Séance du 1er mars 1930

DÉTERMINISME ET CAUSALITÉ DANS LA PHYSIQUE CONTEMPORAINE (Suite)

M. Xavier Léon. – À la demande de nos amis les physiciens et les mathématiciens, nous avions pris l'engagement, le 12 novembre dernier, de poursuivre, sur le terrain proprement philosophique, la discussion si brillamment ouverte par M. Louis de Broglie au point de vue scientifique.

Afin de tenir cet engagement, j'ai fait aujourd'hui appel à mon cher Léon Brunschvicg, que ses ouvrages sur les *Étapes de la philosophie mathématique* et sur l'*Expérience humaine et la Causalité physique* désignaient tout particulièrement pour introduire la question.

Mais, avant de lui donner la parole, je vous demande la permission de faire un retour en arrière : le 12 novembre, à l'heure même où Louis de Broglie, avec sa belle clarté française, faisait devant nous sa magistrale communication, il recevait à Stockholm le prix Nobel, digne consécration de son génie. Il l'ignorait, nous l'ignorions tous et n'avons pas pu lui adresser alors nos félicitations. Je le regrette d'autant plus qu'il avait ce jour-là deux parrains de marque, Albert Einstein et Jean Perrin, et qu'Albert Einstein, j'en suis sûr, aurait été heureux de lui donner publiquement l'accolade.

À défaut de cet illustre parrainage, je vous demande modestement la permission, au nom de notre *Société française de Philosophie*, de dire à Louis de Broglie toute notre fierté. Il appartient à une famille où il est de tradition d'illustrer la France en servant la pensée. Il poursuit avec éclat cette tradition. Qu'il en soit cordialement félicité.

M. Léon Brunschvicg. – Depuis bientôt trente ans que la *Société française de Philosophie* se réunit sous la présidence de Xavier Léon, presque toujours, en fin de séance, quelqu'un de nous fait observer que la discussion a surtout souffert d'un manque d'entente préalable sur le vocabulaire. C'est pourquoi notre Président a tenu à ce qu'aujourd'hui, dès le début, nous fissions un effort pour nous définir à nous-mêmes nos lignes de départ. Et, en l'absence de notre ami Lalande, il m'a désigné pour cette tâche. Je suis habitué à le voir me témoigner infiniment plus de confiance que, je dois l'avouer, je n'en éprouve à mon égard. Et c'est pour cela que j'obéis.

Dans la séance du 12 novembre, où M. Louis de Broglie est venu à nous, entouré à ce moment d'une auréole qui était encore invisible à

Paris, M. Hadamard, pour amorcer les philosophes, a fait allusion à la thèse d'Émile Boutroux, dont le titre et la date sont également significatifs : «*De la contingence des lois de la nature*», 1874. Il n'y avait pas plus de quatre ans que Taine avait publié «*L'Intelligence*». En 1870, ce livre paraissait marquer l'état le plus avancé de la philosophie scientifique. Appuyé, en apparence au moins, sur la physiologie des sens, sur la psychologie de l'association, Taine concluait son ouvrage par des chapitres qui, aujourd'hui, nous paraissent bien étonnants, *des jugements généraux*, *de la raison explicative*, où vous trouverez, si vous êtes curieux de vous y reporter, la démonstration des postulats d'Euclide, la réhabilitation du syllogisme d'Aristote et l'assimilation, au moins théorique, de la loi expérimentale à la loi géométrique, qui, selon Taine, exprimait la perfection du savoir humain, attendu que «les axiomes étant obtenus par construction, nous pouvons, par analyse, remonter plus haut qu'eux, jusqu'au principe d'identité qui est leur source commune».

Sous une forme dépouillée maintenant de toute littérature, Taine reprenait le thème final de son pamphlet contre *Les Philosophes Français* (devenus plus tard *Les Philosophes Classiques*) *du XIXe siècle* ; et il est important de le retenir parce qu'il marque le passage du romantisme à la néo-scolastique d'aujourd'hui. La Nature s'y ramène à une *hiérarchie de nécessités*.

«Au suprême sommet des choses, au plus haut de l'éther lumineux et inaccessible, se prononce l'axiome éternel ; et le retentissement prolongé de cette formule créatrice compose, par ses ondulations inépuisables, l'immensité de l'univers.»

Pour Taine, donc, la science de la nature serait toujours, ce que l'on a pu imaginer, il y a vingt-trois siècles, au temps d'Aristote, qu'elle devait être alors qu'elle n'existait pas : une déduction reposant sur les concepts les plus simples et, par suite, les plus abstraits ; l'espérance est manifeste chez Taine, et mieux encore l'assurance, que le savoir de l'homme, dans le cadre de la nécessité logique, atteint (selon les expressions du livre de *L'Intelligence*) le fond de la nature, l'essence des lois, la structure des choses.

Cette illusion, Boutroux la dissipe d'un mot : «Le travail par lequel l'entendement extrait de nos données des sens les éléments plus ou moins cachés qu'elles renferment, ne transforme pas ces données en éléments *a priori*». La nécessité logique, qui se meut dans le plan de l'abstraction, n'a rien à faire avec la science positive, dont tout l'effort est tourné vers les choses elles-mêmes.

Mais alors, voici un premier point à élucider pour le débat d'aujourd'hui. Si la nécessité logique, qui règne sur le seul univers du discours, doit céder la place à quelque chose d'autre qui gouvernera,

non plus le discours (métaphores comprises), mais la réalité, que sera ce quelque chose ?

La contradiction de la nécessité logique, c'est la contingence épicurienne, modelée sur la soi-disant expérience psychologique du libre arbitre ; et on pourrait, par un simple jeu de dialectique, conclure de la négation de la nécessité logique à l'existence de lacunes et de fissures dans l'univers, c'est-à-dire à l'indéterminisme radical. C'est ce que faisait Renouvier. Mais la contingence de Renouvier n'est pas celle d'Émile Boutroux ; et c'est ce point que marque le titre même de la thèse *De la contingence des lois de la nature*. La contingence porte ici sur les lois, ou, plus exactement encore, sur le caractère impératif, qu'un écrivain comme Taine leur attribuait comme si ces lois devaient être d'autant plus efficaces qu'elles seraient plus générales et plus rapprochées de l'identité logique. Sur ce point, qui est essentiel, je veux citer le passage, décisif, de la thèse de Boutroux qui remonte, je le rappelle, à plus d'un demi-siècle : «La logique trahirait la science, au lieu de la servir, si, après avoir, pour la commodité de l'esprit humain, achevé artificiellement la cristallisation ébauchée par l'expérience, et donné à la forme géométrique une rigidité de contour que ne lui imposait pas la nature, elle prétendait ensuite ériger cette abstraction en vérité absolue et en principe créateur de la réalité qui lui a donné naissance. Les lois sont le lit où passe le torrent des faits ; ils l'ont creusé, bien qu'ils le suivent.»

