, c'est de la pâtée pour philosophes.

En Algèbre, le symbole ∞, qui représente _l'infini_ ne veut même pas dire _nombre infini_, comme on le laisse croire communément. Quand il pose m/0 = ∞, le mathématicien veut simplement faire remarquer qu'une quantité quelconque, m, divisée par une autre de plus en plus petite, donc se rapprochant de zéro, donne pour quotient un nombre de plus en plus grand, qui _tend_ vers l'infini.

La Géométrie va nous fournir un exemple de ce mécanisme. Soit une hyperbole équilatère rapportée à ses asymptotes comme axes rectangulaires (fig. 9). Imaginez que l'ordonnée d'un point de la courbe représente le diviseur de l'expression précédente; à mesure que nous nous éloignons du sommet, l'ordonnée devient de plus en plus petite et l'abscisse augmente; la valeur de l'abs-

cisse, c'est notre quotient de tout à l'heure qui tend comme lui vers l'infini.

[Illustration: Fig. 9]

Si la courbe était continuée à l'infini, asymptote et hyperbole se rencontreraient et c'est à ce moment seul que l'ordonnée serait réduite à zéro, tandis que l'abscisse vaudrait l'infini; c'est d'ailleurs ce qu'expriment les géomètres en disant que la courbe rencontre son asymptote à l'infini, c'est-à-dire jamais.

Ainsi, le mot _infini_, en Géométrie, est le plus souvent synonyme de _jamais_ et c'est encore le sens de ce terme dans la phrase bien connue: «Les parallèles se rencontrent à l'infini.»

Mais dès qu'ils font de l'Analyse, un grand nombre de mathématiciens perdent très vite de vue une signification aussi nette. La faute en est aux créateurs de la méthode qui ont détourné de son acception le mot _infini_ appliqué à des quantités de plus en plus petites. Les _infiniment petits_ des divers ordres sont essentiellement différents de zéro, dont ils peuvent se rapprocher toutefois autant qu'il est nécessaire; le terme propre à employer eût donc été _indéfiniment petit_; en fait, l'infiniment petit est toujours un nombre fini variable, mais dont la loi de variation satisfait à une certaine condition.

L'oubli de ces définitions nettes a plus d'une fois conduit certains auteurs, qui n'avaient sans doute pas suffisamment réfléchi aux fondements du calcul infinitésimal, à formuler des propositions extraordinaires, comme celle-ci que je trouve dans un manuel classique: «Un cercle est un polygone d'un nombre infini de côtés»; à ce compte, un cône est une pyramide!

Si l'on veut conserver la rigueur du langage mathématique il faut dire: «Le cercle est la surface limite vers laquelle _tend_ un polygone régulier dont on double indéfiniment le nombre des côtés.»

Ainsi, quelle que soit la longueur de nos opérations, nous n'arriverons jamais à transformer une ligne polygonale régulière en une circonférence, ou même une ligne brisée en une courbe.

Et cependant c'est le Calcul différentiel et intégral qui nous permet, grâce à la considération des _indéfiniments petits_, d'évaluer en toute rigueur une surface limitée par une courbe, _d'intégrer_, comme disent les mathématiciens. On a donc, par l'Analyse, introduit la notion de continuité dans la science de l'espace, avant de savoir si elle s'y appliquait. Il en a été de même en Physique et tout cela n'est guère de nature à simplifier les fameux problèmes relatifs à l'infini et à la divisibilité infinie.

Nous verrons qu'en réalité, c'est notre esprit qui a inventé le _continu physique_, en opérant sur des données sensibles insuffisamment analysées. Faut-il le regretter? Je ne le pense pas; sans le continu, création pure de la pensée, l'Analyse infinitésimale n'existerait probablement pas. J'ai dit «probablement» et plus loin j'expliquerai pourquoi; mais si nous voulons jeter quelque lueur sur la notion confuse d'infini appliqué au nombre, les considérations qui précèdent nous montrent à l'évidence qu'il faut quitter la Géométrie pour s'en tenir à l'Arithmétique, la vraie science des nombres.

Je n'ignore pas que, même dans ce domaine du discontinu, on a pu réaliser des progrès sur la théorie des nombres en y introduisant, comme l'a fait Hermite autrefois, des variables conti-

nues; l'Arithmétique aurait donc pu à la rigueur nous conduire, par une marche inverse de celle qu'on a suivie, à l'étude de la continuité.

Quoi qu'il en soit, logiquement, c'est au nombre entier que nous devons remonter pour asseoir notre science et c'est encore à lui qu'il faut revenir pour élucider le mystère de l'infini, je dirai mieux, pour poser la question du nombre infini sous son vrai jour.

Un exemple simple, tout d'abord et que tous mes lecteurs comprendront: Pensez un nombre? Soit 32 ce nombre. Maintenant, répondez à cette question: Combien auriez-vous pu penser de nombres différents de 32?

Le problème ne comporte qu'une seule réponse: autant de nombres que vous auriez voulu, c'est-à-dire une infinité. Vous avez donc bien l'idée du nombre infini et ce nombre, vous ne le confondez avec aucun autre. Mais, au fond, si vous y réfléchissez, vous voyez que tout revient à dire que vous constatez la _possibilité_ de penser toujours un nombre différent.

Vous le voyez, dès que nous analysons la notion du nombre infini, celle-ci s'estompe et paraît moins claire.

Varions notre problème: Combien pouvez-vous penser de nombres pairs?--Une infinité, évidemment. Et de nombres impairs? Encore une infinité.

--Voulez-vous maintenant, je vous prie, additionner les deux ensembles. Vous aurez deux fois le premier nombre, donc celui-ci n'était pas infini. Voilà où commencent les contradictions.

De même, vous partez d'un point de l'espace et vous menez une droite vers le Nord; combien y pourrez-vous compter de mètres? une infinité; mais vous ajouterez un nombre infini au premier si vous comptez les mètres d'une autre droite partant de l'extrémité de la première et se dirigeant vers le Sud.

Cette fois, penserez-vous, vous aurez le vrai nombre infini; illusion! car vous pourrez répéter autant de fois qu'il vous plaira votre première opération sur d'autres lignes menées dans d'autres directions et même dans une infinité de directions. Si vous ne vous bornez pas à un plan, par le point de concours de toutes ces droites vous pourrez à loisir imaginer une infinité de plans et dans chaque plan, une infinité de lignes et dans chaque ligne, une infinité de mètres. Etes-vous au bout, avez-vous atteint l'infini? En aucune façon, car vous pourrez diviser vos mètres en décimètres, et il y en aura encore une infinité, puis en centimètres, sans que vous entrevoyiez une raison de cesser la subdivision.

L'exemple, croirez-vous, est de nature géométrique. Incontestablement; mais je puis le ramener à une question d'arithmétique. Imaginer une ligne qu'on peut toujours augmenter d'une unité, c'est retomber dans le cas du nombre pensé qui peut être aussi grand qu'il vous plaira et auquel il vous est loisible d'ajouter un nouveau nombre; quant à la subdivision envisagée, cela revient à intercaler entre 0 et 1, une série de nombres satisfaisant à la condition d'être à la fois plus grands que zéro et plus petits que l'unité. Or, ici aucun doute encore, nous en concevons une infinité.

Les mathématiciens qui se sont occupés de la question, Cantor, Russell, Poincaré, Zermelo et tant d'autres, nous feraient

bien observer que parmi ces nombres, il en est d'incommensurables et d'irrationnels, qu'on y pourrait remarquer des sortes de lacunes, des _coupures_, mais pour notre but il serait superflu de s'arrêter à ces particularités, et nous admettrons en bloc qu'il y a une infinité de nombres entre zéro et un. Observons seulement que le mécanisme valable pour les quantités insérées entre 0 et 1, l'est encore pour les autres intervalles de 1 à 2, de 2 à 3 etc... Voilà donc de nouveaux infinis s'ajoutant aux premiers.

On pourrait multiplier ces exemples, montrer que certaines équations telles que _sin_ π x = 0 admettent un nombre infini de solutions, propriété qu'elles partagent avec certaines équations transcendantes; citer quelques cas de fonctions continues bien connues des géomètres et dont la dérivée devient infinie ou indéterminée pour une infinité de valeurs de la variable, toutes comprises entre deux limites arbitrairement choisies, puis de là passer aux séries discontinues, etc... le résultat serait toujours le même; toujours nous en pourrions conclure que le nombre infini ne répugne pas à la raison, n'est pas absurde en lui-même bien qu'il soit accompagné d'obscurités et de contradictions.

Analysons donc la notion de nombre infini; peut-être la lumière en jaillira-t-elle.

* * * * *

On a dit autrefois que le fini supposait la notion innée d'infini. Je ne le pense pas: _Infini_ veut simplement dire _non-fini_. Or, le fini est ce qui a une limite et, pour concevoir cette dernière, il suffit de comparer deux nombres différents, 5 et 10 par exemple; l'un finit après 5 unités, l'autre n'existe plus au delà de 10. Le mot _limite_ inclut donc le concept d'une certaine néga-

tion appliquée au nombre qui, lui, suppose toujours une certaine quantité d'unités.

Mais, étant donnée notre faculté d'abstraction, nous pouvons restreindre ou développer notre négation, reculer la limite, penser indéfiniment des nombres de plus en plus grands; l'imagination ne saurait s'arrêter en si bon chemin et tout à coup il lui prend fantaisie de nier la limite, de la nier totalement, cette fois. Et c'est ainsi que nous en arrivons à associer l'idée de nombre à la négation totale de limite; nous avons donc bien réellement le concept de nombre non-limité, non-fini c'est-à-dire _infini_.

L'expression _indéfini_ serait plus heureuse, car en réalité et à y regarder de plus près, l'application de l'adjectif infini à un nombre est une façon abusive d'employer les termes du langage.

Qui dit _nombre_, en effet, suppose toujours une énumération d'unités concrètes et distinctes, d'unités _discrètes_, comme disent les mathématiciens; sans doute, tous les nombres jouissent de propriétés générales et communes, de même que tous les triangles ont trois côtés et trois angles; mais dès que nous examinons un triangle donné, les côtés et les angles doivent avoir des valeurs déterminées, concrètes et non générales.

Dès lors, comment pourrons-nous, d'une part, considérer un nombre d'unités réelles et, d'autre part, accoler à ce nombre le concept de la négation de limites; nous introduisons de cette manière une cause de contradiction.

Que si nous voulons à tout prix, garder notre idée de nombre non-fini, spécifions bien qu'il s'agit seulement de deux concepts généraux associés, qui font du nombre infini une sorte d'être de raison et remarquons une fois pour toutes que ce nombre infini

conçu dans sa généralité est essentiellement _indéterminé_. Ainsi, pour que le nombre infini ne soit pas absurde, il faut que ce terme _infini_ appliqué à l'idée générale de nombre, ne tienne jamais compte des unités en tant que distinctes les unes des autres.

Mais alors, nous n'avons plus le droit d'appliquer au nombre infini les règles ordinaires qui régissent les nombres, en tant que collection d'objets individualisés et numérotés; d'additionner, de soustraire, de multiplier et de diviser des nombres infinis; d'ajouter ou de retrancher à un nombre infini. Toutes les contradictions déjà signalées s'expliquent par l'oubli de cette remarque; c'est peut-être ce qu'entrevoyait déjà Pascal lorsqu'il disait qu'il «est faux qu'un nombre infini soit pair ou impair, car cela s'entend (seulement) de tout nombre concret et fini».

Ainsi, le nombre infini ne suppose au fond, qu'une possibilité. «Quand je parle de tous les nombres entiers, écrivait naguère H. Poincaré, dans la _Logique de l'Infini_[48], je veux dire tous les nombres entiers qu'on a inventés et tous ceux qu'on pourra inventer un jour; quand je parle de tous les points de l'espace, je veux dire tous les points dont les coordonnées sont exprimables par des nombres rationnels, ou par des nombres algébriques, ou par des intégrales, ou de toute autre manière que l'on pourra inventer. Et c'est ce que _l'on pourra_ qui est l'infini.»

[48] H. POINCARÉ: _Dernières Pensées_, p. 131 (Flammarion, Paris 1913).

Concluons donc que si la notion du nombre infini est formée de deux idées indéterminées--nombre et négation de limite--

idées prises dans le sens le plus général, le _nombre infini_, qui en résulte, est essentiellement _indéterminé_, lui aussi.

Et c'est bien ce qu'ont voulu marquer certains auteurs qui remplacent _nombre infini_ par une infinité, expression où s'affirme davantage le général et l'indéterminé.

Si les deux idées de nombre et de négation de limite prises dans leur sens le plus général ne s'excluent pas, tant qu'on reste dans l'ordre purement idéal, allons-nous en conclure qu'il en est de même dans l'ordre réel? Un abîme sépare ces deux domaines.

J'ai l'idée pure d'un triangle; eh bien, une telle idée est irréalisable, «parce que tout triangle _réel_ devra contenir quelque chose que l'idée pure ne contient point: le triangle réel sera rectangle, obtus etc... propriété dont l'idée pure fait abstraction»[49].

[49] Cf. BALMÈS: _Philosophie fondam._ t. III, p. 89 (Trad. Manec).

* * * * *

Passons à quelques exemples pour concrétiser notre pensée.

Soit une droite prolongée indéfiniment: elle contient une infinité de mètres; partageons nos mètres en décimètres: elle en contient encore une infinité. Nous avons donc deux nombres infinis dont l'un est 10 fois plus grand que l'autre. Y a-t-il contradiction? Non, parce que l'idée de négation de limite est subordonnée, dans le premier cas, à une condition, la division en mètres; et dans le second, à une condition différente, la division en décimètres. Aucun rapport de comparaison n'est possible; des deux

côtés, nous aboutissons au concept général de nombre infini essentiellement indéterminé. Voilà pour l'ordre idéal.

Arrivons à l'ordre réel: Le nombre des corps célestes, mettons les étoiles, est-il fini ou infini? Notez qu'il ne s'agit pas ici de savoir si le Créateur, par exemple, pourrait augmenter le nombre actuellement existant des étoiles: ainsi posée, la question est résolue dans le même sens par tout le monde; il ne s'agit pas de possibilité, mais de réalité. Il y a actuellement, des étoiles existantes; je dis que leur nombre ne saurait être infini.

Ce nombre est en effet déterminé, puisque chacune des étoiles est une individualité qui peut recevoir un numéro d'ordre; la somme de tous ces corps est donc, elle aussi, concrète, donc déterminée. Essayez l'hypothèse contraire: admettez que ce nombre soit indéterminé; vous avouez par le fait même, que parmi les unités formant ce nombre, il en est qui sont, elles aussi, indéterminées, qui sont susceptibles d'avoir un numéro tout en n'en portant aucun; vous tombez dans l'absurde.

Un nombre actualisé, concrétisé, désignant des objets réels, ne peut-être que déterminé; c'est le contraire du nombre infini qui est indéterminé parce que fruit d'une pure abstraction.

Je sais bien que vous rencontrerez dans les écrits de quelques philosophes, depuis Lucrèce et Épicure jusqu'à Kant, Hégel et combien d'autres; chez les poètes, où ceci est plus excusable, des phrases de ce genre: «Les soleils de l'espace s'étendent à l'infini; derrière la Voie lactée, par delà les mondes que nous voyons, gravitent d'autres mondes; le nombre des étoiles est infini...» Phrases creuses et vides, enseignement grotesque et ridicule qui foule aux pieds toute logique.

On insiste en disant que nous refusons ainsi au Créateur sa condition d'infinité et que nous limitons sa toute-Puissance. Mais un Etre Infini ne saurait réaliser des idées contradictoires; il ne peut créer l'absurde, et il est absurde de vouloir qu'un nombre d'objets concrets soit infini, puisqu'en le supposant tel, j'admettrais que le nombre de ces objets serait à la fois déterminé et indéterminé; autant dire que l'être et le non-être sont identiques!

* * * * *

Notre raisonnement n'est pas seulement valable pour les étoiles, il se doit appliquer à tous les objets.

L'Univers, avons-nous dit, est formé de particules; celles-ci sont donc en nombre fini et c'est fort heureux, sans quoi nous ne voyons plus comment les physiciens pourraient s'en tirer.

Poussons plus loin nos déductions et demandons-nous tout d'abord si l'espace est infini; encore un point litigieux, mais rendu tel, faute de notions et de définitions précises.

Posons bien la question: Personne aujourd'hui n'admet que l'espace soit quelque chose en soi; l'espace n'est pas indépendant des objets matériels et nous avons vu comment il est possible de dépouiller l'espace de toute trace de représentation sensible: Ce sont les actions réciproques de forces, inétendues par leur nature, qui constituent l'espace.

Dès lors, notre question: l'espace est-il infini, peut s'entendre de deux manières; puisque l'espace est formé par les forces dont la somme réalise l'Univers matériel, nous pouvons nous demander si à ces forces pourraient s'en ajouter d'autres, donc si l'espace pourrait s'étendre. Évidemment oui; au delà de notre es-

pace, il y a _possibilité_ pour d'autres forces, donc pour un nouvel espace, ou si vous voulez, pour un agrandissement d'espace. Une telle possibilité n'implique aucune contradiction; tout le monde doit être d'accord sur ce point.

Mais le problème peut et doit se poser autrement: lorsque nous nous demandons si l'espace est infini, nous voulons dire (puisque c'est la matière qui fait l'espace): la matière s'étend-elle à l'infini?

La réponse, ici encore, ne fait aucun doute; car notre question se ramène à cette autre: Le nombre de forces matérielles, par quoi se crée l'espace, est-il infini? Assurément non, puisque nous pouvons appliquer à ces forces, toutes distinctes, le raisonnement qui nous a servi pour les étoiles.

L'univers est donc fini; je sais bien que la proposition ainsi présentée répugne à notre imagination; mais ici, comme en beaucoup d'autres circonstances, nous sommes victimes de nos sens qu'il faut savoir refréner. Par delà les dernières étoiles et les dernières particules matérielles, nous concevons des espaces sans fin; pure illusion, provenant du fait que nous imaginons des espaces possibles, donc d'autres forces indéfiniment; et nous ne faisons pas attention que dès lors nous délaissons le réel pour entrer dans le domaine des possibilités. Entre l'imagination et la logique, pas d'hésitation, il faut choisir la dernière.

Nous verrons plus tard que les relativistes arrivent à la conclusion d'un Univers fini, au nom d'une forme spéciale de notre espace, qui ne répondrait pas à la Géométrie d'Euclide; nous discuterons leur théorie au moment opportun, mais d'ores et déjà, il faut s'élever avec force contre une telle manière de voir.

Les raisons pour lesquelles l'Univers est fini, ne dépendent aucunement d'une certaine Géométrie; baser la limite du monde matériel sur une conception géométrique de l'espace, c'est méconnaître les principes les plus certains d'une saine philosophie; je ne crains aucun démenti en affirmant qu'en la circonstance, Einstein, Weyl et leurs adeptes se sont montrés de bien piètres philosophes; quant aux vulgarisateurs de l'idée, la plupart n'y ont rien compris et c'est merveille de voir leur pensée aux prises avec de multiples Univers qu'ils comparent à de gigantesques bulles d'éther se promenant dans le vide, c'est-à-dire dans un espace en soi, dans un espace qui devient un pur néant.

Non point que nous ne puissions nous demander s'il n'existerait pas d'autres répliques de notre Univers, mais la question a été mal posée.