J'insiste sur le passage, en vue de la discussion qui va s'ouvrir : il implique un renversement dans la conception traditionnelle du rapport entre les faits et les lois, renversement qui n'exclut pas la possibilité de «variations élémentaires, de transitions continues», par quoi pourrait se produire telle chose qu'«un progrès contingent du monde mécanique», selon l'expression d'Émile Boutroux. Mais, si ce renversement n'exclut pas ce «progrès contingent», il n'y oblige pas non plus. Et, pour préciser encore, il convient de se reporter au cours professé par Boutroux pendant l'hiver de 1892-1893, une vingtaine d'années après la rédaction de sa thèse, ce cours, qu'il a fait paraître aussitôt, porte sur «l'idée de loi naturelle», et le thème principal est celui-ci, formulé en conclusion d'une de ses leçons : «C'est l'erreur de la philosophie contemporaine d'avoir confondu nécessité et déterminisme». Ce que Boutroux commente ainsi : la nécessité exprime l'impossibilité qu'une chose soit autrement qu'elle n'est ; le déterminisme exprime l'ensemble des conditions qui font que le phénomène doit être posé tel qu'il est, avec toutes ses manières d'être. «La considération des lois physiques marque, si on la compare à la considération des lois mécaniques, un progrès, en ce sens que des manières d'être que la mécanique laissait indéterminées se trouvent

expliquées suivant des lois. Mais, en devenant plus étroit, ce déterminisme devient plus complexe et plus obscur, et moins réductible à la liaison analytique qui, seule, serait la nécessité.»

La première contribution que la philosophie peut fournir au débat d'aujourd'hui consiste donc à définir la double perspective d'idées suivant laquelle se présente le déterminisme des faits scientifiques, selon qu'on ira le raidir pour le faire coïncider avec la nécessité par l'intermédiaire de lois de plus en plus générales, de principes et d'axiomes, ou, au contraire, qu'on l'acceptera en quelque sorte à l'état brut comme l'ensemble tel quel des données, comme ce qui arrive, c'est-à-dire, pris au sens étymologique du mot, comme contingent. *Contingent*, *quoique* déterminé, c'est une expression qui se trouve chez Leibniz et dont Boutroux s'inspire.

Cette dualité de perspectives, qui doit servir à penser notre problème, a sa racine dans la psychologie des philosophes, et, il faut ajouter, des philosophes rationalistes. Il y a, en effet, un type de rationalisme qui consiste à poser, *a priori*, une définition de la raison ; et il n'y a rien de plus arbitraire que l'essence ou la limite d'une prétendue faculté de l'âme ; puis, une fois enfermé dans cette définition, comme dans une forteresse ou dans une prison, le philosophe, à chaque instant, suivant une tactique bien connue, pose la question de confiance à la science ou à la nature. Il est vrai que ni la science, ni la nature, ne se laissent intimider : elles refusent de ratifier le vocabulaire que la présomption ingénue du dogmatisme croyait leur imposer ; elles se font un jeu d'en briser les cadres ; et alors, à chacun des progrès ou de l'analyse ou de la physique, c'est l'explosion d'une crise nouvelle ; l'histoire, tout absurde qu'elle peut paraître, dure depuis Zénon d'Élée, et elle est toujours prête à recommencer ; car l'intérêt dramatique en compense l'absurdité. Mais l'exemple d'Émile Boutroux illustre admirablement l'existence d'un autre type de philosophes rationalistes, philosophes auxquels il faudrait, si vous aviez cette charité, accorder l'esprit de finesse plutôt que l'esprit de système. De ce point de vue le problème ne sera plus de diviser l'univers en éléments dits rationnels et en éléments irrationnels, comme le faisait la mathématique grecque (ces éléments étant d'ailleurs éternellement interchangeables : pour les Épicuriens, l'intelligible était le vide et le discontinu ; pour les Stoïciens, c'était le plein et le continu). Bien plutôt il s'agirait de discerner dans les pensées des hommes les pensées raisonnables et celles qui ne le sont pas.

Par exemple, il y a quelque vingtaine d'années, dans des séances pour nous également mémorables, où M. Jean Perrin était venu nous entretenir du mouvement brownien, certains de nos collègues en

prenaient acte pour nous offrir le réalisme de l'atome comme une vérité définitivement acquise, et nous refusions ce cadeau ; nous faisions observer que la considération du continu n'en subsistait pas moins, qu'elle correspondait à une fonction de l'esprit, elle aussi, utilisable pour l'interprétation de l'expérience, et qu'il n'y avait, en somme, aucune raison pour que l'homme, en face de la nature, se privât d'une partie de ses ressources intellectuelles.

Après avoir essayé d'éclaircir les équivoques des notions de déterminisme ou de rationalisme, je cherche comment nous arrivons à envisager la situation actuelle. Le passage du *rationnel* au *raisonnable* se trouve , en un sens, impliqué dans la *Critique de la Raison pure*. Lorsque Kant a fait intervenir l'espace et le temps comme formes d'intuition qui présideraient à notre appréhension et à notre organisation de l'univers, il a dressé en face d'une nécessité logique, qui serait le caractère des catégories et qui prétendrait à l'absolu, une détermination qui est relative aux conditions de la connaissance humaine en tant qu'humaine. Mais le relativisme de Kant est encore abstrait et schématique ; il veut faire rentrer le déterminisme dans un cadre formel de principes et de lois dont il imagine qu'il est capable d'opérer *a priori* la déduction. Or, si Kant, malgré la défiance qu'il avait, et qu'il nous a fait partager, à l'égard de la métaphysique dogmatique, s'est laissé prendre à la facilité de la déduction dialectique, nous savons aujourd'hui à quoi tient cet effet de mirage. Il tient à l'étroitesse de la base sur laquelle il exerçait sa réflexion.

Kant ne connaissait que la géométrie d'Euclide et la mécanique de Newton. Mais le problème du rapport entre l'esprit de l'homme et l'expérience de la nature ne pouvait être abordé dans ses termes exacts que par une théorie de l'instrument de mesure ; et cette théorie a son origine dans la découverte des géométries non-euclidiennes. Déjà cette découverte suffisait pour qu'il nous parût légitime, contre l'autorité d'Henri Poincaré, de prévoir qu'on n'avait pas le droit d'exclure d'avance une hypothèse où la physique aurait recours, pour rendre compte des faits d'expérience, à un espace de structure non-euclidienne. L'événement s'est produit avec la théorie einsteinienne de la gravitation, qui avait, elle-même, passé par le détour de la relativité restreinte.