La seule réponse que nous devons faire est celle-ci: Une foule d'Univers autres que le nôtre sont possibles; mais s'ils existent, ils ne sont pas comme on pourrait le croire d'une façon simpliste, répandus dans une sorte de vide inconcevable. Chacun d'eux forme son espace propre et s'il n'y a pas de communication entre les forces de l'un et les forces de l'autre, ces Univers doivent nécessairement s'ignorer. La difficulté de concevoir un tel état de choses provient du fait que nous essayons toujours de l'imaginer: laissons donc de côté tout essai de représentation sensible et disons seulement ceci: Il peut exister des groupes de forces liées entre elles et chaque groupe peut être distinct, former un ensemble à part; chaque groupe constituera un Univers; mais en aucun cas, si cela est, nous ne pourrons nous en rendre compte, puisque pour le savoir, il faudrait sortir du nôtre, c'est-à-dire imaginer des rapports entre des groupes de forces qui, par hypo-

thèse, ne peuvent pas en posséder. La question est oiseuse et toute spéculative; inutile donc d'y insister et revenons à des sujets qui nous touchent de plus près.

* * * * *

Dès lors qu'il y a dans notre Univers, un nombre fini de forces et que les actions réciproques de ces forces constituent l'espace et nous donnent la sensation d'étendue, il s'ensuit que toute étendue concrète correspond à un nombre fini de forces; lorsque je considère une longueur représentée par l'arête d'un cube, je sais que cette arête n'est pas une droite, mais je la conçois telle parce que ma vision imparfaite ne me permet pas d'en saisir les sinuosités; la Physique moléculaire m'a appris que les atomes sont très écartés les uns des autres; les électrons eux-mêmes, qui les constituent en partie, tournent très loin de leur noyau central: il y a discontinuité. Cependant, entre les deux atomes qui fixent les extrémités de l'arête du cube, s'étend une matière composée, elle aussi, de forces distinctes, particules dernières ayant leur entité propre. Rien ne m'empêche de choisir celles qui sont alignées sur une même droite, quelle que soit la définition de la droite. Cette droite presque idéale, que j'imagine et que je conçois, existe donc bien spatialement et elle est jalonnée par des forces en nombre fini. Comme nous avons admis que ces dernières sont inétendues de leur nature, mais que par leur multiplicité elles forment l'étendue sensible, j'en conclus que toute étendue est discrète, c'est-à-dire multiple, mais par définition je la dis continue.

Ainsi, en dehors de moi, il n'y a que multiplicité, mais comme je ne puis compter les entités distinctes formant cette multiplicité, j'en arrive à imaginer le continu qui n'est qu'une illusion.

Une telle conclusion n'a rien d'extraordinaire, si l'on veut bien se rappeler que notre œil et notre oreille nous procurent des sensations de continu, alors que la cause objective n'est que vibration, donc un discontinu, le mot étant pris ici dans le sens de multiplicité.

* * * * *

Ces prémisses vont nous conduire à d'intéressantes constatations. Elles nous permettent tout d'abord de résoudre les difficultés soulevées par les Éléates. Une ligne n'est pas formée de points. Le point n'est qu'une création idéale de notre esprit, comme la ligne, d'ailleurs, qui n'est en réalité qu'une succession de forces élémentaires échangeant des rapports suivant le schéma de la figure 7. Entre les extrémités d'une telle ligne, il y a donc un nombre défini de forces et le problème de la division indéfinie d'une droite ne se pose plus. La Géométrie analytique est donc aussi une création de notre esprit, qui ne répond pas à la réalité: pure abstraction analogue à nos concepts généraux. D'où vient donc que l'étude des fonctions continues, domaine de l'Analyse, paraît si bien encadrer cette réalité? Simplement parce que la multiplicité des forces élémentaires, des particules ultimes de la matière est telle qu'elle équivaut pratiquement pour nos sens grossiers à une véritable continuité.

Autre déduction capitale: Si, d'une part, la matière est une--et c'est la conclusion vers laquelle nous acheminent nos expériences--les forces élémentaires, les dernières particules matérielles sont identiques; mais si, d'autre part, l'étendue est fonction des rapports entre ces forces, il existe une unité d'étendue, donc une unité d'espace, donc un espace absolu.

Remarquons toutefois qu'ici le mot absolu ne veut pas signifier qu'il existe un espace en soi, mais qu'il doit y avoir _une unité absolue d'espace_. Lorsque les relativistes nous affirment que l'espace est relatif, il faut avec soin distinguer leur point de vue: celui-ci est vrai, si l'on entend dire que dans l'état actuel de nos connaissances, nous n'avons aucun moyen de mesurer l'espace d'une façon absolue; nos mesures d'espace sont relatives; mais leur prétention est injustifiable, s'ils veulent nous imposer cette relativité comme une chose nécessaire en soi. Nous venons de voir que tout nous porte à croire le contraire: l'unité absolue d'espace existe; elle est une conséquence obligée de toute notre Physique et le fait que nous ne la connaissons pas encore, que nous ne pouvons la mesurer à l'heure actuelle, n'infirme nullement son existence. Ce sera la tâche de nos successeurs de la fixer, et ils y parviendront.

* * * * *

Autre question pour terminer ce chapitre.

On a beaucoup discuté en ces dernières années pour chercher s'il existait des axes privilégiés auxquels nous pourrions rapporter nos mouvements.

En d'autres termes, avons-nous un plan fixe de référence et un point origine à partir duquel nous compterons les distances? On peut trouver dans le système solaire un plan répondant à peu près aux conditions imposées et prendre pour origine le centre de gravité du système; mais c'est un pis aller; le Soleil nous emporte en effet dans une direction connue et toutes les étoiles ont des mouvements propres variés en intensité et en direction. Nous avions bien autrefois la ressource de dire qu'il existait tout au

moins un plan invariable dans notre système, plan indiqué par Laplace et qui a reçu le non de _plan du maximum des aires_[50]. Mais si l'espace absolu n'existe pas, un tel plan perd sa raison d'être... à moins de le rapporter à un éther immobile qui, lui aussi, nous échappe; et la relativité apparaissait de nouveau pour nous sauver.

[50] Cf. TH. MOREUX: _Origine et Formation des Mondes_ pour ce qui concerne le plan du maximum des aires du système solaire.

Les réflexions qui vont suivre n'ont pas la prétention d'aider les physiciens et les astronomes à résoudre pratiquement le problème ardu ainsi posé; mais, du point de vue spéculatif, elles sont de nature, ce semble, à jeter quelque jour sur la question d'axes absolus de référence.

Nous venons de parler du plan du maximum des aires appliqué à notre Système; on tient compte pour le calculer des masses de chaque planète et de l'aire que décrit leur rayon vecteur dans un temps égal et l'on démontre que ce plan est invariable dans l'espace; or, ceci est exact pour tout système mécanique clos, c'est-à-dire pour tout système de corps célestes formant un ensemble et ne recevant aucun apport nouveau de l'extérieur. Nous pouvons donc appliquer le théorème à la Voie lactée dont nous faisons partie et, par extension, à tout l'Univers quel qu'il soit, puisque, nous l'avons démontré, l'univers est fini.

D'où il suit que le monde matériel dont nous faisons partie possède un plan du maximum des aires. Dire qu'il est invariable dans l'espace n'a plus de signification, puisqu'il fait partie lui-même de notre espace qu'il traverse de part en part; nous ne

pourrons même pas imaginer, ni concevoir, que l'ensemble des corps formant l'Univers, ensemble pris en bloc, puisse se mouvoir ou tourner sur lui-même, ni changer de position, puisque ceci supposerait un espace autre que le sien et auquel nous le rapporterions; il reste néanmoins cette conclusion que tous les corps célestes opèrent leurs mouvements par rapport à ce plan, qui est invariable pour eux. Ainsi, nous aurions dans l'Univers, au moins un plan fixe pour étayer nos coordonnées; nous arriverions par là même à posséder un plan absolu d'espace et une unité absolue d'espace, comme nous l'avons démontré.

Ces vues, je le répète, sont, à l'heure actuelle, purement spéculatives. Il était opportun toutefois de les présenter ici, non seulement à titre de curiosité, mais parce qu'elles sont de nature à démontrer que rien ne paraît plus relatif que la théorie même de la relativité.

CHAPITRE VI

L'ESPACE A QUATRE DIMENSIONS ET LES GÉOMÉTRIES NON-EUCLIDIENNES

Pour expliquer la figure du Monde, les Einsteiniens ont essayé de reprendre à leur profit l'ancienne hypothèse d'un Hyperespace ou espace à plus de trois dimensions.

Il faut donc de toute nécessité, si l'on veut essayer de comprendre les relativistes, ou tout au moins suivre leurs raisonnements, posséder quelques notions sur un sujet paraissant de

prime abord complètement étranger aux études abordées dans cet ouvrage.

Il ne saurait être question ici, je tiens à le déclarer, d'entrer dans des détails que mon lecteur trouvera beaucoup plus développés dans mon livre sur la Mort[51]; mais je donnerai l'essentiel, c'est-à-dire la partie nécessaire à la discussion philosophique du sujet.

[51] TH. MOREUX: _Que deviendrons-nous après la Mort_ (Ed. Scientifica, Paris 1913). Ce chapitre est en partie un résumé des notions développées dans cet ouvrage antérieur à celui-ci.

Plaçons une bille sur une table de billard; je vais maintenant vous prier, après l'avoir enlevée, de la remettre à la place exacte qu'elle occupait,--Rien de plus simple, direz-vous; il suffit de repérer sa position au moyen d'un point tracé à la craie.--Eh bien, un géomètre eût probablement opéré d'autre façon.

Supposons la bille en A; je puis constater que cette bille se trouve à 30 centimètres de la bande de gauche, largeur du billard et à 20 centimètres de la bande représentant la longueur (fig. 10).

Les nombres 30 et 20 sont les _coordonnées_ du point A par rapport aux bandes qui sont deux axes se coupant à angle droit; le point A est donc connu si je vous donne ses deux coordonnées.

[Illustration: Fig. 10.]

[Illustration: Fig. 11.]

Maintenant, imprimons un mouvement à la bille et soit la position B qu'elle prend, après avoir décrit la droite AB. Le point B aura deux nouvelles coordonnées; il sera à 60 centimètres de la

bande de gauche et à 40 de la bande du haut, sur la figure 11. Pendant tout le temps qu'il a fallu à la bille pour passer de A en B, cette bille a donc eu à chaque instant 2 coordonnées, et c'est l'ensemble de ces nombres qui a formé ou plutôt déterminé la droite AB. On exprime ceci en disant que la position de la bille est toujours fonction de 2 variables, c'est-à-dire deux quantités qui varient.

On voit que le calcul de toutes les positions successives de la bille devient un problème d'algèbre; les coordonnées à trouver seront les deux inconnues x et y d'une équation.

Mais nous n'avons opéré ainsi que sur une surface plane; cela va bien pour fixer les positions d'un point sur un plan; le procédé est insuffisant pour repérer un objet placé dans une chambre par exemple.

Voici une lampe poste sur un guéridon; comment fixerons-nous sa position? Nous allons d'abord abaisser une verticale de la lampe au plancher, mesurer la hauteur de cette verticale, puis opérer sur le plancher comme nous l'avons fait pour la bille du billard.

Je constaterai ainsi que ma lampe se trouve (fig. 12) je suppose:

1°) à 1 mètre au dessus du plancher; 2°) à 3 mètres du mur Ouest; 3°) à 2 mètres du mur Nord.

Ainsi, dans l'espace, la position dépend non plus de 2, mais de 3 nombres, de 3 coordonnées, qui entreront dans les équations et correspondront à 3 inconnues: x, y et z.

[Illustration: Fig. 12.--Comment on repère un point dans l'espace.]

On voit que pour toute position de la lampe par rapport aux murs et au plancher de ma chambre, j'aurai nécessairement 3 coordonnées qui varieront. Si ma lampe se meut suivant une trajectoire quelconque, la ligne tracée dans l'espace me sera donnée, on le conçoit, par l'étude de la variation d'une fonction à 3 variables.

Mais ici je ne fais qu'imiter le physicien: nous avons en effet toutes raisons de croire que la trajectoire d'un objet n'est pas continue--conclusion de notre dernier chapitre--; ses positions dans l'espace sont en nombre fini, et si le procédé analytique nous réussit, ce n'est que grâce à l'énorme multiplicité des positions que présentent des mobiles, ou si vous le préférez, ce que nous appelons leur trace dans l'espace.

Et voilà qui va nous permettre de résoudre un problème vieux comme la Philosophie. On s'est souvent demandé si la Géométrie était fille de l'expérience ou bien engendrée seulement par notre esprit. Les uns tiennent pour la première hypothèse, les autres pour la seconde; la théorie des _Quanta_ appliquée à l'étendue est de nature à lever tous les doutes.

Notre Géométrie est la science de l'espace; or l'espace n'est que la généralisation de l'étendue, donc l'abstraction du réel. En tant qu'il se sert des données sensibles sur lesquelles il applique sa faculté d'abstraction, notre esprit peut donc fabriquer l'espace et la Géométrie. Cette dernière science n'a donc rien de mystérieux, ni d'inné; elle n'est pas davantage issue d'une forme _a

priori_ de notre sensibilité, comme le voulait Kant; elle est l'abstraction du _donné_ et le donné nous est imposé.

Et puisque l'étendue nous est livrée avec ses trois dimensions, je veux dire puisque trois coordonnées nous suffisent pour fixer la position d'un point dans ce que nous appelons l'étendue, il s'ensuit que l'espace, abstraction de l'étendue phénoménale et base de notre Géométrie, nous est imposé par la réalité.

H. Poincaré avait coutume de dire que notre Géométrie n'était peut-être pas plus exacte qu'une autre, mais que nous l'avions choisie pour une raison de commodité. Le mot prête à équivoque; une Table de Logarithmes peut n'être pas plus commode qu'une autre, sans que cela infirme son exactitude; ce que nous désirons savoir dans notre cas, c'est précisément quelle qualité objective d'exactitude comporte notre Géométrie.

Nous venons de montrer comment, en raison de la multiplicité des éléments de l'étendue phénoménale, le géomètre peut appliquer à ce discontinu physique, une géométrie du continu, c'est une première réponse.

Que si maintenant nous envisageons le problème de l'étendue en tenant compte, non seulement des forces élémentaires distinctes, mais aussi de leurs rapports réciproques, nous arriverons à une conclusion analogue, car ces rapports sont en nombre inconcevable.

Quant à la question de savoir si nous connaissons tous ces rapports et si parmi eux, quelques-uns moins importants peut-être, n'échappent pas à notre sensibilité, même aidée des plus forts instruments et des méthodes les plus délicates, elle nous échappe totalement.

Notre abstraction de l'espace correspond bien à notre perception de l'étendue prise en gros, et, du point de vue géométrique seul, nous n'apercevons jamais une non-concordance, mais il semble que le réel dépasse en certaines occasions, ce que nous y constatons d'une manière générale, notamment lorsque nous essayons de pénétrer dans le domaine de l'atome et dans celui plus mystérieux encore de la gravitation; mais n'anticipons pas et revenons à l'espace tel que nous l'employons pratiquement.

* * * * *

Habitué à traiter la Géométrie comme une branche de l'Algèbre, le mathématicien n'avait aucune raison de s'arrêter à un espace à trois coordonnées et il s'est demandé où le conduirait le fait d'envisager un espace à quatre dimensions. L'effort à donner était d'ailleurs insignifiant, puisqu'il suffisait d'introduire dans ses coordonnées une quatrième variable. Le problème n'offre en lui-même rien de contradictoire. La Physique nous a appris depuis longtemps à étudier des phénomènes dépendant de quatre conditions et même davantage.

Le volume d'un gaz, par exemple, dépend non seulement de l'enceinte qui le renferme, mais encore de sa pression et de sa température, en tout cinq variables et l'on en pourrait imaginer d'autres.

Si donc, la position d'un point dans l'espace dépend de trois coordonnées, hypothèse que nous posons parce que nous y sommes contraints, il n'y a aucune impossibilité intrinsèque de supposer qu'une quatrième variable ne pourrait entrer en ligne de compte.

Notez qu'ici, il ne s'agit pas précisément du réel, mais du possible; nous pensons que le réel est tel parce que le Créateur en a ainsi fixé les lois, mais ces lois ne sont pas nécessaires et les actions réciproques des forces élémentaires pourraient avoir été réglées autrement; de façon par exemple à nous imposer cette quatrième variable.

Mais, direz-vous, quelle serait cette nouvelle coordonnée? Nous l'ignorons totalement et la question au point de vue mathématique est bien indifférente; l'important ici est que nos équations soient construites en toute logique et voilà comment le géomètre doit être amené peu à peu à édifier des espaces à plus de trois dimensions, c'est à dire des espaces où les figures sont encore définies à l'aide de formules analytiques impeccables.

Simple jeu d'esprit, penserez-vous! Peut-être; en tout cas, il est assez curieux de constater que ces symboles algébriques, nous ont conduits à des théorèmes ayant élucidé plus d'une partie restée obscure dans le domaine de la Géométrie à trois dimensions.

* * * * *

Ces questions, hélas! sont loin de nous fixer sur la légitimité des théorèmes premiers ayant servi de base à notre science géométrique de l'espace. L'Analyse appliquée à la Géométrie est un merveilleux instrument, mais elle ressemble un peu à ces machines à calculer qui opèrent sur des unités quelconques, à la seule condition que ce soient des unités de même espèce; elle ne saurait, en présence du résultat, en donner une interprétation adéquate à la réalité.

Prenons, par exemple, notre Géométrie à trois dimensions: deux de ses coordonnées déterminent un plan; les trois réunies

nous donnent un trièdre de référence, mais les trois faces de ce trièdre sont toujours des plans; en combinant savamment ces trois coordonnées, nous arrivons à construire toute la science de l'espace et nos théorèmes s'enchaînent avec toute la rigueur attachée à la méthode algébrique.

Avons-nous le droit de dire que cette construction n'est pas arbitraire? Oui, si le point de départ est exact; non, si la base n'en est pas assurée. Or toute la question revient à définir le plan; on le fait au moyen de la ligne droite, mais c'est reculer le problème: Qu'est-ce qu'une ligne droite?

Cherchez dans tous les Traités de Géométrie, je vous mets au défi de trouver autre chose qu'une énumération de quelques propriétés de la ligne droite dont l'essence même paraît nous échapper.

Vous y verrez, par exemple, des propositions de ce genre: «Par deux points de l'espace, on ne peut faire passer qu'une droite.» Oui, à condition que le plan soit possible; droite et plan apparaissent comme des notions dépendantes l'une de l'autre et se définissent l'une par l'autre. Cela ressemble fort à un cercle vicieux et c'est un bien mauvais début pour une science prétendue exacte.

Ainsi, toutes les Géométries à 3, à 4 et à 5 dimensions ont besoin de passer par l'étude préalable de l'espace à 2 dimensions qui, lui, nous offre le _plan_ comme base de nos constructions, et c'est là précisément que nous sommes arrêtés.

Cette notion de plan est cependant fort claire, penserez-vous; l'hypothèse suivante pourrait bien être de nature à vous faire changer d'avis.

Supposons des êtres tout en surface, ayant par conséquent longueur et largeur sans aucune épaisseur, ou du moins avec une épaisseur extrêmement petite de l'ordre d'un atome ou même d'un électron.

Plaçons ces êtres sur une surface courbe, par exemple, sur une sphère de rayon tellement grand que la courbure soit insensible.