Il faut ajouter que ceci n'est pas un accident ; le caractère de la science du vingtième siècle est que la technique atteint un point de perfection que, dans sa conférence à l'École Normale, j'entendais notre ami Langevin traiter d'invraisemblable. L'invraisemblable est ici le vrai. Or, à ce degré de perfection, il est arrivé que le temps ne s'est plus laissé traiter en quantité négligeable ; il nous a obligé de compter avec sa réalité physique. Nous ne pouvons mesurer les phénomènes,

coordonner les perspectives de l'univers, que sous la condition de la constance de la vitesse de la propagation lumineuse. Pour les philosophes, cette condition, malgré le nom qu'on a pu lui donner, n'est pas, à proprement parler, un *principe* ; c'est un *fait-limite* qui, pris en lui-même, est opaque pour l'esprit, mais qu'il faut introduire dans la science pour mettre correctement l'univers en équation. Et j'insiste sur ce point de terminologie, parce qu'il me paraît essentiel si l'on tient à ne pas perdre de vue le caractère du spectacle auquel notre génération a assisté. La théorie de la physique est sortie, avec Einstein, de l'impasse où elle était dans ce qu'on avait pris l'habitude d'appeler *physique des principes*. Un *principe*, c'est ce que l'esprit prétendait imposer aux choses ; un *fait-limite*, c'est, au contraire, ce que la nature impose l'homme. L'interprétation philosophique des théories de la relativité me semble tout entière liée à ce renversement de valeurs qui nous renverrait, encore une fois, à une psychologie des types intellectuels, séparant, non plus les philosophes rationalistes, mais les physiciens mathématiciens. Nous retrouverions une distinction qu'on peut faire remonter à l'origine de la science, entre mathématiciens qui prolongent la mathématique par la physique, et physiciens qui se servent des mathématiques pour apercevoir la nature au travers. Par exemple, Descartes conçoit *a priori* la forme des équations qu'il s'agira de retrouver dans le monde, tandis que, pour un Galilée ou un Pascal, la forme des équations, prise en elle-même, est quelque chose d'indifférent ; ils voient dans la mathématique un instrument, susceptible d'être incessamment refondu pour exprimer avec plus d'exactitude le cours de phénomènes plus minutieusement repérés.

En fait – et c'est la morale qui se dégagerait des théories de la relativité – les hommes parviennent à un savoir qui serre d'autant plus de près le réel qu'ils ont pris davantage conscience des conditions humaines de la connaissance, au lieu d'en faire abstraction: et c'est cette morale que nous allons retrouver à l'épreuve dans la micro-physique.

Voici donc les questions que me semble poser ce qu'on appelle la crise du déterminisme physique.

On s'explique assez bien que, devant l'étrangeté des conclusions auxquelles ils ont été conduits par l'interprétation de leurs expériences, les physiciens aient été d'abord tentés de faire appel au vocabulaire de la vieille métaphysique, qu'ils se soient repliés sur des positions qui étaient abandonnées depuis des siècles. Mais, une fois passé le premier moment de surprise ou d'émoi, ne peut-on pas considérer les choses avec plus de recul et de sang-froid ? Je fais allusion aux savants qui ont prononcé de très grands mots :

indéterminisme, *libre arbitre*. Nous nous demandons s'ils n'ont pas été victimes d'une sorte de décalage entre leur science et une philosophie, peut-être inconsciente et involontaire, mais d'autant plus dangereuse. N'ont-ils pas poursuivi, comme aux beaux temps de l'atome de Démocrite et de la déclinaison d'Épicure, une métaphysique réaliste de la nature alors que la physique d'aujourd'hui, si nous en avons bien suivi le cours et recueilli les leçons, requiert, ou plus exactement implique, une psychologie fine de la connaissance ? Il ne faudrait pas faire endosser à l'univers les erreurs d'un vocabulaire innocemment métaphysique.

Nous nous hasardons donc à vous dire : est-ce que ce n'est pas un peu le cas lorsqu'on entend parler d'un *indéterminisme objectif*, lorsqu'on entend proclamer un *principe d'indétermination* ? À moins de se faire systématiquement l'avocat du réalisme, il n'y a aucune raison de croire que le déterminisme des choses est brutalement rompu, parce que le déterminisme des phénomènes à observer, *pris en soi*, n'est pas le seul dont le savant ait à tenir compte. À côté du *déterminisme des phénomènes à observer*, il y aura lieu désormais de considérer un *déterminisme du phénomène d'observation* qui ne pourra plus être laissé de côté, en vertu, précisément, des progrès de la science, de la perfection atteinte par la technique expérimentale. Nous aurions donc à compter avec la dualité de ces deux déterminismes : l'un venant du savant, l'autre venant de la nature, qui interfèrent, en effet, dans la collision du photon et de l'électron. Mais nous aurions peut-être tort de nous plaindre si, du même coup, ils font éclater le cadre de nos préjugés métaphysiques parce que c'est bien la résistance aux préjugés qui nous démontre tout à la fois ce qu'il y a d'objectif dans le savoir scientifique, comme ce qu'il y a d'infiniment fécond dans le dynamisme mathématique de nos formes intellectuelles.

Et alors, la morale à tirer des difficultés actuelles se présentera sous un autre jour. Il y a des difficultés parce que les deux déterminismes auxquels nous venons de faire allusion n'ont pas bon caractère l'un par rapport à l'autre : ils refusent pour le moment, peut-être refuseront-ils toujours, de se laisser traiter comme les éléments d'une somme homogène : ils ne s'additionnent pas selon les règles de l'arithmétique ordinaire. Mais cela ne témoignerait-il pas qu'ils appartiennent effectivement à deux séries dont le savant peut bien dire qu'elles doivent collaborer à l'acte de connaître, sans pourtant que les conditions mêmes qui constituent la connaissance humaine nous donnent le moyen de préciser la modalité de l'interférence ? Le lieu de la rencontre a l'air de se mettre en mouvement quand nous essayons de le fixer. Il y aurait là une impossibilité de fait. De quel droit irions-nous l'ériger en principe et prétendre qu'elle soit un caractère inhérent

aux choses en soi, comme si la nature devait jamais nous être donnée à part de l'homme ?

C'est cette prétention qui me semble d'un métaphysique téméraire et même injustifiable. Philosophiquement, nous devrions simplement constater l'existence d'un *fait-limite*, peut-être aussi profond, aussi décisif que celui auquel l'homme est condamné à se heurter dans l'étude des corrélations psycho-physiologiques. Cette étude, aujourd'hui plus que jamais, apparaît susceptible d'applications scientifiques. Mais cela ne signifie nullement qu'il doive exister quelque part un endroit où la série des faits physiologiques viendrait se raccorder avec la série des faits psychiques, puisque ces faits psychiques ne seraient plus eux-mêmes s'ils venaient à être donnés dans un point quelconque de l'espace. Toute tentative pour forcer le passage apparaît contradictoire dès son énoncé même. La solution positive, dans ce dernier cas, comme dans celui que nous avons à examiner, consiste simplement à éliminer les problèmes qui n'ont pas d'existence véritable, à retenir ceux-là seuls qui se posent effectivement pour un être dont la fonction est de connaître les choses et qui précisément, parce que sa fonction est de connaître, ne peut pas se confondre avec elles.