L'hypothèse, n'a rien d'absurde en elle-même et si la Terre, quoique petite, était rigoureusement polie, nous pourrions nous en servir pour y déposer nos curieux sujets.

Ces êtres pratiquement dépourvus de hauteur, mais possédant deux dimensions, vont pouvoir, en évoluant à la surface de leur habitat, fonder une Géométrie tout-à-fait particulière.

Notez que pour eux, ils seront censés faire de la Géométrie plane, à deux dimensions, par conséquent.

Mais, suivant qu'ils travailleront dans leur cabinet ou qu'ils se livreront aux opérations sur le terrain, ils arriveront à des résultats différents.

Aussi inacceptable que soit cette conclusion, de prime abord, il va nous être facile de la prouver.

S'agit-il de tirer des droites sur un petit espace, nos habitants ne pourront jamais soupçonner la faible courbure du plan sur lequel ils évoluent. Nous-mêmes, sur notre sphère terrestre de grand rayon, nous ne possédons aucun moyen matériel assez délicat pour mettre en évidence la sphéricité réelle de la surface liquide d'un bassin.

Lorsque nous traçons des triangles sur une telle surface, en y décrivant des arcs de grands cercles qui se coupent, rien ne nous avertit que nous avons affaire à des triangles sphériques.

Nos êtres hypothétiques à deux dimensions sont donc en mesure de fonder une Géométrie plane analogue à celle d'Euclide.

Mais supposez-leur l'esprit des voyages, des explorations et des découvertes, et les voilà plongés dans les pires incertitudes.

S'il s'avise à l'un d'eux de s'en aller droit devant lui, en ne déviant ni à droite, ni à gauche, il finira par accomplir sans s'en douter, tout le tour de la sphère qu'il occupe et reviendra à son point de départ.

Si ce point a été repéré, il conclura non sans raison, que toute droite est une ligne finie, et pour lui, cette proposition prendra l'allure d'un axiome.

Imaginons maintenant que le grand cercle ainsi parcouru, soit l'équateur de la sphère; si, sur ce cercle, il leur vient l'idée d'élever de loin en loin des perpendiculaires analogues à nos méridiens, rien ne les avertira que ces perpendiculaires ne sont point rigoureusement parallèles.

Ils admettront donc leur parallélisme comme un fait à la fois logique et expérimental; mais qu'il prenne à quelques-uns d'entre eux, la fantaisie de se rendre compte de la propriété de ces pseudo-parallèles, en parcourant différents méridiens, le résultat obtenu renversera toutes leurs notions péniblement acquises.

En continuant leur route dans une direction invariable en apparence, ils arriveront en effet à se rencontrer forcément aux

pôles; d'où ils concluront que, «par un point donné, on peut abaisser plusieurs perpendiculaires sur une même droite dans un plan unique», principe contraire à la Géométrie que nous professons.

Or, qui nous assure que nous ne sommes pas comparables, jusqu'à un certain point, à ces êtres hypothétiques nécessités par leur situation à construire une Géométrie différente de la nôtre?

Ce sont des considérations de ce genre qui ont guidé les mathématiciens dans la construction des Géométries dites non-euclidiennes.

Puisque, disait Lobatchewsky, toute notre géométrie repose sur un postulat, celui d'Euclide[52], postulat indémontrable, voyons ce qui arriverait en supposant que, par un point pris hors d'une droite, on puisse mener plusieurs parallèles à cette droite. Et le savant géomètre russe est arrivé à construire une géométrie différente de celle d'Euclide, évidemment, mais dont les propositions sont aussi fortement enchaînées; on y enseigne, en particulier, que la somme des angles d'un triangle est _plus petite_ que deux angles droits.

[52] Le _postulatum_ d'Euclide peut être formulé ainsi: «Par un point pris hors d'une droite, on ne peut mener _qu'une_ parallèle à cette droite.» On est bien arrivé à démontrer ce postulat, mais c'est toujours en introduisant à la base de la Géométrie un autre postulat, donc une autre proposition indémontrable; autant vaut donc garder celui d'Euclide.

Tout autre est le point de vue de Riemann qui part d'un pseudo-plan dont la courbure n'est pas nulle: dès lors, par un point, on ne peut faire passer aucune droite parallèle à une autre droite

et on aboutit à une troisième Géométrie aussi logique que les deux précédentes et dans laquelle la somme des angles d'un triangle est _plus grande_ que deux droits. Et nous voilà revenus à la supposition de nos êtres infiniment plats se débattant sur une surface courbe. De là toute une série de Géométries liées à la valeur du rayon de courbure; et nous aboutissons finalement à des espaces sphériques, elliptiques, hyperboliques, etc... Envisagée sous ce point de vue nouveau, notre Géométrie d'Euclide ne serait qu'un cas particulier d'une Géométrie plus générale qu'on étudie aujourd'hui sous le nom de Métagéométrie.

Toutefois, il est bon de faire remarquer que dans notre Géométrie, aussi bien que dans celle de l'espace elliptique ou hyperbolique, les conclusions sont les mêmes pour des surfaces extrêmement petites; elles ne commencent à différer qu'à partir du moment où les figures sont immenses; mais de telles figures ne sont plus à notre disposition. Impossible, donc de savoir si l'espace que nous imaginons répond à l'étendue réelle.

* * * * *

Devant une telle incertitude, quel parti prendre? Le cas paraît bien embarrassant, mais au fond, n'est-ce pas une querelle de mots? L'espace, pure abstraction, n'est qu'une idée générale, partant une idée assez imprécise; cette idée correspond-elle bien en fait à une Géométrie déterminée? Il est permis d'en douter.

Lorsque nous descendons dans le détail, nous voyons que la Géométrie se réduit toujours à une question de métrique, et l'idée d'espace paraît bien, dans tous les cas, s'accorder avec cette conception. Le nœud du problème n'est donc pas là et la question de fait n'est pas résolue.

Supposer en effet que nous habitons au sein d'un espace courbe, c'est énoncer une supposition qui n'a aucun sens pour nous, puisque c'est l'étendue phénoménale qui a provoqué en nous l'idée d'espace, généralisation du donné. Dès lors, espace et étendue réelle doivent forcément cadrer.

Que cette dernière contienne des particularités qui échappent à ma sensation, que je ne perçois pas, qui par conséquent n'entrent pas dans mes généralisations, cela est possible et tout à fait vraisemblable--la discontinuité m'en offre un bon exemple--mais pour imparfaite qu'elle soit, ma notion d'étendue généralisée n'est pas fausse, puisque déjà elle m'indique des rapports constatés, constants et réels.

Si l'on insiste en disant que notre plan euclidien pourrait être une surface à courbure peu prononcée, je demanderai comment vous pouvez avoir acquis cette notion de courbure. Dès lors que vous êtes à même de supposer une ligne courbe, c'est que vous avez la notion de la droite à laquelle vous la comparez. Vous me rappellerez, il est vrai, nos êtres de tantôt, tout en surface. Mais ici, la comparaison ne tient plus, car nous avons, nous, une épaisseur dont nous nous sommes rendu compte, donc une notion de troisième dimension et ceci nous suffit pour distinguer une ligne droite d'une autre qui ne le serait pas, quelle que soit la longueur envisagée.

Notre droite, a-t-on dit encore, est une pure convention; je vous l'accorde, mais la couleur rouge rentre dans le même cas. Avant que le physicien ait pu définir le rouge _objectivement_, jusqu'à un certain point, c'est-à-dire en fixant quelques conditions de son existence, cette couleur répondait à une réalité et seuls les daltoniens la confondaient avec le vert.

Dès lors, pourquoi nier l'existence de la ligne droite, sous prétexte que nous ne pouvons la définir autrement que par ses propriétés?

Encore une fois, vous ne reprocherez pas au physicien sa croyance à la vibration lumineuse dont il ne vous a jamais révélé l'essence; ne vous montrez donc pas plus exigeants pour le géomètre, à propos de la ligne droite.

En résumé, bien que nous ne connaissions pas l'essence de la ligne droite, ni celle du plan qui en dérive, nous en possédons une notion claire déduite de leurs propriétés. Les Géométries non-euclidiennes autres que celles à trois dimensions nous apparaissent comme des constructions purement artificielles, simple jeu de formules analytiques où le mathématicien n'atteint pas ou dépasse le réel.

Dire que notre Géométrie euclidienne est simplement commode, c'est méconnaître les rapports de l'objectif et du subjectif; c'est nier toute correspondance entre les données fournies par le monde extérieur et nos perceptions; c'est mettre en suspicion la légitimité de notre acte de la connaissance et ouvrir la voie au subjectivisme le plus exagéré.

Nos conclusions ne sont plus les mêmes en ce qui concerne la possibilité d'une étendue à quatre dimensions. Il se peut que nous ne saisissions pas tous les rapports qu'échangent entre elles les forces élémentaires qui provoquent en nous la sensation d'étendue. Celle-ci est à _trois_ dimensions au moins, puisque nous sommes contraints par les faits à imaginer ce nombre pour rendre compte du réel, mais ce réel peut de beaucoup dépasser le donné. Les forces extérieures pourraient échanger des rapports

cachés à nos sens grossiers, rapports qui constitueraient la quatrième dimension. Évidemment, c'est une hypothèse, mais une hypothèse non contradictoire et qu'on ne peut écarter au nom de la logique. Au physicien de chercher si, au milieu des faits qu'il enregistre, surtout dans le domaine de la Physique moléculaire, il n'en existe pas quelques-uns qui ne pourraient s'expliquer autrement que par la présence de cette quatrième variable, dimension peut-être réelle ajoutée aux trois autres.

C'est la prétention des relativistes de l'avoir trouvée: on voit que le sujet est d'importance; ce sera mon excuse d'avoir imposé à mes lecteurs le chapitre que je termine. L'étude de la conception d'un Espace-Temps montrera que la digression était nécessaire.

CHAPITRE VII

L'ESPACE TEMPS DE MINKOWSKI. LA RELATIVITÉ GÉNÉRALISÉE

Nous avons vu comment la Mécanique relativiste avait pris corps avec la formule de Lorentz. H. Poincaré y fait plusieurs allusions dans ses écrits; il y revient dans ses _Dernières pensées_[53] et nulle part il n'y est question d'Einstein. Le _temps local_, la _simultanéité optique_ sont antérieurs à l'œuvre du physicien allemand qui n'apparaîtra que beaucoup plus tard, pour codifier les principes et essayer d'en faire un tout passable. Encore ne sera-ce qu'après l'intervention de son professeur Minkowski. C'est ce dernier, en effet, qui a inventé pour le

besoin de la cause, une sorte d'être hybride qu'il a décoré du nom pompeux d'Espace-Temps.

[53] V. Chap. II: _L'Espace et le Temps_.

Nul événement, en effet, dit Minkowski, ne se peut séparer du temps et de l'espace; il apparaît en un lieu déterminé, mais aussi en un temps donné. Pour représenter cet événement, ce _point_ d'_Univers_, suivant son expression, nous aurons donc besoin non seulement des trois coordonnées d'espace, mais aussi d'une quatrième variable se référant au temps. Deux événements se passent-ils en un même lieu et au même instant, leurs _lignes_ d'_univers_ doivent alors se couper, présenter une intersection.

Le monde nous apparaît donc, toujours d'après Minkowski, comme un continu à 4 dimensions, donc comme une sorte d'Hyperespace et, en fait, les formules qui régissent la Géométrie à 4 dimensions vont pouvoir s'appliquer à la détermination de deux événements. Ceux-ci se passent-ils en des lieux et dans des instants différents, ils seront séparés par un _intervalle_ d'_Univers_, analogue à une distance dans un espace à 4 dimensions; le tout relève donc de cette sorte d'hyperespace.

Cependant, même présentée sous cette forme, la trouvaille de Minkowski ne va pas sans difficultés: on n'agglomère pas si facilement des entités aussi différentes que l'espace et le temps. L'étendue est multiplicité actualisée; elle se présente à nous sans être nécessairement liée à la condition du devenir ou du passé. Bien qu'elle soit impliquée dans des causes antérieures, je puis la considérer en elle-même, comme un donné instantané, donc simultané, comme un tout global non conditionné. Tout ceci, à plus forte raison, doit s'appliquer à la notion d'espace qui n'est

que la généralisation de l'étendue phénoménale. En d'autres termes, notre conception de l'espace n'est en aucune façon liée à l'idée d'antériorité, ni de postériorité. Il n'en va plus de même pour le temps; sa notion implique succession: un passé, un présent, un futur. Alors qu'une ligne d'étendue peut toujours être donnée tout entière et correspondre à un fait objectif indiquant une multiplicité réalisée, une _ligne de temps_, si je puis m'exprimer ainsi, nous offre des parties ou des points dont _un seul_ possède une existence réelle: _un seul à la fois_, jamais une multiplicité présente, actualisée.

Dès lors, comment agglomérer des choses aussi disparates; autant vaudrait associer des billets de banque à des degrés centigrades ou Fahrenheit. L'objection n'a pas échappé à Minkowski qui a cru la résoudre au moyen d'un artifice bien connu des mathématiciens.

Si l'on veut en effet comparer en toute rigueur analytique, le continu espace-temps à un espace à quatre dimensions, les coordonnées de ce continu hybride ne doivent pas être x, y, z, et t (temps); mais, aux trois coordonnées de notre espace euclidien, il faudra ajouter le temps (t) multiplié par la racine carrée de _moins un_ (soit t$\sqrt{(-1)}$), c'est-à-dire multiplier t par i qui représente ce facteur imaginaire. Ainsi, nos quatre coordonnées seront x, y, z et it.

C'est ce qu'a fait Minkowski, mais cela était encore insuffisant; le temps doit être évalué par une longueur: ce sera le chemin décrit par la lumière en une seconde, soit 300 000 kilomètres, valeur toujours constante par définition.

C'est le premier postulat de la Relativité qui reparaît; passons.

Ce qui semble beaucoup plus grave, c'est que malgré toutes ces précautions pour obtenir quelque homogénéité dans les formules, le temps reste toujours le temps, c'est-à-dire une quatrième variable n'ayant rien de commun avec nos trois dimensions spatiales, une quantité qui n'est pas de même nature et, que, par suite, nous n'avons pas le droit d'agglomérer avec des entités d'autres espèces.

Parler d'espace-temps à la manière d'un continu euclidien d'espace géométrique, c'est donc accorder à un symbole une réalité; c'est ériger en objectif, un pur _être de raison_ forgé par notre intellect.

Depuis longtemps déjà, les physiciens de notre génération se sont accoutumés, par une sorte de convention tacite, à désigner sous le nom commun de _dimensions_ certaines quantités entrant comme variables dans leurs équations.

Ainsi, la pression barométrique, fonction de la capillarité du tube, de l'altitude, de la température de la colonne mercurielle et de celle de l'air, donc de quatre variables, si nous nous arrêtons là, sera censée posséder _quatre_ dimensions. Un son dépend de sa hauteur, de son intensité et de son timbre; nous lui accorderons _trois_ dimensions. Le poids d'un bloc de métal, donné par un peson à ressort, est fonction de la latitude du lieu, de la densité et de ses trois dimensions spatiales; au total, on peut dire que ce corps possède _cinq_ dimensions. Mais, évidemment, tout ceci n'est que façon de parler et personne n'oserait sérieusement soutenir que la pression barométrique, comme le poids de notre métal, sont des entités réelles qui en font des volumes découpés dans un hyperespace correspondant.

Qu'en Physique, l'étude d'un phénomène quelconque vous conduise à celle d'une fonction continue à quatre variables et que vous profitiez des équations qu'a trouvées le géomètre en s'occupant de l'espace à quatre dimensions, je n'y vois aucun inconvénient; mais qu'à ce propos et sous prétexte d'Algèbre et d'Analyse, vous veniez me parler d'hypersphère, de rayons de courbure, de géodésiques, tous termes appliqués à une sorte d'espace, c'est un abus de langage intolérable. Comme méthode de calcul, la considération d'un _continuum_ Espace-Temps peut avoir un gros intérêt et il serait puéril de le nier; mais, de grâce, parce que nous avons dressé, pour ainsi dire, un _abaque_ commode, n'allons pas crier sur les toits que nous venons de découvrir une «nouvelle figure du Monde». Admettons que nous ayons trouvé quelques formules utilisables, soit, mais laissons aux romanciers l'idée saugrenue d'associer l'espace et le temps pour en faire un conglomérat d'Hyperespace, pour imaginer, comme Wells, un sujet de voyage fantastique où l'on chevauche sur une machine à explorer le Temps; encore que notre esprit français tout pétri de clarté, de logique, de vraisemblance, de mesure et de tact, s'accommode assez mal de cette littérature enfantine et simpliste, chère à nos amis d'outre-Manche.

Notons aussi en passant que chaque peuple a sa façon à lui, de comprendre la science: Les physiciens anglais adorent généralement les modèles mécaniques; Maxwell, au contraire, se souciait peu des représentations auxquelles il préférait les formes analytiques. Les Allemands paraissent plutôt pencher vers l'abstraction; ils dissertent à perte de vue et font de la Physique à la manière de leurs anciens philosophes. Mais, ainsi que le fait remarquer avec juste raison M. R. d'Adhémar: «Lorsque nous obtenons une _Physique mathématique_, ne soyons pas dupes; la démons-

tration _more geometrico_, n'est logique ou mathématique que dans sa forme, puisque l'on n'a atteint un exposé cohérent qu'en rejetant toutes les questions _épineuses_ dans les notions primitives, _principes_, _postulats_ ou _définitions_[54].»

[54] Cf. _Rev. Gén. des sciences_, 15 mai 1922, p. 269.

Faire de la Physique avec de la Géométrie, emprunter, au besoin, les schémas abstraits des hyperespaces, pour trouver des liaisons soupçonnées déjà par les géomètres, tel est à mon avis, l'écueil que n'ont pas su ou voulu éviter Einstein et ses disciples dont Weyl est le plus illustre représentant.

Mais le jeu est tellement dangereux que déjà les relativistes ne s'entendent plus. J'aurais voulu donner à mes lecteurs une idée de la Relativité généralisée, j'y renonce embarrassé que je suis, par le choix des auteurs ayant traité le sujet.

Einstein amalgame Géométrie et Mécanique; pour lui, les propriétés mécaniques de la matière dérivent de l'Espace-Temps de Minkowski, conçu comme un _continuum_ à quatre dimensions; elles seules suffisent à expliquer les champs de gravitation, l'inertie, les moments et les forces des systèmes; tout se ramène aux formules géométriques de l'hyperespace de Riemann.

Cette dernière Géométrie, nous dit Weyl, est au contraire tout à fait insuffisante, car elle contient «une limitation qui la fait apparaître comme impropre à la description d'un continu physique dont est exclue toute action physique à distance»[55]. Il faut donc agrandir et généraliser notre concept et donner à l'Univers quatre degrés additionnels de liberté qui s'identifient avec les quatre potentiels électro-magnétiques.

[55] Cf. _Nature_, 20 May 1922, p. 635.

Bref, Weyl conclut que pour décrire complètement l'état de l'Univers en un point et à un moment donné, il ne suffit pas de dix grandeurs, comme le pensaient ceux qui s'étaient servis de la géométrie de Riemann, il en faut quatorze![56]. Voilà une explication _simple_ de la _figure du Monde_! Seulement, quand vous avez fermé le livre de Weyl, vous êtes vis-à-vis des phénomènes de l'Univers, exactement dans la même position que l'ingénieur calculant les potentiels, les volts et les ampères dans une série de câbles électriques, sans savoir en quoi consiste exactement ce que nous nommons _électricité_. «Échafaudage de symboles», comme l'écrivait Eddington, voilà ce qu'est la doctrine de la Relativité généralisée.