Limitation du savoir, si l'on veut, pourvu qu'on entende par là, non une limitation d'impuissance comme celle que développent les vieux thèmes de rhétorique en se référant à un absolu imaginaire, mais limitation de sagesse que la science humaine découvre du dedans en prenant conscience de ses conditions intrinsèques d'existence. C'est de cela que témoignerait la conception si curieuse que le développement de la mécanique nous amène à nous faire des calculs de probabilité ; ce ne serait plus, comme au temps de Laplace, un simple succédané, un substitut provisoire d'une stricte nécessité causale ; bien plutôt il définirait, il «styliserait», dans ses complications inattendues, la forme sous laquelle l'accès est permis à l'homme d'un monde micro-physique qui est tellement éloigné de son échelle ordinaire. Ici encore, nous pourrions appliquer ce mot de Félix Klein, qui m'a servi de guide dans mes réflexions sur le devenir de la pensée mathématique et physique : *Il arrive bien souvent que les choses soient plus raisonnables que les hommes*. C'est pourquoi, nous qui étudions les hommes, nous nous tournons vers vous qui étudiez les choses ; et nous y trouvons l'occasion de nous instruire, de nous instruire étonnamment, mais non pas de nous scandaliser comme si l'esprit humain et la nature des choses avaient tout d'un coup dénoncé le pacte d'une collaboration, qui n'a jamais été ni plus heureuse, ni plus féconde que dans cette période de la science à laquelle le nom de Louis de Broglie demeurera attaché.

M. P. Langevin[1]. – Je viens de me sentir très près des philosophes en écoutant M. Brunschvicg ; l'opposition entre le déterminisme de la raison et celui de la nature correspond bien à l'image, telle que je me la représente, du processus de notre effort pour nous faire une conception de la réalité.

Nous sommes amenés à construire une représentation et à la confronter avec une réalité qui ne se laisse pas convaincre que nous puissions avoir raison contre elle.

Dans la première partie de mon exposé, je voulais justement rappeler que, ce que nous faisons, c'est ceci : un effort pour obtenir une représentation cohérente du réel à partir de conceptions tirées d'expériences anciennes et qui, n'expliquant pas forcément les expériences nouvelles, doivent s'y adapter. Or, la finesse de ces nouvelles expériences augmente sans cesse. Sans cesse, il faut poursuivre l'adaptation des notions anciennes. Il faut critiques ces notions, concevoir des abstractions nouvelles, modifier nos façons de penser de manière plus ou moins profonde pour arriver à l'accord désiré.

Nous nous trouvons maintenant à un moment très important de cette adaptation, comme cela a déjà eu lieu au moment de la crise de la relativité.

Au début de toute crise de ce genre, il y a toujours un conflit entre une représentation ancienne et la réponse de la réalité ; puis une période d'attente qui se traduit par un repli du physicien vers une phénoménologie ou mieux vers le phénoménisme, comme dit M. Meyerson. Repli et non pas renoncement. Période d'hésitation et de retour sur soi-même pour reprendre plus complètement et plus consciemment contact avec la réalité. Jamais le physicien ne renonce à recommencer l'effort, et chaque fois il en tire de nouveaux résultats. Une représentation plus complète, plus satisfaisante nous récompense. L'Énergétisme, qui fut motivé par les premières difficultés du mécanisme, a été suivi d'un renouveau de la théorie cinétique qui nous a permis de comprendre la nature profonde et les limitations du principe de Carnot.

Nous sommes en ce moment en présence d'une nouvelle crise du mécanisme ; je voudrais tout d'abord souligner ce qu'il y a d'anthropomorphique et d'ancestral dans le mécanisme au sens généralisé et dans les notions fondamentales qu'il introduit, comme

---

[1]. M. Langevin n'ayant pas eu le loisir de rédiger ses interventions, nous publions ici la rédaction qui en a été faite d'après les notes prises au cours de la séance et qui a été revue par lui.

celle de point matériel, conçu comme limite, d'objet individualisé, comme celle de force, etc. On se construit du monde une image analogue à un système planétaire très complexe ; le monde y est supposé constitué par des particules soumises à des actions mutuelles et dont on imagine qu'on pourrait suivre le comportement individuel. La particule est la traduction concrète du point matériel qui est une abstraction. Cette individualité concrète est supposée porter une étiquette qui la suivra dans son devenir et nous pensons pouvoir en suivre individuellement le comportement.

Il se trouve que cette conception a plusieurs fois abouti à des échecs, et c'est dans l'intervalle de ces échecs qu'est apparue la théorie ondulatoire. Aujourd'hui, on assiste à un nouveau succès de la théorie ondulatoire, qui vient compléter la théorie corpusculaire, si même elle ne la remplace pas. La théorie ondulatoire, elle aussi, utilise des notions abstraites déduites de l'expérience, comme l'abstraction nous a fait déduire le point matériel ou le corpuscule de l'expérience des objets. Ce sont les formes mouvantes des surfaces liquides qui sont à l'origine de la notion d'onde et, par conséquent, de l'idée plus ou moins abstraite que nous nous faisons des ondulations de l'éther ou des perturbations du champ électromagnétique. Abstractions progressives, issues de l'expérience ancestrale, comme dans le cas des corpuscules.

Actuellement, nous éprouvons la nécessité de préciser et de sublimer de nouveau les notions mécaniques et de concilier les concepts corpusculaires, issus de l'objet, avec la notion ondulatoire, issue de la forme mouvante. La conception de Bohr, d'un atome constitué par un noyau et des électrons planétaires, est une extrapolation, c'est-à-dire une transposition des conceptions de la mécanique céleste dans le domaine intra-atomique ; cela non plus n'a pas réussi, malgré un succès initial dans le cas d'un seul électron ; mais, dans le cas où on envisage deux électrons ou plus, les méthodes de la mécanique céleste n'aboutissent pas.

Grâce à Louis de Broglie et à ses continuateurs, une nouvelle conception s'est fait jour où l'élément ondulatoire est prédominant et se montre plus apte à représenter la réalité. On a constaté alors qu'il était difficile de maintenir dans ce problème les notions d'ordre corpusculaire sous leur forme ancienne où l'on suppose pouvoir connaître avec précision à la fois la position et la vitesse de chaque corpuscule.

Tel est le sens profond du *Principe d'indétermination* : *on a dû renoncer à suivre le comportement individuel* de l'électron dans l'atome. Si l'on considère l'électron comme une planète dont on peut suivre l'*individualité*, on est conduit à énoncer le Principe

d'Indétermination ; il est impossible de connaître à la fois avec précision la position de l'électron et son état de mouvement. On donne même, par l'intermédiaire de la constante de Planck, avec précision, la mesure de cette indétermination. Indétermination un peu singulière, déterminée par une constante que l'on connaît avec trois décimales.

Dans la théorie de la lumière, à côté des ondes, on a dû introduire des photons. Pour la lumière comme pour la matière, on a dû renoncer à suivre les trajectoires individuelles du photon, de l'électron, du proton. Aussi, au congrès Solvay, Dirac a-t-il employé l'expression suivante : la nature fait son choix à chaque instant ; l'électron, qui n'a pas de comportement imposé, choisit à chaque instant entre les diverses possibilités, ce qui revient à postuler sa liberté comme conséquence de son individualité ; mais je ferai avec Brunschvicg la remarque suivante : cette indétermination n'est pas dans la nature des choses, mais dans les représentations par lesquelles nous voulons interpréter la nature des choses.

C'est parce que nous voulons représenter les phénomènes par des mouvements de particules que nous nous heurtons à des difficultés. C'est cette conception qu'il faut incriminer, et non la réponse hésitante de la réalité ! Au fond, il y a indétermination dans la manière dont la question est posée. Cette manière de poser la question est le résultat d'anciennes conceptions ; c'est l'histoire qui nous y a conduits. S'il y a indétermination dans la réponse de la Nature, c'est que la question est mal posée.

Les notions introduites par extrapolation ne sont pas celles qui conviennent ; il faut changer la position de la question, comme on dit au Parlement.

Il n'y a pas d'analogies complètes en Physique, sans quoi la solution des difficultés nouvelles serait immédiate par analogie avec les anciennes ; cependant, la crise de la relativité peut nous donner des indications utiles.

L'éther de Lorentz, pensait Michelson, aussi sublimé qu'il soit devenu, est cependant resté le support doué d'immobilité dont a besoin l'idée du mouvement absolu, et on doit pouvoir déterminer le mouvement d'un système par rapport à des axes absolus, fixes par rapport à l'éther. Or toute expérience faite à l'intérieur d'un système en mouvement de translation donnait toujours le même résultat, alors qu'on savait très bien que la vitesse de cette translation avait changé. La nature ne voyait aucune différence là où la théorie physique en voyait une ; d'où la théorie de la Relativité restreinte. On n'a pas cependant conclu à la liberté du système de prendre telle vitesse qu'il voulait ; on n'a pas imaginé de possibilité de choix de la vitesse. Mais on a assisté à un progrès admirable : après que la relativité restreinte

eut confirmé que le mouvement de translation d'ensemble est indifférent au point de vue des expériences physiques, la Relativité généralisée a montré que cette indifférence avait un sens profond au point de vue épistémologique.

Nous commençons, à l'heure actuelle, à avoir des indications précises sur le sens dans lequel il faut modifier les notions corpusculaires pour les rendre plus adéquates et les rapprocher de notions ondulatoires qui sont mieux adaptées à la représentation des phénomènes.

Depuis quelques années, se sont développées de nouvelles statistiques qui manifestent nettement la nécessité de renoncer à la notion d'individualité corpusculaire. La mécanique statistique de Boltzmann et de Gibbs était fondée sur l'idée qu'on peut attribuer une individualité à chaque atome, à chaque molécule ou à chaque système complexe. Une telle conception se caractérise donc par l'attribution d'une individualité à chaque particule. C'est parce qu'on a renoncé à l'individualité des particules que les nouvelles statistiques ont pu se développer. Par exemple, le nombre des possibilités de réalisation d'un certain mode de vibration de la lumière à l'intérieur d'une enceinte doit s'évaluer en considérant comme indiscernables deux photons de même énergie.

Les différents photons n'interviennent que par les nombres d'entre eux qui sont associés aux différents modes de vibrations.

Le nombre global des photons de chaque sorte importe seul. Des considérations analogues s'appliquent aux corpuscules matériels associés aux ondes de De Broglie et de Schrödinger. Il est vrai qu'il y a en réalité, à cet égard, deux statistiques différentes : pour les atomes électriquement neutres comme pour les photons, à chaque mode de vibration peuvent être associées des particules en nombre quelconque. Pour les électrons (*principe d'exclusion de Pauli*), chaque mode vibratoire ne peut être représenté que par 0 ou 1 électron. Mais peu importe l'individualité, et en ceci les nouvelles statistiques s'opposent à celles de Boltzmann et de Gibbs, qui supposent l'individualité des particules. Les nouvelles statistiques sont fécondes, au contraire, par ce fait qu'elles ont renoncé à attribuer une individualité aux particules. En y faisant intervenir des particules, on ne prétend plus suivre leur devenir individuel, mais simplement savoir combien d'entre elles interviennent. C'est le point essentiel sur lequel s'accordent les nouvelles théories. Cela nous change beaucoup. Il faut renoncer à attribuer aux particules une existence individuelle, car il est d'un anthropomorphisme inadmissible de transposer la notion de personnalité et de l'attribuer aux particules dans le monde microphysique. En physiologie, en biologie, en sociologie,

l'individualité n'apparaît que dans la complexité. La biologie présente des formes protoplasmiques inclassables en individus. Nous partons d'une conscience humaine qui réalise le maximum de complexité. Il peut n'être pas légitime de transposer la notion d'individualité qui s'est introduite d'abord dans le domaine le plus compliqué et de l'introduire dans le domaine corpusculaire qui est tellement plus simple. Individualité, force, liberté sont des notions anhropomorphiques. On a déjà renoncé à la notion de force. Pour l'individualité, on est en train d'y renoncer. Si nous voulons conserver la notion d'individualité corpusculaire, il faut y ajouter la liberté. Il est plus simple, et c'est la voie que nous indiquent les statistiques, de renoncer à l'individualité, et l'exigence de liberté ne se pose plus. La micromécanique ne pose pas de problèmes analogues aux problèmes humains.

Il nous faut maintenant confronter les points de vue ondulatoire et corpusculaire. Ils correspondent chacun à des notions abstraites de l'expérience ancestrale. L'expérience exige que nous leur fassions subir des modifications pour mieux les adapter ; mais le point de vue ondulatoire semble exiger des remaniements moins profonds que le point de vue corpusculaire. En développant la mécanique ondulatoire, on a pu constater que la propagation des ondes était mécaniquement définie ; il ne s'est pas présenté d'indétermination ; pour les corpuscules, on s'est trouvé en face d'une indétermination ; mais c'est là où l'anthropomorphisme était le plus net, le plus sensible. Bien souvent une difficulté ou une indétermination correspond à la façon dont nous posons la question : on sait qu'en vertu du principe d'indétermination d'Heisenberg il n'est pas possible de déterminer simultanément la position et la vitesse d'un corpuscule. Cela correspond à un fait mathématique : soit une courbe $y = U(x)$ représentant les variations de la fonction $U(x)$; on sait qu'il y a deux moyens de la représenter : 1° le moyen qui correspond aux procédés de Dirac ; il consiste à se donner les valeurs de y pour chaque valeur de x et à tracer la courbe point par point. Il peut arriver que la courbe ainsi construite soit localisée en une certaine région ; 2° le procédé de Fourier : toute fonction (satisfaisant aux conditions de Dirichlet), dans un domaine quelconque, peut être représentée par une somme de fonctions périodiques. Si on la représente dans un intervalle fini, il suffira d'une somme de termes discontinus ; ce sera une intégrale de Fourier si on représente la fonction dans un intervalle infini ; on peut toujours réaliser une fonction de forme quelconque en superposant des fonctions sinusoïdales dont les périodes varient de l'une à l'autre.

On peut alors se poser deux questions : *a*. au sens de Dirac, on peut se demander quelle est la *situation* exacte de la fonction et si elle n'est réalisée que dans certains points ; à la limite, la fonction la plus

simple est celle qui n'a de valeur différente de zéro qu'en un point ; *b*. au sens de Fourier, on peut se demander quelles sont les fréquences qui interviennent dans une certaine fonction : la fonction la plus simple sera celle qui n'aura qu'une seule fréquence, c'est-à-dire la fonction sinusoïdale pure. Mais une fonction pure au sens de Fourier s'étend partout, donc ne peut pas être pure au sens de Dirac. Et si la fonction est pure au sens de Dirac, elle exige un nombre infini de fréquences, donc elle est impure au sens de Fourier.