[56] Consulter, pour approfondir l'œuvre de WEYL, L. G. DU PASQUIER: _Le principe de la relativité et les Théories d'Einstein_ (Doin, Paris, 1922) et l'ouvrage de WEYL lui-même déjà cité: _Espace, Temps, Matière_ (A. Blanchard, Paris, 1922).

Encore une fois, je suis le premier à admirer cette gigantesque construction qui a demandé tant d'efforts, à laquelle ont travaillé de si savants architectes et qui, somme toute, qu'on le veuille ou non, est de nature à faire avancer la science; mais je proteste avec la dernière énergie contre ceux qui prétendent, en nous l'exposant, nous mettre en présence d'une nouvelle figure du Monde, et c'est bien là, ce semble, le véritable et dernier point de vue d'Einstein. Du moins, sommes-nous fondés à le croire d'après les conférences données par Einstein lui-même, au Collège de France, en avril 1922: «Mais il est dans l'exposé fait hier par Einstein, écrivait l'un des assistants, un point important sur lequel il a sans cesse insisté au cours de la séance, et dont je crois devoir

dire un mot ici, car il touche à un des malentendus les plus fréquents qui se sont élevés entre ceux qui considèrent la théorie d'Einstein comme une théorie purement _physique_--et nous sommes quelques-uns à avoir depuis longtemps soutenu ce point de vue--et certains de ses adversaires mathématiciens.

On a dit et écrit maintes fois--et des savants éminents ont exprimé publiquement cette opinion--que la théorie de la relativité n'est qu'une construction purement formelle, purement mathématique. Einstein s'élève avec force contre cette manière de voir.

Sa théorie n'est pas une construction mathématique, c'est une théorie physique, une théorie des phénomènes, des événements de l'Univers. Einstein a dit hier, en propres termes, ceci:

--Beaucoup de mathématiciens ne comprennent pas la théorie de la relativité, bien qu'ils en saisissent les développements mathématiques; ils ont le tort de n'y voir que des relations formelles et de ne pas méditer sur les réalités physiques auxquelles correspondent les symboles mathématiques employés»[57].

[57] Cf. Art. de CH. NORDMANN, dans _Le Matin_ du 1e Avril 1922.

Ainsi, nous voilà avertis, nous sommes en présence d'une _théorie physique du Monde_; le tout est évidemment de s'entendre sur les mots qui n'ont sans doute pas la même valeur en Allemagne qu'en France. Singulier langage qui décore du nom de théorie physique, une doctrine excluant toute trace possible de représentation; à ce compte, pourquoi ne pas appliquer ces termes à toutes nos théories mathématiques, y compris celles des imaginaires?

Je n'exagère rien; que le lecteur médite attentivement les passages suivants extraits d'un article de M. Robert d'Adhémar, il sera édifié sur la façon dont Einstein comprend son _Système du Monde_[58].

[58] Art. j. cit. _Rev. Gén. des Sciences_, 15 mai 1922. J'ai omis quelques passages inutiles pour la compréhension générale de la théorie.

«Nous étions, par abstraction (dans le cas de la Relativité restreinte) en dehors de tout champ de gravitation; entrons maintenant dans ce nouveau domaine (cas de la Relativité généralisée).»

Ici, l'auteur va nous parler de l'Espace-Temps et le lecteur se souviendra que ce conglomérat est assimilé (_sic!_) à un espace-temps à quatre dimensions.

«On découpera le _continuum_ espace-temps (pour abréger, disons: le continuum) en _cellules_ à 4 dimensions, une dimension étant complexe (ou imaginaire) pour obtenir une image réaliste, pour distinguer l'office propre du temps.

On ne parlera guère de l'éther, tout se rapportant à cet espace, plus exactement à ce _continuum_. Si nous voulons une représentation, uniquement pour donner un support au discours (nous ne sommes pas des esprits purs), imaginons nos cellules élémentaires limitées par de fines toiles d'araignée: la présence, en un point, de ce que nous nommons «matière» correspondra, _par définition_, à une _déformation_ du _continuum_, comme si l'arrivée de la matière secouait notre subtil tissu de toiles d'araignée: Tout point matériel _est_ une _déformation du continuum_, qui cesse d'être _euclidien_.

Qu'advient-il maintenant; comment jouent les cellules?

La masse du Soleil, par exemple, étant grande, _équivaut_, pour Einstein, à une modification des cellules, bien supérieure à la modification analogue au voisinage de la Terre. Quel rapport trouve-t-on entre ces deux défigurations? D'après Einstein, un même corps, sur le Soleil, émettant des radiations, émettra les mêmes radiations que s'il était sur la Terre, dans les mêmes conditions, _mais_ avec une petite augmentation de la durée des vibrations. Par suite, en comparant les deux spectres, leurs raies, on constaterait ce qu'on nomme le «déplacement vers le rouge».

Les physiciens font des _vérifications expérimentales_, difficiles, et qui semblent pouvoir réussir.

Poursuivons notre examen sommaire; nous rencontrons le _Postulat essentiel_ de la relativité généralisée:

«Les lois fondamentales de la Physique conservent la même forme, quel que soit le système de coordonnées choisi dans le _continuum_.»

Einstein en déduit ce résultat qu'un rayon lumineux sera réfracté par un champ de gravitation.

Pour suivre son idée, imaginons un observateur sur une planète de faible masse, voisine du Soleil, soumise à un champ de gravitation intense, de telle sorte que la courbure de sa trajectoire soit forte. Ce physicien étudie un rayon lumineux, venant d'une étoile. Si ce rayon était réellement _rectiligne_, pour un observateur éloigné, un observateur terrestre, il paraîtrait _curviligne_ au _physicien_ (entraîné dans un mouvement très courbé), qui ne pourrait aligner le signal lumineux sur une droite liée à sa pla-

nète. Si, au contraire, le physicien de la planète peut aligner le signal sur ses repères géodésiques, puisque les dits repères décrivent des orbites courbes, alors il faut conclure que le rayon lumineux est impressionné, aussi bien que la petite planète, par le champ solaire. On dira que la lumière est pesante, ou encore que le champ de gravitation du Soleil équivaut à un milieu réfringent spécial.

Dans ces conditions, le physicien de la petite planète ne pourra jamais, par ce procédé optique, déceler le mouvement propre de sa planète. Au contraire, nos astronomes attendent de nouvelles _vérifications_, au sujet de la déviation des rayons venant d'une étoile et passant près du Soleil. Les premières vérifications paraissent satisfaisantes, mais il s'agit de nombres très petits, qu'on n'accroche pas aisément. Cela impose une grande prudence, qui n'est pas nécessairement scepticisme.

On ne parlerait plus de la gravité comme force attirante, on regarderait maintenant un corps, dans un champ de gravitation, comme libre, mais se mouvant dans un _continuum_ déformé par rapport à sa situation antérieure, en l'absence de tout champ de gravitation. L'existence d'une grosse masse solaire est synonyme de déformation du réseau des cellules et le champ solaire _crée_, _ipso facto_, la trajectoire de la planète, l'orbite curviligne du rayon lumineux, les déformations des instruments, de notre rétine. En un mot, tout, globalement, est déformé comme une masse gélatineuse et nous, habitants de la planète, restons _inconscients_ de cette défiguration intégrale. Un étranger éloigné, au contraire, verra ou mesurera ces déformations. On voit ce que signifie _l'indifférence du système de référence_: le système

de référence d'Einstein est un _mollusque_; telle est sa propre expression.

Pour que ce point de vue parfaitement nouveau, ne demeure pas un élan d'imagination stérile, sans valeur scientifique, il a fallu le transformer en un schème mathématique et Einstein y est arrivé, grâce à une imagination puissante, qui a su trouver, dans la géométrie de Gauss et de Riemann, un outil fondamental.

Tout champ de force sera analogue à un champ de gravitation; ce sera une _déformation des cellules_, que nous imaginons tissées par des araignées, pour marquer la mobilité, la fluidité essentielle du _continuum_ espace-temps.

Einstein met toute la Physique sur ce tissu léger, support de 4 variables x, y, z, it, ou de 4 autres variables, dans un autre repérage.

Ces 4 paramètres sont soumis à des opérations mathématiques savantes et il est indispensable, pour être exactement renseigné, d'être géomètre, et de l'être complètement.

Effort gigantesque, aujourd'hui espérance, plus que pleine réalisation: Notre admiration ne demande qu'à se muer en adhésion complète, mais il est peut-être prudent de repousser la grande tentation de faire, dès maintenant, un nouveau «Système du Monde».

Nous sommes des raccourcis d'atome, pour parler comme Pascal! Nos moyens sont limités, pour parler la langue précise de la science! Ayons conscience des bornes que l'on ne dépasse que par un dévergondage d'imagination.

CHAPITRE VIII

SUR QUELQUES RÉSULTATS DE LA RELATIVITÉ

La cause du succès de la Relativité, aussi bien dans le monde savant que dans le grand public, j'ai déjà eu l'occasion de le faire remarquer, a été la vérification réelle ou apparente des théories d'Einstein.

Un rayon lumineux venant d'une étoile et frôlant le Soleil doit décrire une trajectoire approximativement hyperbolique et c'est ce que l'on a pu constater. Notons que ce résultat s'explique qualitativement, tout au moins, dans l'hypothèse de l'émission. Est-ce à dire que la théorie newtonienne de la lumière est prête à ressusciter? Dans ce cas, il faudrait nécessairement la concilier avec l'hypothèse des ondulations qui, seule jusqu'ici, a pu rendre compte de la diffraction. Or, cette dernière est conforme à la théorie électro-magnétique de Maxwell qui s'incorpore à celle de la Relativité. De toute façon, l'éther, lui aussi, comme le Phénix, pourrait bien renaître de ses cendres.

Einstein a également prédit le déplacement vers le rouge, des raies du spectre solaire, par rapport à celles des sources terrestres[59], sous l'action du champ de gravitation provenant du Soleil. L'effet doit être extrêmement faible et les expérimentateurs, jusqu'ici, ne sont pas tombés d'accord; nous attendrons.

[59] V. Chap. précédent.

Enfin, la théorie de la Relativité généralisée fournit une formule rendant compte de l'avance du périhélie de Mercure. Cette avance est d'ailleurs assez mal déterminée et l'on admet pour elle une valeur d'environ 42″ d'arc. Einstein, par le calcul, trouve

42″,9: «On pourrait presque dire, écrit M. Picard à ce sujet, que ce résultat est trop satisfaisant, tant d'influences incomplètement analysées jusqu'ici devant s'exercer dans le voisinage du Soleil, si toutefois on considère le nombre de 42″ comme correspondant réellement aux observations»[60].

[60] E. PICARD: _La Théorie de la Relativité et ses applications à l'Astronomie_, p. 21 (Gauthier-Villars, Paris 1922).

La théorie de la Relativité généralisée montre en effet que le grand axe de l'ellipse décrite par les planètes n'est pas fixe, comme dans le cas newtonien du problème des deux corps et abstraction faite des perturbations provenant de la présence des autres planètes. Mercure seul peut servir à illustrer les vues d'Einstein; car pour les autres planètes l'avance du périhélie est très mal déterminée, en raison de la faible excentricité des orbites. Appliquée à Mars, la méthode ne réussit pas; mais, dans ce cas particulier, il peut exister d'autres sources de perturbations.

Aussi intéressants que soient ces résultats pris en bloc, il faut avouer qu'ils ne prouvent pas, d'une manière absolue, en faveur de la Relativité.

On sait que depuis longtemps, les savants ont essayé de mettre en accord la théorie électro-magnétique de Maxwell, vérifiée dans le monde des atomes, avec la loi de la gravitation qui n'est qu'approchée. Or, on peut donner pour cette dernière une formule empirique qui satisfasse aux conditions imposées. Mais, dans l'un et l'autre cas, nous ne savons en quoi consiste la nature de cette action particulière qui agit suivant les masses. Les formules d'Einstein ont l'avantage de rattacher cette force à un ensemble de principes; toutefois, nous ne sommes pas plus avancés

sur la cause intrinsèque de la gravitation: nous restons en présence d'un symbole inintelligible.

Mais ce qu'il y a de plus piquant dans l'affaire, c'est que tout récemment, M. Louis Maillard, professeur d'Astronomie à l'Université de Lausanne, a publié un Mémoire sur _Le mouvement quasi-newtonien et la gravitation_, où, en partant de principes cosmogoniques originaux, l'on retrouve, sans faire appel à la Relativité, tous les résultats déduits par Einstein, à grands frais de calculs, des principes de sa théorie[61]. Les nombres obtenus par M. Maillard sont surprenants; ils donnent, par exemple, les avances des périhélies pour toutes les planètes, ainsi que le montre le Tableau suivant:

[61] L. MAILLARD: _Cosmogonie et Gravitation_ (Gauthier-Villars, Paris, 1922).

Planètes Avance Avance calculée probable Mercure 43″,5 43″,4 Vénus 17″,4 17″ Terre 11″,6 11″ Mars 8″,2 8″ Saturne 40″ 40″

La nouvelle loi de gravitation s'applique aussi bien à l'électron qu'aux corps célestes: il y aurait donc un potentiel commun à l'Électricité et à l'Astronomie. La formule de M. Maillard explique en même temps l'accélération lunaire, qu'Einstein est impuissant à déduire de la Relativité.

Les autres conséquences sont aussi suggestives: Le Mémoire du savant professeur de Lausanne montre qu'il existe une aberration gravifique de même valeur que l'aberration lumineuse; qu'il n'y a plus d'incompatibilité entre la théorie de l'émission et celle des ondulations; les grains d'énergie sont émis constamment dans tous les sens par les charges électriques; un rayon lumineux

est dévié en passant près d'une masse pesante et la déviation est le double de ce qu'elle serait dans la théorie de l'émission; le déplacement des raies s'explique aussi aisément dans les théories classiques que dans celle de la Relativité; si bien que les trois résultats d'Einstein dépendent simplement du carré de l'aberration de la lumière. Mais les relativistes, par contre, ne peuvent appliquer leurs formules, ni à l'accélération du moyen mouvement de la Lune, ni à l'avance du périhélie de _toutes_ les planètes. Pour la Terre, Einstein a donné 4″ et non 11″,6, valeur exacte fournie par la formule Maillard; pour Mars, 1″,5 et non 8″, avance réelle.

Dans un autre ordre d'idées, les relativistes ont inféré de la déviation des rayons lumineux, que leur Univers--_continuum_ Espace-Temps à 4 dimensions--cessait d'être euclidien pour prendre une sorte de courbure près des masses pesantes où il deviendrait einsteinien. Encore un abus de langage qui n'a véritablement aucune signification. Un tel raisonnement nous conduirait, avec autant de raison, à émettre l'opinion que l'Univers est einsteinien dans notre atmosphère, puisque le rayon émané d'une étoile s'incurve en la traversant: c'est le phénomène de réfraction, connu et analysé depuis longtemps sans que personne n'ait eu l'idée d'en tirer une aussi grotesque conclusion. La ligne droite est le plus court chemin imaginable entre deux points de l'espace; de ce que le rayon lumineux se courbe comme la trajectoire d'un obus, cela ne prouve pas que le chemin parcouru par la lumière s'effectue dans un _continuum_ à 4 dimensions et qu'il nous faut appliquer la Géométrie de Riemann au monde dans lequel nous vivons. Décidément, la Métaphysique allemande ne brille ni par la simplicité, ni par la clarté, ni par la logique, et m'est avis qu'elle mettra quelque temps à s'imposer aux philosophes peu empressés d'abdiquer leur faculté de raisonnement.

* * * * *

J'ai eu l'occasion de dire, au chapitre V, que pour les Einsteiniens, la question d'un Univers infini ne se posait pas; le sujet, maintenant que nous avons en main toutes les pièces du procès, vaut la peine qu'on y revienne. Au reste, les divagations hilarantes auxquelles a donné lieu le problème, du point de vue relativiste, seront bien de nature à nous reposer de nos discussions parfois trop sévères.

Nous avons vu au chapitre VI que, pour des êtres infiniment plats déposés sur une sphère de grand diamètre, la notion de droite n'existerait pas telle que nous l'imaginons; pour nos sujets à deux dimensions, la droite serait, en fait, un arc de grand cercle dont le rayon de courbure échapperait à leur entendement; la question ne se poserait même pas. Or, en faisant le tour de leur habitat sphérique, nos êtres plats reviendraient, après un temps plus ou moins long, à leur point de départ: ils concluraient donc avec quelque apparence de logique que, non seulement une droite n'est pas illimitée, mais qu'elle est essentiellement finie et ils en déduiraient aussitôt que leur univers, lui aussi, ne saurait être infini. Et ici, remarquez-le, aucune discussion n'est possible; il y a une limitation de fait; même une possibilité d'espace plus grand ne saurait se poser.

Ces conclusions s'appliquent aux espaces courbes, sphérique ou elliptique, imaginés par les géomètres; dans ces espaces fictifs, les pseudo-droites deviennent des géodésiques jouissant de la propriété d'être le plus court chemin d'un point à un autre, si bien que la distance devient fonction du rayon de courbure. Comme l'espace à quatre dimensions, les genres d'espace dont nous parlons, relèvent de la Géométrie de Riemann; dès lors, le

continuum Espace-Temps de Minkowski rentre dans ces catégories.

Un événement temporel, ayant une existence successive dans le temps et dans l'espace, est caractérisé par sa _ligne d'univers_; celle-ci sera donc nécessairement courbe dans un monde à quatre dimensions.

Oh! il y a bien quelques exceptions, mais comme en grammaire, celles-ci confirment la règle. Dans ce que nous appelons le vide interstellaire, l'Espace-Temps est quasi-euclidien, du moins il en diffère infiniment peu; il ne prend de courbure prononcée que dans les régions voisines des masses pesantes, près des étoiles où il devient tordu, _einsteinien_: c'est la _pieuvre_ après le _mollusque_[62]; ces expressions ne sont pas heureuses au point de vue littéraire, mais il ne faut pas oublier que nous sommes en Allemagne.

[62] Ces expressions sont d'Einstein lui-même.

Ainsi raisonne Einstein; tout compte fait, cependant, l'Espace-Temps que nous habitons doit être beaucoup plus euclidien qu'autrefois, car, aujourd'hui, les vides interstellaires sont énormes et la matière--mettons pondérable--est prodigieusement agglomérée aux dépens de ces vides; d'où il suit que la condensation de la matière nébulaire a changé peu à peu la forme du _continuum_ représentant l'Univers; tout cela est du dernier grotesque!

Mais rien n'arrête les relativistes; en partant de la densité stellaire, on doit pouvoir trouver le rayon de notre Univers, puisque celui-ci est à peu près sphérique et limité: «La théorie, dit gravement Einstein, fournit même une relation simple entre l'étendue

du monde dans l'espace et la densité moyenne de la matière[63].»

[63] Cf. _Théorie de la Relativité_, _op. j. cit._, p. 200.

Mais, et c'est ici que notre bon La Fontaine reprend ses droits, il ne reste plus qu'à «attacher le grelot». Nous nous débattons en plein inconnu et les savants qui, à la suite d'Einstein, ont fourni au public des chiffres même approximatifs, déduits de la densité stellaire, sont avant tout, je pense, des poètes ou des rêveurs; l'âme slave et la mentalité allemande se plaisent, paraît-il, à ce genre d'exercice; je veux bien le croire, mais ce qui est plus lamentable, c'est de voir chez nous quelques esprits--assez rares heureusement--tomber dans ce piège grossier et émettre la prétention, au nom de l'Astronomie, d'imposer à leurs lecteurs béats, la croyance en de pareilles fadaises.