Vouloir que la fonction soit simple à la fois au sens de Fourier et au sens de Dirac est une exigence dépourvue de signification ; la fonction existe dans les deux cas, mais nous ne nous étonnons pas qu'elle ne puisse être simple à la fois aux deux points de vue, dans les deux représentations.

La nature nous fait la même réponse pour la position et la vitesse des électrons. Cela prouve que la théorie corpusculaire pose mal la question. L'histoire montre qu'il faut modifier l'abstraction corpusculaire ; il faut passer à un degré supérieur d'abstraction et abandonner l'individualité. Le phénoménisme est une position de repli bonne aux physiciens pour «cogiter» ; mais ce serait lâcheté de ne pas repartir à l'assaut.

En terminant, soulignons un fait qui prouve que cette indétermination n'est pas tellement foncière et fondamentale, le fait que nous la mesurons par la constante *h* de Planck égale à $6{,}55.10^{-27}$ cgs ; c'est une indétermination si déterminée qu'elle doit signifier une possibilité de compréhension plus profonde.

La théorie nouvelle jouera, pour la constante de Planck, le rôle que la relativité restreinte a joué pour la constante c de la vitesse de la lumière. Notre espoir immédiat est de faire pour *h* ce que la relativité restreinte a fait pour *c*.

M. L. Brunschvicg. – Il serait superflu d'insister sur le profit que les philosophes auront à retirer de ce que vient de nous expliquer Langevin. Il nous a montré admirablement comment, au point de départ, les images de la représentation vulgaire et les formes simples de la mathématique sont des appuis pour la science, et comment il arrive un moment où elles l'abandonnent, et se tournent en obstacles pour ceux qui s'obstinent à leur faire confiance. Et il y a une raison profonde à cela : c'est que ni le modèle d'imagination sensible, ni l'idéal d'expression mathématique, n'est homogène à lui-même ; de part et d'autre, on se heurte à une dualité dans la définition de ce qui devrait être, soit l'intelligence pure, soit l'expérience pure. Mais, si j'ai pris la parole, ce n'est pas pour continuer à me faire entendre : c'est, puisque Jean Perrin, retenu par son cours, ne peut assister à la séance

d'aujourd'hui, pour rappeler ce qu'il disait dans une conférence à l'École Normale, que vient de publier la *Revue de Métaphysique* : «Il est probable que l'univers, en son ensemble, quand on le prend dans des proportions de plus en plus vastes, devient de moins en moins euclidien. De même qu'on ne peut dresser de carte plane sur la terre entière, on ne peut faire de carte à trois dimensions qui représente l'univers entier. Une limitation plus grave nous arrête, si nous allons vers des choses de plus en plus petites (Bohr). Il semble qu'à condition d'aller assez loin, les vieilles notions familières d'*espace* et de *temps* disparaissent; on ne peut plus faire d'image. Je pense que c'est de l'anthropomorphisme que de tâcher de dessiner ce qui se passe à l'intérieur d'un atome d'hydrogène.»

M. Louis de Broglie, invité à présenter des observations, déclare qu'il se trouve entièrement d'accord avec M. Langevin. Cependant, il tient à signaler une contradiction que les théories nouvelles n'évitent pas.

La perte de l'idée d'individualité est importante : l'idée de corpuscules individuels ne peut pas être conservée, et cependant on ne peut concevoir un corpuscule sans individualité ; il doit y avoir quelque chose de faux dans cette notion.

M. P. Langevin. – Mais, dans un espace à *n* dimensions, est-il impossible de retrouver l'équivalent de la notion d'individualité ? Et ne peut-on pas espérer un progrès de la mécanique ondulatoire ? Je persiste à en voir un signe dans le caractère déterminé de l'indétermination ; je crois que l'introduction de la liberté est en corrélation avec le maintien de l'individualité corpusculaire.

M. Édouard Le Roy. – Un mot seulement. M. Langevin vient de dire, mieux certainement que je ne l'eusse fait, cela même que je voulais indiquer. L'accord entre nous est absolu sur ce point. Je n'ajoute qu'un exemple, peut-être plus facile à saisir.

La Statique élémentaire, telle qu'on l'enseigne dans les classes des lycées, connaît déjà des indéterminations analogues, lorsqu'elle étudie certains problèmes d'équilibre concernant les corps solides qui reposent par plusieurs points sur un plan. Les réactions de celui-ci sont alors indéterminables. Mais il n'est jamais venu à l'idée de personne de prétendre qu'elles soient réellement indéterminées, ni moins encore que le solide en choisisse lui-même la valeur. Que dit-on en pareil cas ? Tout simplement ceci. La Statique élémentaire est partie d'une abstraction : celle du *solide parfait*. Or les solides naturels ne répondent qu'à peu près à cette abstraction ; en réalité, ils sont

toujours déformables ; et, si l'on fait intervenir leur élasticité, les calculs sans doute deviennent plus compliqués, mais il n'y a plus d'indétermination.

Eh bien ! Ne pourrait-on pas dire, en microphysique également, que l'idée commune de matière, conçue comme se suffisant pour exister sous la forme discontinue d'un morcelage spatial, n'est – elle aussi – qu'une abstraction, valable seulement jusqu'à un certain point d'analyse, et qu'on retrouve en elle sous les espèces d'une indétermination apparente ce qu'en la concevant on y a mis de trop schématique et d'irréel ? C'est ainsi qu'on raisonnait tout à l'heure, en Statique : on reconnaissait être parti d'une abstraction suffisante pour débrouiller le gros de certains phénomènes, mais qui devient caduque lorsqu'on veut une étude plus fine. Je crois que c'est exactement la même chose qui se passe dans le cas dont nous parlons. Le physicien est averti, par l'indétermination rencontrée, que son idée de la matière correspond à une certaine abstraction qui a été suffisante jusqu'à un certain degré atteint par le développement de la science, mais qui tombe maintenant en défaut.

On peut même entrevoir déjà ce que l'abstraction initiale a d'excessif, ce qu'il convient d'y corriger, d'y introduire. Elle donne sans doute une idée trop simple de la structure matérielle, en posant par une sorte de postulat implicite que l'espace commun suffit à la représenter. Ce qui serait à changer, ce serait donc la façon de concevoir l'unité individuelle dans le monde physique. Plus d'éléments dont l'individualité soit définie par le seul moyen d'une localisation ponctuelle ou quasi-ponctuelle ; on devra sans doute considérer les éléments de matière comme inséparables d'ensembles continus, ou plutôt comme des complexes ayant un double aspect, deux modes corrélatifs de fonctionnement ; et l'on voit dès lors se dessiner en effet une véritable analogie avec une situation bien connue depuis longtemps dans le monde biologique.

M. Arnold Raymond. – Je dois à la bienveillante amitié de M. Xavier Léon le grand privilège d'assister à cette séance et je lui en exprime toute ma reconnaissance. L'honneur qu'il veut bien me faire en m'invitant à prendre la parole me rend confus et je ne voudrais pas en abuser. Qu'il me soit permis cependant de poser une question en la justifiant aussi brièvement que possible.