A l'heure actuelle, nos mesures, hélas! ne peuvent rien nous dire sur l'étendue de l'Univers même accessible à nos instruments. Je pourrais me contenter ici de cette simple affirmation, mais certains auteurs ont répandu à ce sujet de telles assertions qu'il est bon de mettre les choses au point; il ne s'agit pas en effet d'écrire l'Astronomie à la façon d'un roman à la Wells ou à la Jules Verne.

Que savons-nous de positif sur l'étendue de l'Univers visible? Au XVIIIe siècle, avec sir William Herschel, les astronomes n'étaient pas éloignés de croire qu'en dehors de la Voie lactée, à laquelle nous appartenons, se trouvaient d'autres Univers, représentés par les nébuleuses: c'était la théorie des Univers-Iles qui régna en maîtresse pendant une cinquantaine d'années. Mais bientôt on s'aperçut que ces nébuleuses, enregistrées maintenant

par millions, ont une distribution géographique en rapport avec la Voie lactée; ces objets sont distribués aux pôles de la Galaxie[64]; ils offrent donc un degré de parenté avec elle. Les amas stellaires, par contre, feraient partie de la Voie lactée et n'en seraient pour ainsi dire que des îlots annexes.

[64] Galaxie, terme astronomique synonyme de Voie lactée.

Le mystère sembla même s'élucider, lorsque des mesures grossières et à peine approximatives montrèrent que plusieurs nébuleuses parmi les plus belles, étaient à des distances moindres que les plus lointaines étoiles de la Voie lactée.

Or, il y a quelque vingt ans, on admettait encore, avec Newcomb et quelques autres, que le plus grand diamètre de la Galaxie était au maximum de 14 000 années-lumière.

Notre soleil occupant une position quasi-centrale, les étoiles faibles de la Voie lactée étaient encore à 8 000 années-lumière environ; mais de nouvelles méthodes d'appréciation des distances stellaires, surgies en ces derniers temps, ont montré qu'il fallait de beaucoup majorer nos premiers chiffres. Shapley a mesuré des amas stellaires situés au bord de la Voie lactée en des régions extrêmes et qui ne mettent pas moins de 220 000 ans à nous envoyer leur lumière.

De la discussion de toutes les observations, il ressort que notre Voie lactée est fort bien représentée par un large ellipsoïde aplati, sorte de lentille biconvexe dont le diamètre mesurerait 300 000 années-lumière, avec une épaisseur environ 10 fois moindre. Notre Soleil se trouve à très peu près dans le plan équatorial de la lentille, mais à 60 000 années-lumière de son centre.

Quant aux nébuleuses spirales, on a bien essayé à leur sujet de ressusciter la vieille théorie des Univers-Iles, mais jusqu'ici les mesures effectuées au Mont-Wilson avec les plus grands instruments du monde, n'ont pas confirmé cette hypothèse. Tout, à l'heure actuelle, nous porte à croire que ces nébuleuses font partie intégrante de notre Univers: Celui-ci nous apparaîtrait donc comme un ensemble grossièrement sphérique dont les régions équatoriales seraient peuplées d'étoiles (Voie lactée) alors que les pôles de l'immense formation seraient occupés par les nébuleuses (fig. 13).

Quoiqu'il en soit--car nos mesures comportent encore bien des incertitudes--que les nébuleuses fassent partie intégrante de notre Univers, ou bien qu'elles nous apparaissent comme des répliques lointaines de notre Voie lactée, nous n'avons encore pas le droit de dire que nos investigations ont porté sur des objets situés à des millions d'années-lumière[65].

[65] La discussion des différentes mesures a été exposée dans mon article: _Connaissons-nous le Plan de l'Univers_, Rev. des Quest. janv. 1921 et dans _Où en est l'Astronomie_, _j. cit._, derniers chapitres.

[Illustration: Fig. 13.--Plan de notre Univers d'après les conceptions modernes.]

Or, d'après la théorie d'Einstein interprétée par lui-même ou par d'autres relativistes tels que de Sitter, une grossière évaluation des dimensions de l'Univers, en partant d'une certaine densité stellaire, tendrait à faire croire qu'un rayon lumineux émané du Soleil mettrait environ 1 000 millions d'années à faire le tour du monde matériel, ce qui donnerait à peu près pour le diamètre

de l'Univers, 300 millions d'années-lumière, c'est-à-dire une valeur 1 000 fois plus grande que celle du diamètre de la Voie lactée, _d'après les mesures les plus récentes_.

Sur ce point d'ailleurs, les vues des relativistes sont fort vagues; en tout cas, personne n'a le droit d'affirmer, comme on l'a fait récemment, que les observations astronomiques concernant l'étendue du Système galactique et de ses annexes, corroborent la théorie de la Relativité.

* * * * *

Il y a mieux: sur la forme même de l'Univers, les relativistes ne s'entendent plus; pour Einstein, le monde serait cylindrique maintenant «et c'est là une nouvelle inattendue quand on songe, dit M. G. Moch, à l'assurance avec laquelle cette hypothèse (celle du monde sphérique) est encore présentée dans les tirages postérieurs à la brochure d'Einstein»[66]. Pour de Sitter, l'Univers est sphérique dans ses dimensions spatiales, si l'on emploie un temps réel, mais dans les deux sens de l'axe des temps, il est ouvert comme un hyperboloïde. «Cela nous épargne heureusement la nécessité de supposer que, tout en avançant dans le temps, nous retournions à l'instant d'où nous venons! L'Histoire ne se répète jamais. Mais quant aux dimensions de l'espace, si nous poursuivons notre route, nous sommes ramenés à notre point de départ»[67].

[66] V. G. MOCH: _La relativité des phénomènes_, p. 286. Ici, l'auteur fait allusion au livre de M. Eddington daté du 1er mai 1920 et qui contient la nouvelle hypothèse d'Einstein sur un Univers cylindrique.

[67] EDDINGTON, _op. j. cit._, p. 159.

Cette conséquence, Einstein l'admet: des rayons issus du Soleil doivent forcément converger, puisqu'ils sont courbes; «le foyer de convergence aurait tous les caractères d'un vrai Soleil, en ce qui concerne la lumière et la chaleur, mais il ne s'y trouverait aucun corps substantiel. Ainsi nous pourrions voir une série de fantômes du Soleil, correspondant aux positions où il était il y a un, deux, trois, etc... milliards d'années, si, comme il est probable, il brille depuis aussi longtemps».

«Il est assez amusant de penser que les différents phénomènes de l'Univers sidéral peuvent laisser, là où ils ont eu lieu, des empreintes qui se reproduisent périodiquement... peut-être aussi n'y a-t-il qu'une certaine proportion d'étoiles matérielles, les autres n'étant que des revenants optiques qui viennent hanter leurs anciennes demeures.»

Toutefois, après s'être amusé de ces puérilités, Eddington, qui les rapporte, émet l'idée que certaines causes ignorées pourraient bien empêcher de tels résultats...!!

J'arrête ici ces citations; j'ai voulu simplement donner à mes lecteurs un avant-goût de ce qui les attend, s'ils ont, comme moi, le courage de parcourir les élucubrations des relativistes. N'est-ce pas le cas, bien que le sujet soit différent, de dire avec H. Poincaré, qui ne dédaignait pas parfois un langage familier pour traduire toute sa pensée: «Tout cela c'est de la bouillie pour les chats»... et tout cela prouve ce qu'avançait déjà le savant Newcomb, lorsqu'il parlait du pays féerique de la Géométrie: «C'est là, disait-il, que le mathématicien se divertit au point de laisser supposer au profane qu'il s'agit moins en la circonstance, d'une série enchaînée de démonstrations rigoureuses que du vol capricieux d'une imagination en délire[68].» Passe encore lorsque le

Géomètre ne quitte pas son domaine, mais dès qu'il franchit cette limite, l'exercice devient dangereux et telle est cependant la voie où l'on engage depuis quelque temps la Physique moderne: «Toute schématique, elle ne pense nullement, disait Duhem, à passer derrière nos perceptions pour voir ce qu'il y a, mais elle cherche à les représenter par des symboles empruntés à la Géométrie ou à la science des nombres qu'elle connaît seule ensuite[69].»

[68] S. NEWCOMB: _Philosophie de l'Hyperespace_, trad. par l'Abbé MOREUX, _Cosmos_, 30 sept. 1899.

[69] Cf. P. DUHEM: _Le mixte et la combinaison chimique_.

On dirait que ces lignes ont été écrites pour les relativistes qui font profession de ne connaître que leurs formules et qui pensent avoir tout expliqué lorsqu'ils parlent de grandeurs scalaires, de vecteurs, de tenseurs, de champs de forces et autres quantités toujours muettes sur la nature des choses.

* * * * *

Mais voici qui est plus singulier encore: nous voyons actuellement certains savants qui, dédaigneux des enseignements d'une saine philosophie, professaient autrefois l'infinité de l'Univers au nom de la Science, passer dans le camp adverse et soutenir, au nom de la Relativité, la thèse diamétralement opposée; or, ce sont ces mêmes esprits qui s'élevaient naguère contre les philosophes d'antan inféodés aux théories d'Aristote; en vérité, le «_Magister dixit_» n'a jamais autant régné que de nos jours; Einstein remplace le Stagyrite![70].

[70] Notons en passant que la conclusion des relativistes au sujet de la non-infinité de l'Univers, était connue depuis longtemps. Einstein, là encore, n'a rien inventé. Voyez à ce sujet le livre de LECHALAS _sur l'Espace et le Temps_, p. 188 (Alcan, Paris, 1910).

N'est-ce pas que l'histoire de la Science est bien amusante!

* * * * *

J'ai affirmé à différentes reprises, au cours des chapitres précédents, que nous ne connaissions peut-être pas _tous_ les rapports d'action qu'échangent entre elles les dernières particules matérielles et que c'est dans le monde atomique, sans doute, qu'il faut chercher la quatrième dimension de l'espace, si elle existe.

Notez qu'ici je ne parle plus d'une quatrième dimension analogue à celle que Minkowski a voulu accoler à notre espace; le Temps, quoi qu'on fasse, ne se ramènera jamais à l'étendue phénoménale; il s'agit d'une quatrième variable de notre espace, quelque chose comme une coordonnée qui relierait entre eux les électrons ou des parties plus petites encore, auquel cas cette quatrième dimension échapperait à notre vision, mais pourrait s'imposer à notre entendement.

J'ai développé ces idées, dans mon livre sur la Mort, au chapitre VIII intitulé: _Suggestions_; je n'ai pas changé d'avis depuis, même après avoir étudié la Relativité; aussi demanderai-je au lecteur la permission de résumer ici les passages essentiels du volume dont la première édition remonte à 1913.

Plus notre science avance dans l'étude de l'atome et plus il devient évident que nous sommes impuissants à nous représenter

ce qui se passe dans ce monde échappant à notre vision directe.

Dès que les chimistes eurent inventé les formules dites de constitution, où la _valence_ devient tangible, on s'aperçut que les atomes ne s'assemblent pas suivant des surfaces planes, mais suivant des volumes de l'espace. C'est ce que fit remarquer Van t' Hoff, dès 1877, à propos du carbone tétravalent (fig. 14).

[Illustration: Fig. 14.--Représentation schématique d'un atome tétraédrique de carbone.]

L'atome de cette substance resta un centre d'attraction, un chef de groupe, mais au lieu de s'aligner sur un même plan, les atomes monovalents occupèrent les sommets d'une pyramide à quatre faces (tétraèdre).

Cette théorie du carbone tétraédrique devait être le point de départ de la Stéréochimie dont les succès ne se comptent plus. Elle permit d'expliquer comment des combinaisons chimiques peuvent être les mêmes quantitativement tout en différant qualitativement. Certains atomes peuvent en effet occuper des positions symétriques; or l'on sait que dans la «Géométrie de l'espace» les volumes symétriques ne sont pas généralement superposables, pas plus que vous ne sauriez superposer un gant de votre main droite à celui de votre main gauche.

De semblables corps formés d'un même nombre d'atomes identiques assemblés différemment, ayant par conséquent mêmes formules brutes, ont été appelés _isomères_. Ce triomphe de la théorie ne devait pas durer longtemps.

A mesure que les faits s'accumulaient, les partisans les plus convaincus de l'efficacité de la nouvelle méthode, durent s'avouer

que même le développement des formules dans notre espace à trois dimensions, était impuissant à fournir une explication de tous les cas d'isomérie nettement constatés[71]. A l'heure actuelle, les nouveaux schémas sont loin de tout prévoir, si bien que «la Stéréochimie, a pu dire M. Freundler, est actuellement arrivée à un point où, d'une part, elle a donné tout ce qu'elle pouvait donner, et où, d'autre part, ses imperfections de jour en jour plus apparentes nécessitent sa transformation complète[72].»

[71] Le nombre des combinaisons du carbone dépasse actuellement 100 000 et s'augmente de plusieurs milliers chaque année.

[72] Cf. P. FREUNDLER, _La Stéréochimie_, collection Scientia, Paris, Gauthier-Villars.

Il n'est pas jusqu'au domaine où la Stéréochimie a connu les plus beaux triomphes, celui des isoméries optiques, où l'on ne puisse voir déjà les premiers symptômes de décrépitude, précurseurs de la faillite finale.

Que dire alors de la stéréochimie de l'azote quintivalent et de certains métaux, où, en dépit des beaux travaux de Werner, il resterait encore plus à faire pour concilier les prévisions schématiques avec les résultats expérimentaux?

Les chimistes sont donc forcément amenés à n'user de toutes ces figures planes ou à trois dimensions, que comme des systèmes de notation commodes, sortes de procédés graphiques, schémas ou symboles.

En aucune façon, ils ne peuvent avoir la prétention de nous donner ainsi l'idée de la vraie structure de la molécule.

Ainsi, toutes nos données sensibles se trouvent mises en déroute dès que nous sortons du champ grossier de l'observation; bien mieux, nous commençons maintenant à comprendre que nos lois géométriques de l'espace, déduites de l'étendue, telle que nos sens nous la laissent imaginer, qui nous suffisent par conséquent pour guider notre expérience journalière et commune, cessent d'être vraies dès que nous voulons dépasser les limites assignées à notre sensibilité.

Lorsque nous considérons la particule ultime, nous n'avons pas davantage le droit de parler d'étendue que de lui prêter les qualités inhérentes à des groupements complexes et moléculaires. Éclat, couleur, dureté, mollesse, densité, malléabilité, flexibilité, élasticité, dilatabilité, sonorité, ténacité, fragilité, beauté, laideur, autant de mots qui n'ont aucun sens si nous les appliquons au dernier élément de la matière.

A plus forte raison n'avons-nous aucun droit de supposer que les particules doivent se grouper, c'est-à-dire en fin de compte, agir réciproquement les unes sur les autres, suivant les lois spatiales tridimensionnelles que notre sensibilité nous a suggérées, que nous avons formulées au moyen des abstractions de notre esprit agissant sur les données fournies par le toucher ou par la vue.

Voilà ce à quoi conduit le raisonnement; or, il est vraiment curieux de constater que toutes les difficultés de la chimie moléculaire s'aplanissent dès qu'on introduit dans les formules de structure une quatrième coordonnée d'espace.

Ainsi, l'Hyperespace nous fournirait l'explication du réel, mais du même coup s'évanouit pour le physicien l'espoir d'arriver ja-

mais à une représentation mécanique et sensible de l'Univers.

Ces conclusions n'ont rien d'extraordinaire, à la vérité, si l'on veut bien réfléchir à ce fait que certaines réactions chimiques doivent se passer au sein même de ce petit monde complexe qu'est l'atome, auquel cas, nous l'avons déjà montré, notre Géométrie euclidienne s'était avouée impuissante à nous fournir une représentation sensible des phénomènes.

Voilà donc l'Hyperespace, simple hypothèse au début, qui fait son entrée triomphale dans la Physique et la Chimie, par le monde des atomes.

On a essayé de la même méthode pour résoudre les difficultés mécaniques soulevées par la nature de l'éther dont les particules transmettraient cette force mystérieuse nommée gravitation. En fait, les explications auxquelles le procédé a conduit, sont beaucoup plus intéressantes que celles des relativistes inlassablement cantonnés dans leurs formules. Je vais essayer de donner au lecteur une idée de la façon dont on utiliserait, dans ce cas, la notion d'Hyperespace.

Sur un mur vertical bien plan, dessinons des disques de différentes grandeurs; les uns représenteront des planètes, les autres des soleils. Choisissons une planète, qui sera la Terre je suppose, et sur son contour (circonférence du disque) imaginons des êtres-surfaces, comme dans le chapitre VI, avec une épaisseur excessivement faible.

Bien que ces êtres se meuvent autour du disque vertical, nous pouvons supposer qu'ils y sont retenus, appliqués pour ainsi dire, par une force s'exerçant latéralement, donc dans une troisième dimension, et ils n'en ont aucune idée. Mais si le centre du disque

les attire, ils concevront une force analogue à celle de la pesanteur. Les plus habiles arriveront à égratigner le pourtour de leur disque et à y creuser des puits; d'autres se décolleront de la circonférence et parviendront à s'élever dans l'air comme nos aviateurs. Imaginons encore un fluide analogue à nos gaz et s'étendant suivant une faible épaisseur sur toute la surface du mur: les physiciens de ce monde à deux dimensions concevront parfaitement l'idée de cette sorte de milieu bizarre qui transmet les radiations des astres, qui est un support d'énergie à la fois souple et résistant, mais ils seront totalement impuissants à expliquer comment un tel milieu pénètre tous les corps et les baigne en quelque sorte; comment, par exemple, la chaleur de leur soleil, qui n'est qu'une ligne pour eux, ne trouve pas un obstacle insurmontable en rencontrant cette autre ligne qui forme la limite de leur corps, mais les enveloppe entièrement, mettant ainsi en défaut les principes les plus sûrs de leur Physique mathématique déduite de leur Géométrie à deux dimensions.

De même, dans notre monde à trois dimensions, nous ne comprenons pas comment les actions de l'éther ne se transmettent pas suivant les lois de notre Mécanique classique; alors qu'elles devraient tenir compte des surfaces, elles s'exercent par rapport aux masses; elles agissent donc comme si tous les corps étaient transparents, pour ainsi dire, par rapport à elles, pénétrant jusqu'au sein de la matière et n'étant jamais arrêtées par les substances les plus compactes.

Qui ne voit ici l'analogie et qu'il suffit pour tout expliquer d'admettre que la force de la gravitation s'exerce suivant une quatrième direction de l'espace?

Nous n'aurions rien changé aux conditions de l'exemple précédent, si nous avions installé nos disques (soleils et planètes) sur une surface courbe appartenant à une sphère d'un diamètre immense et si nous en avions rempli l'intérieur d'une sorte de fluide transmettant toutes les vibrations. Nos êtres à deux dimensions auraient évolué, cette fois, sans le savoir, sur un monde volume à trois dimensions dont ils auraient été la surface limitante.