En retraçant l'évolution de la pensée philosophique au cours de ces derniers siècles, M. Brunschvicg a admirablement montré comment le déterminisme avait été envisagé suivant deux conceptions

rationalistes qui s'opposent, l'une dogmatique, l'autre critique et toujours prête à s'élargir lorsque surgit un nouveau fait-limite.

D'autre part, M. Langevin nous a exposé, en un saisissant raccourci, les récentes transformations de la physique et comment il fallait abandonner l'idée anthropomorphique d'une matière qui se résoudrait en éléments individuels et qui serait soumise aux déterminations exigées par la mécanique classique.

Je voudrais, à ce propos, essayer de caractériser comme suit la difficulté qui m'embarrasse.

Il y a un déterminisme (celui de la mécanique classique) qui est explicite et pour lequel les circonstances initiales d'un phénomène individuel sont parfaitement déterminées. Cela étant, il est possible de prévoir et de suivre dès le début les phases successives dudit phénomène (par exemple, la descente d'un corps sphérique sur un plan incliné).

Mais il existe un déterminisme implicite tel qu'il découle des lois statistiques. Ce déterminisme n'a de sens que si les conditions initiales des phénomènes individuels restent indéterminées et comportent l'égalité des cas possibles qui seule permet l'application du calcul des probabilités.

L'opposition entre les principes de ces deux genres de déterminisme est aussi complète que possible et on ne voit pas comment les faire dériver l'un de l'autre.

Je veux bien que l'égalité des cas possibles ne soit pas l'indétermination pure, en ce sens qu'elle est renfermée dans les limites imposées par la nature des faits que l'on envisage. Dans l'expérience de pile ou face il n'y a par exemple que deux cas possibles. On exclut entre autres le cas où la pièce de monnaie en retombant sur sa tranche se fixerait dans cette position.

Il n'en reste pas moins qu'il y a toujours une zone d'indétermination (si restreinte qu'on la suppose), qui assure l'égalité des cas possibles. Pour expliquer l'existence de cette zone on peut sans doute, lorsqu'il s'agit d'un fait isolé, invoquer la multiplicité des causes agissant sur lui et, lorsqu'il est question d'un ensemble de faits individuels, faire appel à l'interférence de leurs déterminations respectives.

Mais cette hypothèse n'est pas entièrement satisfaisante, puisqu'elle suppose que des circonstances multiples, indépendantes les unes des autres, s'équilibrent cependant de façon à produire l'égalité des cas possibles. On ne voit pas alors pourquoi l'indépendance postulée aux débuts se traduit finalement par un résultat qui s'affirme toujours dans le même sens au cours de l'expérience.

Les deux genres de déterminisme restent donc, pour la pensée, irréductibles l'un à l'autre. Le fait est d'autant plus troublant qu'ils peuvent l'un et l'autre se réclamer de l'expérience.

Cela est évident pour le déterminisme explicite de la mécanique classique ; mais l'indétermination initiale que réclame le déterminisme implicite paraît non moins légitime, et cela dans la mesure où les postulats d'une théorie se vérifient expérimentalement par l'accord de leurs conséquences avec la réalité. En effet, du moment que le calcul des probabilités appliqué à un ensemble de faits individuels explique leur comportement, il faut bien, semble-t-il, que le principe de l'égalité des cas possibles traduise une manière d'être indéterminée de ces faits.

M. Langevin, si je l'ai bien compris, estime que les phénomènes appelés par nous individuels sont en réalité déjà très complexes et que leur individualité disparaît à l'échelle microscopique que les progrès récents de la physique permettent d'atteindre. Il en résulterait que le déterminisme explicite est une approximation et n'a rien de fondamental ; quant au déterminisme implicite, il ne faut pas interpréter l'égalité des cas possibles sur laquelle il repose comme se rapportant à des éléments individuels.

Mais, et c'est là la question que je voudrais poser à M. Langevin, si on laisse tomber l'opposition de l'individuel et du collectif envisagé comme une somme d'individus, n'y a-t-il pas une opposition radicale qui subsiste, à savoir celle du discontinu et du continu ? Comment concevoir cette opposition sans faire appel à des réalités arithmétiquement distinctes, donc individuelles ? Alors même que le discontinu serait envisagé comme une interférence de continus ou comme une concentration du continu en certaines régions du temps et de l'espace, encore faut-il pour cela admettre une certaine dislocation au sein du continu.

Et si l'opposition du continu et du discontinu implique des réalités arithmétiquement distinctes, le problème posé par l'existence de deux genres de déterminisme subsisterait dans son intégrité, ainsi que l'opposition des principes qui leur servent de fondement.

M. P. Langevin. – La question posée est des plus délicates ; il faut renoncer à l'idée que représente l'individualité de corpuscules matériels ou lumineux ; mais il est certain que le discontinu subsiste : il se présente à nous ; certains éléments nécessaires à notre description ne peuvent varier que de façon discontinue ; c'est ce que montrent les nouvelles statistiques. Par exemple, considérons l'intérieur d'une cavité remplie de rayonnement et étudions l'état du rayonnement intérieur. Comme conséquence des conditions aux limites existant sur

les parois, il y a un certain nombre de vibrations possibles comme dans le cas des tuyaux d'orgues : mais, dans le cas du tuyau sonore, chaque mode de vibration est susceptible d'un degré d'excitation quelconque, et à cause du nombre énorme de molécules d'air, nous admettons que ces degrés peuvent varier d'une manière *continue*. Mais dans un récipient plein de rayonnement, chaque mode de vibration n'est susceptible de varier que par degrés *discontinus* ; à chacun de ces modes de vibration sont liés 0, 1, 2, 3 photons ou davantage.

Donc, dans un récipient susceptible d'un certain nombre de modes de vibration, à chacun de ces modes sont associées des énergies variant proportionnellement à des nombres entiers ; les degrés d'excitation sont discontinus.

C'est là le fait fondamental que l'on interprétait dans les théories anciennes, en admettant la présence de particules associées par nombres entiers à chaque mode de vibration, particules auxquelles on attribuait une individualité. L'existence d'une discontinuité dans les degrés d'excitation n'exige peut-être pas qu'on aille aussi loin et qu'on la représente par l'intermédiaire de la notion de particule.

Dans l'esprit de ces théories, on doit dire qu'il y a un certain nombre de molécules associées à la vibration, peu importe lesquelles, mais il y en a un certain nombre.

M. P. Valéry. – Je me reporte à la communication de M. Langevin tout à l'heure. Il conçoit de grands espoirs. J'avoue ne pas pouvoir les partager.

Je crois que nous en sommes à un point critique, – au moment d'une crise de l'*imaginabilité*. Il me semble – c'est peut-être un faux souvenir ? – que ce mot a déjà été prononcé par Helmholtz. Helmholtz s'était inquiété de cette question, qui devient aujourd'hui pressante, mais qui pouvait ou devait se poser à toute époque de l'explication physique.