De même pouvons-nous dire, notre espace à trois dimensions, ainsi que le démontre la Métagéométrie[73], pourrait être la surface limitante d'un espace éthéré à quatre dimensions, monde matériel comme le nôtre, mais que nous ne connaîtrons jamais au moyen de nos sens actuels. Si telle était notre condition, si un tel monde hyperspatial servait de support au nôtre, l'éther nous pénétrerait par la quatrième dimension. Ainsi s'expliquerait ce fait étrange, quoique réel, que l'éther puisse se trouver en contact avec toutes les parties de nos corps.

[73] Cf. E. JOUFFRET, _op. cit._, p. 214 et Chap. II.

CHAPITRE IX

QU'EST-CE QUE LE TEMPS?

La difficulté qu'on éprouve à définir le Temps ne date pas précisément de l'ère relativiste; les philosophes de l'antiquité l'avaient fort bien remarquée et Zénon n'a pas manqué de mettre à profit l'obscurité entourant le mystère de cette notion primordiale; ses arguments sont des sophismes, tout le monde est d'ac-

cord sur ce point, et cependant je ne connais aucun philosophe du Moyen-Age qui les ait réfutés d'une façon péremptoire. C'est qu'en fait la Métaphysique, ainsi que le veut son étymologie, doit s'appuyer sur la Physique, science de l'observation et des phénomènes, et, jusqu'à ce jour, les physiciens eux-mêmes, nous avons déjà insisté sur ce point, avaient transporté dans le monde phénoménal les idées des mathématiciens sur le continu.

De là cette opposition toujours renaissante entre les faits et nos abstractions: l'espace, généralisation de l'étendue, peut être continu, du moins le croyons-nous tel sans contradiction; pure illusion! La continuité n'existe pas et cela suffit à expliquer toutes les antinomies.

En serait-il de même pour le Temps? C'est ce que nous allons voir. Essayons tout d'abord d'atteindre le fond même du sujet; la tâche est plus malaisée qu'on serait porté à le croire, à première vue: «Qu'est-ce donc que le Temps? dit saint Augustin, dans ses _Confessions_; si nul ne me le demande, je le sais; mais si je veux l'expliquer à qui me pose la question, je ne le sais pas[74].» Et cependant l'idée de temps préside à toutes nos constructions logiques; elle est la base même du principe de contradiction: celui-ci nous enseigne en effet qu'il y a impossibilité pour une chose d'_être_ et de _ne pas être_ en même temps. Ainsi, l'être et le non-être ne sont contradictoires pour une même chose que si nous introduisons la _simultanéité_ dans l'affaire, c'est-à-dire le _même temps_; donc le principe de contradiction suppose le temps[75].

[74] Cf. au livre II, chap. XIV.

[75] Voici le principe de contradiction auquel sont subordonnés tous les autres: «Il est impossible qu'une même chose soit et ne soit pas en même temps et sous le même rapport.»

On n'explique rien encore en disant que le temps implique succession; _succession_ sous-entend des choses qui se succèdent, un _avant_ et un _après_; donc on présuppose le Temps, c'est-à-dire la durée. Durer, c'est _continuer_ d'être, et il n'y a pas de durée sans des choses qui durent, qui se succèdent; d'où il suit que le Temps n'est rien en dehors des choses et cependant il est objet de science, puisque nous le mesurons par le mouvement.

Le mouvement nous révèlerait-il donc l'essence du temps? Voyons les choses de plus près. Nous mesurons le temps par le mouvement, par une horloge, je suppose; mais celle-ci, qui la règle? L'astronome au moyen de la rotation de la Terre; mais vous supposez donc que la Terre possède une rotation uniforme. Qui nous avertira, au cas où la non-uniformité disparaîtrait ou même n'existerait pas?

J'entends bien que nous pouvons choisir un autre phénomène physique, mais la même question angoissante reviendra toujours; si le temps est la mesure du mouvement, le phénomène peut s'accélérer et le temps restera le même. Or du fait que nous concevons une accélération possible, c'est que nous rapportons la vitesse à un certain temps indépendant de nos mesures, à un temps que nous concevons comme absolu et qui règle les mouvements et les vitesses.

Les relativistes paraissent échapper à cette nécessité, mais c'est pure illusion; sans s'en douter, ils réintroduisent par leur

postulat, la notion du temps absolu, dont ils veulent s'affranchir.

--Le temps, disaient les anciens philosophes, est la mesure du mouvement, et le mouvement se mesure par le temps; voilà qui ressemble fort à un cercle vicieux dont on ne sait comment sortir.

--Le temps est relatif, disent les Einsteiniens.

--Très bien; mais il faut cependant le mesurer; or, pour vous, l'unité de mesure sera la distance parcourue par la lumière et qui est constante dans une même durée, et nous voilà revenus à notre cercle vicieux de tout à l'heure.

--Pardon, nous répondront-ils; nous ne définissons que la simultanéité, simplement, c'est-à-dire le même instant.

--Oui, et ce faisant, vous pensez avoir défini le temps; erreur, encore! Toute durée apparaît comme divisible; elle semble faite d'éléments infiniment petits qui se succèdent et dont l'un n'est pas l'autre. Pour concevoir un temps existant, il faut le saisir en un instant divisible et actuel, mais alors cet instant seul n'est plus le Temps, puisque _seul_, il n'implique aucune _succession_, ni _avant_, ni _après_.

Ainsi, à y regarder de très près, les relativistes ont commencé par introduire dans leurs formules, et implicitement, un paramètre absolu, la vieille notion du Temps qui semble disparaître ensuite, grâce à des conventions: simultanéité optique, temps local de Lorentz, etc...

Ils ont, penserez-vous, rendu un grand service à la science et à la mesure du temps, en montrant que celui-ci est toujours relatif; soit, nous verrons dans quelques instants ce qui reste de cette opinion; en attendant, continuons notre enquête sur le Temps.

De même que l'Espace n'est rien en dehors des choses matérielles qui forment l'étendue phénoménale, le Temps n'est rien en dehors des choses qui durent; mais alors que l'espace suppose des parties coexistantes, une multiplicité actualisée, le temps peut être conçu à propos d'un même être non étendu; ici, plus de coexistence nécessaire. Un seul être qui change et voilà le temps introduit dans la nature.

Ainsi, la durée n'implique pas essentiellement le mouvement, à moins que ce mot soit synonyme de changement. Mon esprit conçoit le temps par le fait même qu'il a conscience des états différents qui l'affectent: je pense, je veux, j'aime, je hais; je veux une chose, ma volonté est sous quelque rapport; je ne veux plus la même chose, ma volonté est changée; il y a donc un mode d'être qui disparaît pour faire place à un autre mode différent; je dirai qu'un _être_ a succédé au _non-être_: destruction de l'un, apparition de l'autre, voilà la succession, et là où est la succession se trouve toujours le changement.

La théorie s'applique aussi bien au monde matériel: considérons une série de particules élémentaires B, C, D, E, F, G, et une septième particule A agissant sur B sans agir sur C contiguë elle-même à B (fig. 15). Son action sur B cesse et A agit sur C, puis sur D, etc... j'ai l'idée de mouvement matériel; les actions passent du non-être à l'être et s'offrent à mon esprit sous une forme nouvelle que j'intitule succession.

[Illustration: Fig. 15.]

La substance peut demeurer telle dans son essence, n'être pas détruite, mais se modifier, apparaître sous des modes divers; ces modes impliquent succession s'ils _s'excluent_ les uns les autres;

nous reviendrons d'ailleurs sur ce dernier point; en attendant, concluons que le temps dans les choses est la succession des choses mêmes, leur être et leur non-être. Le temps pour l'entendement, c'est la _perception_ de ce changement, de cet être et de ce non-être.

Cette définition du temps «prouve qu'il n'est point absolu. Ce temps dans les choses, n'est pas l'être seul ou le non-être seul, mais le _rapport_ de l'être et du non-être. Le temps dans l'entendement est la perception de ce rapport.

«Mesure du temps: comparaison des changements entre eux; si le ciel et le système terrestre tout entier accéléraient leur mouvement, de telle sorte toutefois que le mouvement de nos idées restât le même, dans cette supposition, nous apercevrions un changement que nous ne saurions à quoi attribuer... _dans le cas contraire_, il nous serait impossible d'apercevoir le changement...

«Une preuve que le temps n'a rien d'absolu, c'est l'impossibilité où nous sommes de distinguer, à moins d'être aidés par une horloge ou toute autre mesure, s'il s'est écoulé 11 heures 1/2 ou 12 heures dans un temps donné. L'homme isolé en lui-même perdrait toute mesure du temps; donc l'idée de cette mesure est essentiellement relative. Perception de rapports entre divers changements; ces rapports restant les mêmes, le temps pour nous ne changera point[76].»

[76] Cf. BALMÈS: _Philos. fondam._; Liv. VII, chapitre V.

Et qui donc a pu écrire ces lignes? Ne reconnaissez-vous pas là les idées d'un Poincaré, ou d'un Lorentz ou d'Einstein, en un mot celles d'un relativiste moderne?--Point: tout ce passage est d'un

philosophe, de Jacques Balmès qui raisonnait ainsi il y a près de soixante-dix ans! Les relativistes n'ont donc rien inventé, au fond, de bien sensationnel. Quand on songe que la théorie de la relativité appliquée au temps a été présentée au public comme une véritable révolution, on ne peut que déplorer l'outrecuidance de certains savants qui méconnaissent à ce point l'histoire de la pensée humaine ou de la philosophie et l'ignorance de ce même public toujours prêt à applaudir les nouvelles idoles qu'on lui présente.

Au point de vue strictement scientifique, je ne me lasserai pas de le répéter, la nécessité d'introduire, dans certaines équations de la Physique, un _temps local_ a été envisagée par Lorentz bien avant Einstein; la théorie semble jusqu'ici cadrer assez bien avec les faits, pour ce qui concerne les grandes vitesses, mais il ne faut jamais oublier que même la doctrine de la relativité restreinte, la mieux assise, repose sur des postulats invérifiables et sur des conventions purement formelles; au point de vue philosophique, nous ne sommes pas plus avancés; bien mieux, le _temps_ que nous avons employé jusqu'ici en Mécanique, n'est pas plus absolu que celui de Lorentz: l'un et l'autre sont relatifs et conventionnels.

Quant à la Relativité généralisée, elle n'est qu'une construction artificielle dont la base n'a aucune valeur même dans l'ordre expérimental, puisqu'elle repose sur une conception fausse du Temps.

Comment en effet se rallier aux idées de Minkowski qui n'a pas hésité à faire du _temps_ une quatrième dimension du monde matériel, sans renier toute logique.

Concevoir un _espace_ sans coexistence de ses parties, c'est détruire son essence: une étendue sans particules matérielles échangeant des rapports est quelque chose d'inconcevable. L'analogie de continuité, apparente entre le Temps et l'Espace, ne saurait suffire pour identifier ces deux entités; dans le Temps, en effet, plus de coexistence; les parties ne sont plus présentes, mais successives; les imaginer coexistantes, c'est détruire l'essence du temps; on voit l'essentielle différence.

L'espace ne peut s'appliquer qu'au monde matériel; le temps, par contre, s'étend à tout ce qui est successif et notre pensée n'y échappe point; l'idée d'espace est purement géométrique, celle de temps se mêle à tous nos actes, à nos pensées comme à nos volitions. En tant que force substantielle et consciente, notre esprit peut se concevoir indépendant de l'espace; mais en tant que fini, contingent, sujet au mieux être, donc, au changement, l'esprit ne saurait faire abstraction du temps; seul l'Etre infini, nécessaire, s'enveloppe dans son immutabilité; pour Lui, le temps est un non-sens, une contradiction, le temps ne peut l'atteindre; Lui seul possède la véritable éternité.

Nous voilà loin de cette éternité dont parlait M. Langevin à propos d'Einstein! Celle-là échappe aux relativistes qui ne peuvent s'élever plus haut que leur pauvre définition de la simultanéité optique.

Quant à la «lueur projetée sur le mystère des choses» par l'idée simpliste d'associer le temps aux trois dimensions spatiales, il faut craindre, après ce que nous venons de voir, qu'elle soit bien falote; en fait, le procédé ne peut nous donner que des résultats numériques: _continuum_ espace-temps, lignes d'univers, champs de gravitation, tenseurs, pieuvres et mollusques de

référence, espaces einsteiniens, autant de symboles dissimulant sous une phraséologie creuse, la pauvreté des explications sur la nature des forces mystérieuses en action dans l'Univers.

A tout prendre, aux expressions alambiquées des relativistes, je préfère l'humilité d'un Newton découvrant la gravitation universelle et nous avouant en toute simplicité que «les choses se passent comme si les corps s'attiraient en raison directe des masses, etc...»

Ainsi, que nous soyons Einsteiniens ou Newtoniens, même quand nous posons en principe un temps tout relatif à la manière des philosophes, nous restons dupes des mots que nous employons, car dans notre esprit nous concevons un _temps absolu_ auquel nous rapportons tous nos _temps_, quels qu'ils soient. Malgré nous, nous imaginons une sorte de temps vide, immuable, qui sert à mesurer la durée des choses; la mesure du temps nous apparaît seule relative, le reste nous semble absolu; une heure pour nous est une heure indépendamment de la montre qui peut ne pas la marquer exactement.

De même, nous n'avons pas confondu la mesure de l'espace avec l'espace lui-même et quoi que nous fassions, notre esprit imagine l'espace comme un récipient vide où le Créateur peut déposer toute matière actuelle ou possible.

Le mystère nous a finalement semblé se dissiper après l'étude rationnelle de l'espace et nous avons conclu qu'en vertu de la non-continuité, il nous est impossible maintenant de confondre l'espace avec la mesure d'espace; c'est celle-ci seule qui est relative; il existe une _unité absolue_ d'espace, et le fait que nous sommes encore impuissants à la déterminer, n'implique pas sa

non-existence. Bref, l'introduction de la notion de discontinuité ou de multiplicité dans l'analyse de nos idées d'espace, a suffi pour faire disparaître toutes les antinomies.

Une étude plus approfondie du Temps pourrait bien nous amener à des conclusions analogues et jeter quelque lumière nouvelle sur un sujet qui divise encore philosophes et physiciens.

* * * * *

Le Temps, avons-nous dit, _objectivement_, est la succession des choses mêmes, leur être et leur non-être; appliqué à _une_ substance qui dure, le temps sera la succession de ses modifications; mais si nous avons ainsi fait un pas en avant dans l'analyse du temps, ce dernier n'est pas encore défini, car une bonne définition ne doit jamais renfermer le terme à définir. Or, ici, le mot _succession_, même, implique le temps; pour se succéder, il faut un _avant_ et un _après_; le temps préexiste donc à la succession.

Que si je constate que l'être vient après le non-être et le remplace, le mot _après_ que j'introduis, m'annonce encore que je ne me suis pas débarrassé de la notion de _temps_ et que tout est à recommencer.

Peut-être serons-nous plus heureux en cherchant du côté subjectif. Pour notre entendement, le temps est la perception du rapport de l'être et du non-être dans les choses, idée forcément abstraite, idée pure comme celle d'infini et d'espace, et qui nous explique pourquoi sous cette forme, le temps, comme l'espace, peut nous apparaître tout relatif, parce que forcément indéterminé; mais cette généralisation même est féconde et c'est par elle que

nous entrevoyons la vraie définition de la succession, seul point embarrassant.

Lorsque je dis que le temps est la perception du rapport entre l'être et le non-être dans les choses, je ne pose pas nécessairement la succession; être et non-être n'excluent point la simultanéité dans des choses distinctes; de même pour un objet unique, ils ne sont contradictoires que s'ils sont rapportés à un même temps. Le dernier cas seul est intéressant ici, car il montre que le principe de contradiction et la nature du temps sont liés l'un à l'autre et s'expliquent l'un par l'autre ou, pour tout dire en un mot, ne sont l'un et l'autre que le même principe sous des termes différents.

Voici deux changements affectant un même objet: si ces deux modes s'excluent l'un l'autre, en ce sens que la non-existence de l'un paraisse la condition de l'existence de l'autre, auquel cas je ne pourrai les apercevoir ensemble, ce qui serait contradictoire, je dirai que ces deux changements se sont succédé. Ainsi, la contradiction cesse par le fait que les deux phénomènes--opposés par essence--n'apparaissent pas _ensemble_; c'est le mot _ensemble_ qui indiquerait la simultanéité et c'est l'aperception de ces phénomènes distincts, mais _exclusifs_, qui forme la succession.

Voilà pourquoi on a pu dire avec quelque raison, qu'en un certain sens, la succession était la contradiction réalisée.

Considérons maintenant notre particule A de tout à l'heure échangeant des rapports d'action avec B, C, D, etc... Dès lors que ces rapports n'apparaissent pas tous à la fois à ma conscience et qu'ils s'excluent les uns les autres pour venir chacun à l'existence,

je conclurai qu'il y a mouvement dans l'Espace et succession dans le Temps (v. fig. 15).

Ainsi, toute variation implique exclusion et par là même succession; percevoir des exclusions réalisées, c'est percevoir la succession, donc le temps; compter ces exclusions, les énumérer, c'est compter ou mesurer le temps.

La relativité va donc s'emparer de cette notion de la même façon qu'elle a paru s'imposer en ce qui concerne l'espace.

Pourquoi l'espace nous paraît-il relatif? Parce que, avons-nous dit, l'espace nous apparaît comme un continu, donc indéfiniment divisible; mais ici, nous raisonnons sur une idée générale, sur l'abstraction de l'étendue phénoménale; cette étendue elle-même, formée d'éléments indivisibles, multiples, en nombre fini, cesse d'être relative en soi.

De même pour le Temps: le changement dans les choses nous apparaît le plus souvent comme continu; nous allons donc morceler ce continu par parties égales; mais notre unité reste arbitraire, et celle-ci nous semble indéfiniment divisible. Dès lors, la durée se présente à nous comme un point se mouvant d'une façon continue dans le temps: et c'est la raison pour laquelle les relativistes ont si beau jeu.

Le Temps, comme l'Espace, cesserait d'être relatif du jour où l'on arriverait à prouver sa _discontinuité_ et c'est bien là, nous le verrons, que nous acculent toutes les observations physiques.

Nos notions de relativité tiendraient donc, en dernier ressort, à notre impuissance presque invincible d'atteindre les particules

ultimes de la matière, comme aussi les actions élémentaires qu'échangent entre elles ces particules.

* * * * *

L'explication de la succession nous a mis en présence des éléments du Temps, pour ainsi dire; elle ne nous a pas indiqué la manière d'agréger ces éléments pour en faire un _temps réel_. L'exclusion de deux phénomènes contradictoires, qui implique succession, laisse en effet indéterminé le _sens_ de cette succession; or, il importe beaucoup de ne pas intervertir les éléments de la durée et de ne pas mettre le passé _après_ le futur; en d'autres termes, notre définition ne nous a nullement renseignés sur l'_avant_ et l'_après_.

Il faut donc introduire ici, dans la succession même, une relation causale. Considérons encore deux phénomènes: si pour que le second m'apparaisse, l'existence du premier est nécessaire et suffisante, je serai autorisé à dire que le premier phénomène est cause du second. Quand le second passe du non-être à l'être et que le premier passe à la non-existence, j'ai l'idée d'un phénomène nouveau, qui _n'était pas_ et qui est, je dis que le dernier est l'effet du premier, le premier la cause du second. Ainsi, le rapport de causalité que je puise dans ma conscience même, régit tout l'Univers et c'est la vraie raison pour laquelle le Temps n'est pas réversible, les phénomènes physiques pas davantage. L'enchaînement des causes amenant le développement de ce que nous avons appelé des exclusions réalisées, voilà le Temps et la succession avec le Passé et le Futur.

Mais alors que les deux séries de l'_avant_ et de l'_après_ nous apparaissent comme formées de termes illimités, à la façon

de ces séries algébriques indéfinies, le présent n'est représenté dans notre esprit que par _un seul_ terme, sans cesse changeant, toujours avançant dans le même sens, empiétant sur le Futur, mais allongeant derrière lui la série du Passé. En tant que limite des deux séries, le Présent n'est donc pas le Temps, car, pris isolément, il n'implique pas la succession en soi, essence même du Temps.

La notion de simultanéité est donc par elle-même dépourvue de signification objective; pour qu'elle réalise cette dernière condition, il est nécessaire que nous la rattachions aux termes de la série passée. Nous avons là l'explication de l'imbroglio dans lequel se débattent les relativistes.

Reprenons nos premiers exemples de la simultanéité optique: J'occupe le milieu M d'une droite AB et je reçois ensemble deux signaux partis de A et de B; les relativistes concluent que ces signaux ont été émis simultanément. Et ils ont raison, mais ils parlent le langage de tout le monde, y compris celui des philosophes.

Pour les relativistes, cependant, il s'agit surtout de simultanéité subjective, bien qu'implicitement ils admettent son objectivité; en effet, les actions de A et de B sur les éléments contigus de la droite, se sont transmises avec la même vitesse à chacun de ces éléments et comme ces derniers sont en nombre égal de chaque côté de M, nos relativistes concluent par là même qu'ils ont mis un temps égal pour parcourir AM et BM, soient les deux moitiés de la droite. Donc, rien de relatif dans le temps envisagé; leur unité de temps, quelle qu'elle soit, est absolue: c'est la vitesse de la lumière: _premier postulat_; cette vitesse demeure constante, même si la droite se déplace en bloc: _deuxième postulat_; et

nous sommes en pleine Mécanique classique avec le temps absolu de Newton.

Changement de tableau: M′ est en dehors de la droite, mais en face de M. Les signaux de A et de B sont encore simultanés subjectivement et objectivement; mais si M′ n'est plus en face de M, ils cesseront d'être simultanés subjectivement et c'est ici que le mot simultané perd son premier sens. Ainsi, à condition de jouer sur le mot simultané, on arrivera à des conclusions qu'on peut évidemment interpréter, mais qui sont une source constante de quiproquos et de conclusions paradoxales.

Pour nous, la simultanéité objective seule est intéressante, et tous nos efforts scientifiques doivent tendre à la déterminer. Que pratiquement elle nous échappe en l'état actuel de la science, ce n'est malheureusement que trop exact, mais ce ne peut être une raison pour nier son existence.

Lorsque deux événements ont eu lieu dans le passé en des endroits différents, il n'y a aucune difficulté à les concevoir comme ayant été simultanés. L'état présent de l'Univers détermine une simultanéité de fait, indépendante de tout signal de transmission. Je n'ai nul besoin pour admettre cette proposition d'être présent en un lieu d'où j'apercevrai cet état global, et ce que je dis du présent s'applique aussi bien à un temps déterminé dans le passé, donc séparé de l'état présent par un nombre égal d'actions élémentaires. Que ce nombre soit difficile ou impossible à apprécier, cela ne changera rien à la conclusion précédente.

Ainsi, à chaque instant de l'Univers, il y a eu des ensembles simultanés et c'est la réunion, la succession de ces ensembles toujours distincts et nombrables, qui forme l'histoire du monde ma-

tériel qu'étudient le physicien et l'astronome. Encore une fois, la difficulté d'apprécier le nombre de ces états est réelle, mais il est certain que tous ces états se sont développés parallèlement dans le Temps; le nier serait mettre en suspicion la valeur du principe même de causalité. A l'heure présente, nous découpons des unités arbitraires, nous morcelons les parties du temps en quantités uniformes ou qui nous paraissent telles et c'est là qu'intervient la Relativité. Celle-ci nous crie casse-cou et nous met sur nos gardes, mais le principe lui-même ne saurait être entamé. En d'autres termes, Lorentz est le premier qui ait attiré notre attention sur l'écueil qui nous guette à chaque pas et qui menace de faire sombrer toutes nos mesures, à savoir que les parties du temps, posées par le physicien comme uniformes, peuvent fort bien ne pas l'être, donc que nos mesures de temps, comme celles d'espace d'ailleurs, sont jusqu'à ce jour purement relatives.

Et c'est bien en fait la meilleure leçon qui se dégage de la théorie de la Relativité restreinte; mais ce serait dépasser les prémisses que de conclure à la faillite définitive d'un certain temps absolu; nous y reviendrons bientôt.

Quoi qu'il en soit et quelque préférence que nous accordions à l'un ou l'autre système, une question se pose ici, qui a été singulièrement obscurcie en ces derniers temps par les partisans de la Relativité généralisée: celle de l'infinité de l'Univers dans le Temps.

Pour les relativistes, comme pour les philosophes de l'école spiritualiste, l'Univers est limité, fini. Les raisons qu'en donnent les premiers, nous l'avons vu, parce qu'elles se déduisent des considérations du _continuum_ Espace-Temps (qu'il faudrait prouver), sont si sujettes à caution qu'elles n'emportent pas

l'adhésion de tout penseur impartial. La considération du nombre infini essentiellement indéterminé est au contraire inattaquable et nous a conduits à cette conclusion que le monde matériel est bien en fait limité et non infini comme l'avaient prétendu certains romanciers de la science.

* * * * *

Quant à l'infinité dans le temps, les Einsteiniens ne s'entendent guère; le mieux pour nous semble donc de les laisser se débattre au milieu de leurs formules dérivées de leur fameux _continuum_ et d'attaquer la question par un autre côté.

Posons d'abord nettement le problème.

Les savants sont si bien convaincus de l'enchaînement successif des causes, qu'à toutes les époques de l'histoire des sciences, l'esprit humain a essayé de remonter le cours des âges et de deviner ce qui s'est passé avant nous.

Ces tentatives ont été plus ou moins heureuses, j'en conviens; n'empêche qu'elles témoignent d'une possibilité métaphysique et scientifique de déterminer les états antérieurs de l'Univers. Moi-même, je me suis laissé aller à formuler une théorie de la formation des mondes; mais nos hypothèses sont changeantes et sous ce rapport, l'avenir nous réserve toujours des surprises. Néanmoins, on peut affirmer qu'une compréhension plus parfaite des causes mises en jeu dans l'Univers, nous permettrait de retracer fidèlement les phases qui ont marqué sa complète évolution. Où nous arrêterions-nous? A son origine, disent les uns.--Oui, répliquent leurs adversaires, à condition toutefois qu'il en ait une. Et si le monde était éternel, s'il avait toujours existé, de quel droit poseriez-vous la question?

En d'autres termes, l'Univers a-t-il eu un commencement? Voilà tout le problème.

Nous venons de voir que là où il y a succession, il nous est loisible de compter les changements. Or dans l'Univers, il y a succession, il y a changements et c'est le nombre de ces changements qui forme le temps, la durée. Dénombrer ces changements reviendrait donc à mesurer le Temps qu'a déjà duré l'Univers.

Notez que ceci est vrai quelle que soit l'unité, absolue ou relative, mesurant l'élément de temps.

Si donc le monde n'a jamais commencé, il dure depuis une infinité de temps, ce qui revient à dire que les unités de temps envisagées sont actuellement en nombre infini.

Or ceci, nous l'avons démontré, est une absurdité; si les unités de temps sont distinctes, c'est-à-dire, si les phénomènes enchaînés dans le passé sont réels, ce dont nous ne pouvons douter, la série qui les encadre ne peut être infinie, un nombre actualisé étant essentiellement déterminé, donc fini.

Il y a donc eu un premier phénomène, un premier changement ou plutôt des premiers changements simultanés qui ont marqué l'origine du Temps; donc le monde a commencé.

Le Père Carbonnelle a donné autrefois à cette démonstration une forme plus saisissante parce qu'elle emprunte à la Géométrie une figure qui parle aux yeux et qui fixe l'attention.

Considérons les deux branches d'une hyperbole et ses deux asymptotes. On sait que les géomètres ont donné ce dernier nom à des droites qui ne rencontrent la courbe qu'à l'infini, c'est-à-dire jamais (v. fig. 16).

Nous avons vu que tel est le cas de deux parallèles dont le point d'intersection est rejeté à l'infini; mais ici la proposition paraît plus extraordinaire; on démontre en effet que chaque branche symétrique de l'hyperbole se rapproche toujours, en s'éloignant du centre O, de son asymptote, sans jamais pouvoir la rejoindre; comme pour les parallèles, l'intersection de la branche et de l'asymptote est rejetée à l'infini.

«Ces notions rappelées, dit le Père Carbonnelle[77] rien de plus facile que de répondre à la question suivante: Si un point mobile parcourt l'hyperbole avec une vitesse constante, quand arrivera-t-il sur l'asymptote?--Inutile de connaître le point de départ et la vitesse. Aucun temps fini, aucune suite de siècles ne suffira.

[77] V. _Rev. des Qu. Scientifiques_ T. III, p. 579.

[Illustration: Fig. 16.]

A mesure que le temps s'écoule et que le point avance (futur) la distance à l'asymptote diminue toujours; mais elle ne devient jamais nulle. Les mathématiciens disent bien qu'il arrivera sur la droite au bout d'un temps infini; mais comme il est impossible d'atteindre le bout d'un temps infini, ils ont eux-mêmes donné à l'asymptote un nom qui indique précisément que la coïncidence n'est pas possible[78]. Cette coïncidence est un événement qui, par cela même qu'il ne doit se produire qu'au bout d'un temps infini, ne se produira jamais.

[78] _Asymptote_ veut dire en effet _non-coïncidant_.

Posons maintenant le même problème, en changeant, comme on dit, le signe du temps, c'est-à-dire l'avenir en passé.

Demandons-nous d'abord à quelles époques le point mobile supposé en mouvement depuis un temps suffisant, se trouvait à tels ou tels points de sa course passée. La parfaite symétrie des deux côtés de notre courbe facilite la solution. Supposons, par exemple, que le point mobile soit actuellement au _sommet_ et que l'on puisse dire: dans une heure il se trouvera en A, dans deux heures il se trouvera en B, etc.; on pourra immédiatement dire: il y a une heure, il se trouvait en A′; il y a deux heures, il se trouvait en B′, etc..., en appelant A′, B′, etc... les symétriques de A, B, etc... sur l'autre côté de l'hyperbole[79].

[79] Le sommet de l'hyperbole sur la figure est représenté par le point marqué: présent.

Alors, de même qu'à la question: Quand se trouvera-t-il sur l'asymptote de droite? il faut répondre: Dans un temps infini, c'est-à-dire jamais; de même à la question: quand s'est-il trouvé sur l'asymptote de gauche? il faut répondre: Il y a un temps infini, c'est-à-dire jamais.

Après avoir compris cet exemple, l'esprit généralise clairement et sans effort, et il conclut: Un événement qui s'est produit il y a un temps infini, est un événement qui ne s'est jamais produit; et par conséquent aucun événement _réel_ ne remonte à un temps infini. Le plus ancien des événements réels s'est donc produit il y a un certain temps fini et déterminé, et par conséquent le monde matériel a eu un commencement.»

On voit que la Science, elle-même nous accule à l'existence d'une Cause première, nécessaire, ayant créé toute matière ou mieux toute substance, ayant posé à l'origine des temps, les conditions causales du développement des actions matérielles; à

la nécessité d'un Etre infini, permanent, échappant au temps et à ses mutations. Ces conclusions sont grosses de conséquences et j'en ai développé toute la portée dans mon livre sur la Mort. Je me permets d'y renvoyer le lecteur et je passe sans transition à un autre ordre d'idées.

* * * * *

Nous avons vu que la notion de _temps_ se ramène en dernière analyse à un très petit nombre d'idées générales qui sont à la fois fonction de l'expérience et du raisonnement.

L'idée du temps est la perception de l'ordre causal entre l'être et le non-être; c'est le temps idéal pur où rien de sensible n'intervient. Le temps empirique est le même rapport assujetti à une mesure d'ordre expérimental. En Physique, celui-là seul nous intéresse; comme dans le premier cas, il y aura bien changement, mais ici, le changement s'appliquera à un phénomène déterminé; puis, interviendra l'idée du _nombre_ de changements des phénomènes.

Or, à mon avis, c'est ce _nombre_ qui introduit dans le Temps la relativité. En effet, comment compter les changements? Cela ne peut dépendre que de nos moyens d'observation. Si nous admettons que le rapport causal, l'action d'une cause pour produire un effet, n'exige qu'un temps instantané, le nombre de changements sera infini, et chaque changement mettant zéro temps à s'accomplir, une infinité de changements s'accompliront également en un temps égal à zéro. Nous retombons dans le sophisme de Zénon et nous nions le mouvement ou la durée.

Appliqué à un mobile se déplaçant sur une droite, l'exemple, nous l'avons vu, suppose que l'espace, ou mieux l'étendue phéno-

ménale, est divisible à l'infini. Or, nous avons montré qu'il n'en est rien; le nombre de parties est fini: il y a _discontinuité_, ce qui veut dire _multiplicité_. Mais ceci ne résout pas la question par rapport au _temps_.

Si une particule matérielle est en mouvement, c'est-à-dire entre successivement en action avec chaque partie nombrable de la droite considérée et si chaque action est instantanée, le déplacement d'une extrémité à l'autre s'accomplit en une durée encore nulle.

Si, par contre, nous rejetons l'hypothèse de l'instantanéité de l'action élémentaire, nous obtenons bien la durée globale, fonction du nombre d'éléments contenus dans une étendue donnée, mais alors le temps devient relatif, nos unités de temps ont chacune une grandeur égale mais arbitraire et comme c'est l'espace parcouru qui mesure le temps, nous obtiendrons un nombre purement conventionnel pour cette durée mesurée par l'espace.

D'où il suit que s'il m'avait plu de choisir une unité plus petite de temps, j'aurais obtenu pour le temps total, un nombre plus grand, donc une autre valeur. Or, qui m'indiquera finalement la valeur du temps-unité qu'il a fallu à l'action élémentaire pour se produire? Car je ne saurais oublier que j'ai supposé l'action non-instantanée et que, toujours par hypothèse, cette action a pris un _certain_ temps; c'est ce «certain temps» que je suis impuissant à évaluer.

Voilà le dilemme; comment en sortir? Je n'entrevois qu'une seule solution: raisonner pour le temps comme nous l'avons fait pour l'espace. Le procédé est radical sans doute, mais c'est le seul

moyen de résoudre les difficultés réelles soulevées par les Éléates.

En voici une, par exemple, qui nous fera toucher du doigt la nécessité de la solution que je propose: elle est connue en philosophie sous le nom de l'argument du _Stade_[80].

[80] Les arguments de Zénon ont été repris par tous les philosophes et plus ou moins réfutés: ils se réduisent à quatre: La Dichotomie, le problème d'Achille et de la Tortue, la Flèche et le Stade. Nous y avons fait plus ou moins allusion au cours de ce volume, sans les citer expressément; tous reposent sur la supposition d'une division à l'infini d'une grandeur temporelle ou spatiale.

Zénon suppose des points inétendus (pour l'espace) et des instants indivisibles (pour le temps): soient trois lignes droites horizontales formées de points contigus et disposées de façon que leurs points de même rang soient sur une même verticale. Nous aurons la disposition suivante, les points étant représentés par des lettres:

1re rangée: a b c 2e rangée: <---- a′ b′ c′ 3e rangée: a″ b″ c″ ---->

Supposons maintenant que la première rangée, celle du haut, demeure immobile, alors que les deux autres se meuvent en sens contraire, c'est-à-dire dans la direction des flèches, et de manière que leurs éléments avancent _d'un rang en un élément de durée ou instant_. Que va-t-il se passer?

En un instant (indivisible par hypothèse), a″ de la 3e rangée, passera sous un élément _unique_ b de la première et nous au-

rons ceci:

a b c » » » a″ b″ c″

Mais alors il passera nécessairement _sous deux éléments_ différents de la seconde rangée, puisque celle-ci aura avancé en sens contraire, ce qu'indique la disposition finale suivante:

a b c a′ b′ c′ a″ b″ c″

Comme d'ailleurs ces deux rencontres sont nécessairement _successives_, l'instant, indivisible par hypothèse _se trouve divisé_ en _deux_ instants.

M. Evellin a répondu péremptoirement à l'argument de Zénon en montrant que tout repose précisément sur une conception fausse de l'espace et du temps. Sa thèse est intéressante, mais elle ne résout pas, je crois, la difficulté soulevée en ce qui concerne le temps; néanmoins, elle montre bien où se trouve le sophisme. La voici, en partie, telle qu'il l'a présentée: «Visiblement a″ et b′ se croisent. On se croise dans le _continu_ de l'espace; ici, c'est l'impossible. Où voulez-vous qu'ait lieu ce prétendu croisement? a″ avance d'un rang; je le vois alors, et tout de suite, au-dessous du lieu occupé à l'origine par b′, mais ce lieu est vide, b′ est parti. A son tour, b′ avance d'un rang en sens inverse. Le voilà d'un coup au-dessus du point de départ de a″, mais a″ a marché, il n'est plus là.

Quand on parle de croisement, on raisonne comme s'il existait entre b′ et a″ une verticale sur laquelle pussent passer en même temps les deux mobiles:

b′ | » » | a″

C'est le contraire de l'hypothèse; mais la figure elle-même trompe l'œil; l'imagination voit un intervalle là où il est justement impossible; elle est dupe, l'hypothèse est oubliée.

En définitive, a″ ne rencontre que c′ et les deux moments qu'on oppose aux partisans des indivisibles sont imaginaires[81].»

[81] Cf. _Rev. de Métaph. et de Morale_, p. 385, 1893.

Telle quelle, la réponse de M. Evellin suffit à ruiner l'argument éléatique, mais j'irai plus loin et je dirai que la difficulté soulevée par Zénon nous montre à l'évidence que ni l'espace, ni le temps ne peuvent être envisagés comme des continus physiques. L'un et l'autre sont formés par des éléments en nombre fini, par des unités discrètes.

* * * * *

Nous avons démontré que l'étendue est formée de particules multiples, inétendues, échangeant entre elles certains rapports; nous devons aboutir au même résultat en ce qui concerne le _temps_; celui-ci, non plus, ne saurait être divisible à l'infini, il doit être formé, lui aussi, d'unités multiples et discrètes, en un mot de _particules de temps_ dont chacune n'offre pas les qualités objectives du temps, mais qui, par leur réunion, nous procurent ce que je pourrais appeler, faute de mieux, la sensation ou l'impression de temps.

Cette thèse, je ne me le dissimule pas, offre quelque chose de déconcertant de prime abord, mais, à la réflexion, loin d'apparaître contradictoire en soi, elle se présente comme le _seul moyen_ de résoudre les antinomies rencontrées à chaque pas

dans l'hypothèse de la continuité. Bien mieux, cette théorie de la discontinuité appliquée au temps, est la seule qui s'accorde avec les travaux récents suscités par les études de la physique moléculaire, du monde atomique, des lois du rayonnement et de la fameuse hypothèse des _quanta_ dont Planck a posé les bases. «_Natura non facit saltus_» disaient les anciens philosophes[82]; eh bien, toute notre science actuelle ne vise rien moins qu'à détruire cette formule dont l'origine se perd en un lointain passé. Ceux-là ont dû le remarquer qui suivent depuis vingt-cinq ans les théories de l'évolution. On abandonne de plus en plus les vues des Darwin, des Lamarck, des Hœckel qui admettaient comme un dogme, la variation lente des types organiques; en Botanique comme en Zoologie, c'est la doctrine des mutations brusques qui paraît serrer de plus près la réalité.

[82] «La Nature ne fait pas de sauts brusques.»

Les progrès dans le monde organique s'accompliraient non plus suivant un plan plus ou moins incliné, mais à la façon des degrés d'un escalier dont nous sommes impuissants à découvrir le faîte.

Même conclusion pour le monde inorganique où la loi d'évolution laisse de jour en jour apparaître plus évidente la discontinuité.

Pourquoi, direz-vous, les physiciens ne s'en sont-ils pas aperçus plus tôt? Je vais répondre par une comparaison. Plaçons sur une balance, après l'avoir équilibré, un récipient contenant un décimètre cube d'eau. Grâce à une évaporation incessante de la masse liquide, le fléau de la balance accusera une diminution de poids continuelle. Supposons constante la cause d'évaporation,

et, par un procédé facile à imaginer, suivons la marche du phénomène; l'appareil enregistreur fournira un graphique où nous ne remarquerons, ni sauts, ni discontinuité.

Cette courbe descendante correspond-elle à la réalité? Évidemment non. Nous n'ignorons pas en effet qu'il faut une certaine dépense d'énergie, toujours la même, pour libérer une quantité constante de liquide; mais celui-ci est formé d'atomes ou de molécules qui délaisseront la surface les uns après les autres; la courbe traduisant le phénomène, vous le voyez bien maintenant, ne saurait être continue; si elle vous paraît telle, c'est grâce à la multiplicité inouïe des particules se détachant tour à tour; un instrument beaucoup plus sensible mettrait en évidence cette discontinuité, accuserait non plus une descente régulière, mais de véritables gradins réguliers.

Or, le phénomène paraît bien général: lorsqu'un atome se désagrège, il perd par sauts brusques ses électrons, et même ses grains d'énergie; ceux-ci s'enfuient comme des unités discrètes, (par _quanta_) qui nous apparaissent ainsi comme des particules d'énergie.

De tous ces faits et de beaucoup d'autres analogues, on a pu conclure qu'un système physique n'est susceptible que d'un nombre fini d'états distincts; il saute de l'un à l'autre sans passer par une _série continue_ d'états intermédiaires.

Supposons maintenant que l'état du système dépende de deux conditions, de deux paramètres, auquel cas nous pourrons représenter chacune de ses variations par un point sur une surface plane; l'ensemble des points représentatifs des divers états possibles ne sera pas alors la surface tout entière, mais seulement

des points particuliers, discontinus. Ces points toutefois sont si serrés qu'ils nous donneront l'illusion de la continuité. Mais alors, remarquait déjà H. Poincaré auquel j'ai emprunté cet exemple en le simplifiant, nos points représentatifs isolés ne doivent pas être distribués d'une façon quelconque; ils doivent l'être de telle sorte qu'en les observant avec nos sens grossiers nous ayons pu croire aux lois communes de la Dynamique et par exemple à celles de Hamilton, lois qui se traduisent par des équations différentielles s'appliquant au continu.

Voilà où nous a conduits l'étude de ce petit monde complexe qu'est l'atome; mais ce qui s'applique à un système isolé est encore valable pour la collection des objets composant l'Univers, objets tous liés entre eux par les actions qu'exercent les unes sur les autres les particules ultimes de la matière.

Chaque action élémentaire--cause et effet--représenterait un état; l'ensemble des états coexistants, simultanés objectivement, détermineraient un _instant_. L'instant suivant serait dû à un changement brusque. Ainsi l'Univers sauterait d'un état à l'autre sans passer par un état intermédiaire; il demeurerait immobile dans l'intervalle, qui deviendrait _vide_ au point de vue temporel, ou plutôt inexistant.

Et nous voilà revenus à la discontinuité du Temps que nous avions pressentie. Un rapport d'ordre causal constituerait donc une _particule de temps_.

Nous aboutissons pour le Temps à une théorie symétrique de celle qui nous a donné l'explication de l'Espace: des deux côtés, unités discrètes, mais d'une inconcevable multiplicité; coexis-

tantes dans le cas de l'espace; successives, c'est-à-dire s'excluant les unes les autres, pour le Temps.

Et de la même façon que nous avons admis une unité absolue d'espace, nous pouvons concevoir sans contradiction une unité absolue de temps.

Ainsi s'évanouirait le dernier rempart qui protégeait la Relativité: celle-ci nous apparaît de plus en plus comme un échafaudage branlant dressé autour du magnifique monument que la Physique moderne est en voie d'élever à la Science de la Nature.

CHAPITRE X

CONCLUSION

J'aurais pu arrêter ici ce volume et, à la place de ce Chapitre, faire imprimer la Table des Matières, mais j'éprouve le besoin, en terminant ces trop longues discussions, de préciser les enseignements qui doivent s'en dégager.

Tout d'abord, ceux qui ont eu le courage de me suivre peuvent maintenant comprendre et saisir les difficultés de juger une œuvre scientifique quelle qu'elle soit. A chaque instant, le critique doit avoir recours à des notions en apparence les plus disparates; c'est qu'en fait, nos acquisitions ressemblent à une chaîne dont on ne saurait toucher l'un des anneaux sans provoquer une perturbation générale.

Vouloir séparer la Science en compartiments distincts, en cloisons étanches, constitue, à l'heure actuelle, une impossibilité de

fait. Je sais bien qu'on pourrait me citer des hommes de science que n'embarrassaient point de tels scrupules, Maxwell ou lord Kelvin, par exemple; mais il ne faut jamais oublier que l'ambition et le mode de travail de chaque savant, diffèrent suivant sa tournure d'esprit, sa philosophie et son idéal.

Sous le rapport de l'enchaînement, de la logique, de la clarté, les Français sont certes beaucoup plus difficiles que les étrangers. Et puis, il faudrait s'entendre sur ce que nous appelons _la Science_. Pour certains, faire de la science, c'est à proprement parler recueillir des faits à la façon de ces collectionneurs de timbres ou de papillons. Le rangement par couleurs peut tenir lieu d'étiquettes; mais bientôt, cela ne suffit plus; botanistes, entomologistes ou géologues en arrivent forcément à opérer le classement par caractères, et de là naissent les systèmes.

Le physicien n'opère pas d'autre façon; même pour réunir des faits, pour observer des phénomènes, pour expérimenter, il faut regarder plus loin, il faut ajouter l'idée directrice, toujours préconçue, et voir à quel point cette idée cadre avec les faits nouveaux qu'on accumule: voilà d'où naît l'hypothèse.

Savoir, dit-on souvent, c'est prévoir: oui, en un certain sens; mais la prévision d'un même fait nous est souvent donnée par des hypothèses très différentes. J'ai déjà parlé de la théorie de l'émission en Optique; elle avait tout prévu, semblait-il, jusqu'au jour où il fallut en imaginer une autre, celle des ondulations, pour expliquer un phénomène nouveau. Et comme nos expériences ne sont jamais terminées, comme les questions résolues soulèvent toujours un monde de problèmes, il paraît bien imprudent d'affirmer l'exactitude des hypothèses, même les plus assises en apparence.

De ce que la Relativité a prévu certains résultats, n'allons donc pas conclure si tôt que c'est une merveille et qu'il la faut tenir pour bonne! Prenons modèle sur les mathématiciens qui, dans certains problèmes, aboutissent, faute de données suffisantes, à des indéterminations. Or, dans presque tous les domaines de la science, nous manquons de faits; ou ceux-ci sont inconnus, ou bien nous les avons mal observés; et voilà pourquoi la plupart du temps, nous aboutissons à des quantités de solutions parmi lesquelles il nous est impossible de faire un choix; c'est ce qui arrive par exemple dans notre explication des phénomènes au moyen des modèles mécaniques si chers aux Anglais.

Un savant ingénieux peut toujours réussir à trouver un système complexe de poulies, d'engrenages, etc..., de nature à satisfaire notre petite connaissance des faits; bâtir un modèle d'atome, d'électron, de sous-électron; imaginer des grains d'énergie, des particules d'éther; faire mouvoir tout cela comme un système stellaire et rendre compte de quelques faits, puis remanier «sa mécanique» à mesure que la nécessité l'y contraint; mais pendant qu'il se torture ainsi l'esprit, la science avance et se rit de ses enfantines combinaisons; bientôt, le modèle s'en va rejoindre dans les musées, les sphères armillaires construites par les astronomes contemporains de Ptolémée.

Et les mathématiques penserez-vous, à quoi servent-elles donc? Simplement à constater certains rapports, à les vérifier ensuite; mais c'est une grave erreur, et cependant fort répandue, de croire qu'une formule peut tenir lieu d'explication.

L'exemple le plus typique dans ce genre nous est donné par l'Électricité: aucune partie de la Physique, peut-être, n'a été poussée aussi loin; ici, nos formules ne laissent aucun point dans

l'ombre; la théorie électro-magnétique a même permis la découverte de phénomènes nouveaux; et, cependant, qui donc oserait soutenir qu'un physicien d'aujourd'hui a pénétré plus avant qu'Ampère dans la nature intime du courant électrique? L'éther, autrefois, avec ses propriétés vagues et souvent contradictoires, faisait tous les frais des explications; la science actuelle l'a remplacé par l'électron cheminant à grande allure dans nos câbles et nos fils métalliques; notre _modèle_ est changé...; pour combien de temps? Des faits nouveaux, n'en doutons pas, exigeront des remaniements essentiels et nos actuelles conceptions feront sourire nos successeurs, comme nous-mêmes trouvons enfantines les hypothèses d'autrefois.

Faut-il pour cela renoncer à perfectionner la Science? Non, parce que «l'homme ne se résigne pas si aisément à ignorer éternellement le fond des choses»[83], et parce que s'avancer plus profondément dans la connaissance des phénomènes sans espoir même d'en surprendre jamais les ressorts les plus cachés, constitue encore une des tâches les plus louables que nous puissions assigner à nos efforts.

[83] H. POINCARÉ: _La Science et l'Hypothèse_, _op. j. cit._ p. 258.

Voilà le point de vue véritable auquel nous devons nous placer pour juger sainement une hypothèse nouvelle. Envisagée sous ce côté particulier, voyons donc ce que vaut la Relativité.

* * * * *

Parlons d'abord de la Relativité restreinte. Celle-ci existe dans la science depuis de longues années: elle est tout entière l'œuvre, non d'Einstein, mais de Lorentz qui l'a conçue pour rendre

compte de la dynamique de l'électron; c'est Lorentz, on ne saurait trop le répéter, qui, le premier, nous a livré sous leur aspect définitif, toutes les formules de la Relativité: simultanéité optique, temps local, postulats, tout cela est la propriété de Lorentz.

Mais une formule mathématique, nous l'avons vu n'est pas une théorie; l'interprétation en est toujours arbitraire; Lorentz avait conclu à une contraction réelle des objets pour expliquer l'expérience de Michelson; Einstein est intervenu, qui a simplement changé ce point de vue: pour lui, la contraction n'est qu'apparente. Telle est la seule part intéressante du physicien allemand dans la doctrine de la Relativité restreinte. Entre ces deux hypothèses également vraisemblables, mais reposant sur les mêmes postulats invérifiables, il paraît bien difficile de se prononcer.

Si maintenant nous quittons ce domaine pour nous lancer dans la Relativité généralisée, nous allons dès l'abord nous heurter à des difficultés inextricables. Nous nous trouverons en effet en présence d'un ensemble grandiose de formules mathématiques rigoureusement enchaînées, mais qui, cette fois, ne sont susceptibles d'aucune interprétation.

L'espace-temps de Minkowski, base de toute la théorie, est une construction purement artificielle. Qu'on en puisse déduire des relations numériques d'un certain intérêt, tel le fameux «intervalle», je le concède; mais que le procédé nous soit de quelque utilité pour pénétrer plus avant dans la nature des choses, je le nie absolument; et, dans la circonstance,--malgré que des arguments d'autorité n'aient aucune valeur--il est tout à fait piquant de constater que je ne suis pas le seul à penser ainsi et que mon

avis est partagé par quelques-uns des plus ardents, parmi les relativistes.

L'avenir dira si la Mécanique einsteinienne vaut complètement pour le monde des atomes, mais déjà, elle paraît bien inopérante, pratiquement, lorsqu'il s'agit des corps célestes dont les vitesses sont faibles comparées à celle de la lumière.

On m'objectera la courbure des rayons lumineux et l'avance du périhélie de Mercure; mais, d'une part, nous savons que l'incurvation de la lumière s'explique fort bien sans la relativité et, d'autre part, en ce qui concerne Mercure, il faudrait être mieux fixés que nous le sommes sur la valeur du déplacement très faible qu'il s'agit de justifier.

Il est bien vrai que les relativistes prétendent arriver à une expression très exacte d'une loi d'attraction valable dans tous les cas; malheureusement, la formule n'élucide pas le mystère de la gravitation qui reste entier: lorsqu'une étiquette permet de reconnaître un flacon, cela ne signifie pas qu'elle indique la nature de la substance qu'il renferme.

Les relativistes ont collé sur nombre de phénomènes des étiquettes nouvelles; ils ont peut-être, par leurs formules, signalé des rapports naturels insoupçonnés de nos devanciers, mais le plus souvent, les divergences avec notre Mécanique classique sont si faibles, les assises de leur théorie si peu assurées, qu'on est en droit de se demander si les efforts déployés pour d'aussi faibles résultats, justifient tant de bruit et si, derrière ce tapage fait autour du nom d'Einstein, il n'y aurait pas autre chose... Je laisse à d'autres le soin d'élucider l'affaire.

Ceux qui, périodiquement, tressent des couronnes au physicien allemand, s'étonnent que sa doctrine, tout au moins la Relativité généralisée, trouve de nombreux contradicteurs; mais à vrai dire, cela prouve simplement que, loin de se présenter à l'esprit comme une formule synthétique explicative des faits et d'entraîner l'adhésion, la théorie apparaît à la plupart d'entre nous comme une construction hâtive dont la façade habilement travaillée, quoique dans le goût allemand, dissimule insuffisamment les défauts de l'intérieur.

Pour tout résumer, je dirai qu'au point de vue théorique, la thèse d'Einstein, dans ce qu'elle a de meilleur, ne nous a rien appris; elle n'est que la reproduction de celle de Lorentz qui, ainsi, reste le père de la Relativité.

Les résultats obtenus, je parle des résultats numériques seulement, peuvent l'être dans une autre hypothèse tout aussi artificielle. Au point de vue philosophique, la doctrine de la Relativité, le grand public peut en être convaincu, ne saurait avoir aucune portée: les notions de temps et d'espace qu'elle met en jeu, ne sont que conventions arbitraires aboutissant tout au plus à montrer que, dans l'état actuel de la science, nous ne devons pas prétendre mesurer le temps et l'espace avec la rigueur que s'imaginaient quelques naïfs: cette proposition n'est pas neuve; la relativité l'a simplement soulignée, comme elle a _de nouveau_ attiré l'attention sur les lois des phénomènes où interviennent les grandes vitesses.

* * * * *

Ce qui est plus grave, c'est qu'au lieu de nous faire avancer dans la constitution intime de la matière, les partisans des nou-

velles doctrines orientent leurs efforts dans une voie purement mathématique et formelle dont les résultats ne peuvent qu'être nuls ou décevants.

Nous sommes arrivés à l'heure présente à un tournant de la Science, où nous avons besoin plus que jamais de méthodes expérimentales précises, pour serrer de plus près une réalité qui nous échappe et surtout pour vérifier les hypothèses qui, de toutes parts, affluent et menacent de nous encombrer.

En délaissant volontairement le problème de l'éther, les lois encore très obscures du rayonnement, le mécanisme intime du choc et des modalités de l'énergie, l'étude de la discontinuité de la matière, la théorie de la Relativité se condamne à tourner dans un cercle fort restreint, toujours le même; et, traçant pour ainsi dire les limites d'un domaine qu'elle ne saurait franchir, elle se décerne à l'avance un brevet d'impuissance et de stérilité.

Avant peu, les Einsteiniens, à moins qu'ils ne changent radicalement leurs méthodes, seront amenés à déposer leur bilan; avec d'aussi faibles ressources, on ne saurait édifier un nouveau Système du Monde.

Ces réserves mises à part et tout en désavouant certains commentateurs qui ont «contribué à fausser l'esprit public ou plutôt à créer un esprit public faux touchant les théories d'Einstein»[84], suivant les remarques fort judicieuses de M. L. Dunoyer, la doctrine relativiste aura eu, tout au moins, pour résultat, d'attirer l'attention des penseurs sur l'une des questions les plus importantes de la philosophie naturelle et dont les physiciens paraissaient un peu trop se désintéresser; je veux parler de

la nature intime de l'Espace et du Temps, notions primordiales qui sont la base même de nos théories scientifiques.

[84] Cf. Art. de _la Rev. univ._ j. cit. p. 180.

En même temps, la Relativité nous enseigne, sans le vouloir, que la Physique ne doit user des symboles mathématiques qu'avec une grande circonspection. Une formule est sans doute un outil précieux et puissant, mais nous sommes portés parfois à en exagérer la valeur. D'autre part, nos procédés d'Analyse semblent avoir été surtout créés pour le continu, alors que la réalité phénoménale paraît, au contraire, nous imposer de plus en plus l'étude de la discontinuité: singulier retour, par la méthode expérimentale, aux idées de Pythagore qui n'admettait que la science du nombre. Pour ce philosophe, en effet, non seulement les sens ne perçoivent rien en dehors des conditions de l'espace et du temps, mais les perceptions sensorielles ne sont claires qu'à la condition d'être distinctes et discontinues.

On le voit, les idées de Pythagore sont bien près des nôtres: seule la faculté d'abstraction que possède notre esprit, a créé le général et le continu, mais la réalité est objectivement--je pourrais dire, essentiellement--multiple, discrète, discontinue.

Seulement, il ne faut pas se dissimuler les conséquences de cette importante affirmation et ce sera l'honneur de la Physique moderne, après avoir étudié la nature des phénomènes, de mettre les savants dans l'obligation de fixer un terme à la discontinuité temporelle des états de l'Univers, tout au moins pour le passé; de nous amener, par conséquent, à l'inéluctable nécessité de l'éternel Absolu qui a dit: «Je suis Celui qui suis» et qui a tout créé «avec nombre, poids et mesure».

TABLE DES MATIÈRES

Pages Introduction 1 Chapitre I La Science avant Einstein 7 Chapitre II La doctrine de la Relativité 41 Chapitre III Les conséquences de la Relativité 71 Chapitre IV Espace et Matière 99 Chapitre V L'Univers est-il infini? 113 Chapitre VI L'Espace à quatre dimensions et les Géométries non-euclidiennes 137 Chapitre VII L'Espace-Temps de Minkowski. La Relativité généralisée 155 Chapitre VIII Sur quelques résultats de la Relativité 171 Chapitre IX Qu'est-ce que le Temps? 197 Chapitre X Conclusion 233

Saint-Amand, Cher.--Imprimerie Bussière.

[Vignette: AD LUCEM]

Sources et licence

Texte : https://www.gutenberg.org/ebooks/78128. Domaine public (texte redistribue sans la marque Project Gutenberg). Mise en forme : liregratuitement.com. Tout ce que nous ajoutons reste libre.