En somme, je suis beaucoup moins optimiste que M. Langevin quant à l'avenir des représentations. Pouvons-nous raisonnablement parler en termes visuels de choses que suppose la vision ? Tenter d'imaginer un *photon*, n'est-ce pas introduire insidieusement un *photon du photon* ?

N'en sommes-nous pas au point où il faut prendre une décision quant aux images et à leur rôle ? Voilà une question pour philosophes.

Je me demande si le système de nos images possibles ne serait pas à définir et à délimiter, à moins que cela ne soit déjà fait.

M. P. Langevin. – Je devrais laisser la parole aux philosophes, mais enfin je puis dire que nous avions déjà agité la question chez M. Meyerson.

L'imagerie dont vous parlez, et qui nous est tellement commode pour nous représenter les choses, est objet d'évolution et d'adaptation. C'est un fait expérimental que le concret et l'abstrait n'ont au fond qu'un sens relatif, et que l'abstrait devance le concret : un chapeau nous paraît parfaitement concret, mais si nous y réfléchissons, c'est déjà une abstraction parfaitement complexe ; parce qu'elle est la synthèse de possibilités de sensations. L'image atteint déjà un degré d'évolution extrêmement élevé, et pourtant l'enfant la saisit spontanément et facilement, parce qu'il y a derrière lui toute l'expérience ancestrale.

Je me reporte à mes premières années de physique où la notion de potentiel était encore extrêmement abstraite ; Mascart, qui l'a introduite en France, était appelé le «Chevalier du potentiel» ; c'était l'abomination de la désolation de parler du potentiel ; c'était l'abstraction la plus éhontée que l'on pût imaginer. Aujourd'hui, le moindre ouvrier électricien a le sens concret d'une différence de potentiel ; il l'a associée, suivant son degré d'instruction, soit à l'ensemble des expériences de laboratoire qu'il a pu faire, ou à la notion purement sensible des secousses qu'il a éprouvées, quand la sensation a dépassé une certaine limite ; et la notion de différence de potentiel ou de tension électrique est en train de passer au rang des idées concrètes.

Je suis convaincu que dans quelques dizaines d'années, ou de siècles, ce que nous devons introduire pour représenter ces choses difficiles actuellement, pour associer l'onde aux corpuscules, sera peut-être passé au rang des idées parfaitement familières.

M. P. Valéry. – Je ne puis penser que l'on arrive à *voir* imaginairement une couleur de plus que les couleurs connues ; ou à ressentir imaginairement une sensation qui se grouperait avec le chaud et le froid pour former un groupe plus riche de sensations thermiques… Et je ne crois pas que nous puissions être plus heureux dans l'ordre des représentations tactiles, motrices ou visuelles. Les progrès me semblent devoir se réduire à des combinaisons ou à des coordinations qui de rares deviennent fréquentes, – d'insolites, familières, – de difficiles, faciles ; mais non d'actuellement impossibles, possibles.

C'est là, d'ailleurs, ce qui distingue notre faculté de *savoir* ou de concevoir, de notre *pouvoir*, lequel est en quelque sorte *illimité*, ou plutôt indéterminé dans son extension à cause de l'emploi des *relais*.

M. P. Langevin. – Je crois que cela est plus complexe et que la concrétisation progressive d'une notion primitivement abstraite est possible et repose sur des possibilités de liaisons nouvelles entre des sensations ou des groupes de sensations.

M. P. Valéry. – En mathématiques, il y a déjà des limites assez promptement atteintes (quoique très différentes dans les divers esprits).

M. P. Langevin. – Il ne faut pas abandonner l'image, mais la modifier.

M. P. Valéry. – Il y aurait avantage à reprendre le problème des images dans l'intention d'étudier le rendement de ce mode de connaissance. Je ne crois pas cependant que nous puissions acquérir la notion de formes ou de liaisons radicalement nouvelles.

M. P. Langevin. – Parce que vous ne pensez qu'à l'expérience ancestrale. Mais il y a l'avenir devant nous et même le présent. Je vous ferai, à cet égard, un aveu : dans les premières années où j'ai enseigné au Collège de France, mon enseignement portait sur les ions. J'avais un garçon de laboratoire qui nous aidait à préparer les expériences ; il nous entendait parler d'ions, et il était d'un fanatisme ionistique tout à fait touchant ; il était «l'homme à montrer dans les foires comme l'homme qui avait vu les ions» ; et, pour nous avoir vu travailler et employer ces expressions, il les employait lui-même avec beaucoup de précision.

M. P. Valéry. – Quelqu'un est allé jusqu'à dire que «Curie voyait l'énergie».

M. P. Langevin. – C'est moi.

M. Léon Brunschvicg. – Je n'interviens que pour donner un renseignement. Le fascicule du *Journal de Psychologie* qui a paru il y a quelques jours (15 nov. – 15 déc. 1929) contient une très importante étude sur les *Images* de M. Ignace Meyerson. Il y analyse et il y confronte une série de travaux qui ont pour but de suivre le mouvement de l'imagination à partir de la donnée sensible vers la signification de pensée. Je crois qu'en nous reportant à ces travaux nous y gagnerions de couper décidément court à toute confusion entre les deux sens que l'on donne communément à ce malheureux mot

d'*image* : ou représentation directe d'un objet concret, ou métaphore qui en crée l'illusion par un artifice de style.

M. Édouard Le Roy. – Il me semble que la question de M. Paul Valéry appelle une réponse très simple. Le mot «voir» n'a point une signification immuable, fixée une fois pour toutes, mais un sens mobile et progressif que le travail scientifique enrichit sans cesse. Voici un objet quelconque de l'expérience commune. C'est essentiellement pour nous un centre de gestes. Eh bien ! les objets propres de la science répondent à la même définition. Seulement l'activité du savant est plus riche, plus complexe ; elle est capable de gestes plus variés. De là pour lui d'autres objets, qui d'ailleurs ne sont pas moins solides, moins consistants, moins concrets : au contraire, on peut sans paradoxe les juger plus réels que ceux de l'expérience commune. Et ceci n'est pas vrai du seul physicien. La pure mathématique donnerait lieu encore aux mêmes remarques. Une fonction – dont le mathématicien exercé estimera qu'elle a une existence véritable – n'est pas une entité arbitraire, construite par simple jeu logique : elle a une physionomie propre, un caractère que l'on apprend à connaître, un certain type d'organisation et un certain rythme d'allure qui lui font une réalité aussi positive que celle de l'objet sensible le mieux défini, quoique d'un autre ordre. Il ne faudrait pas me pousser beaucoup pour me faire dire qu'on «voit» de tels objets aussi vivement que ceux de l'expérience commune.

M. P. Langevin. – Actuellement les ingénieurs électriciens qui, en électro-chimie, se servent des imaginaires, leur donnent un sens réel. Ce qui est déconcertant, car, dans ma jeunesse, le mot seul d'*imaginaire* éveillait l'idée de quelque chose d'impossible à atteindre. Maintenant, l'ingénieur électricien est habitué à se représenter une tension alternative quelconque par des imaginaires ; et la notion d'imaginaire a pris par là un sens concret indépendamment de l'usage géométrique.

M. L. Brunschvicg. – C'est le sens du mot concret qui a changé.

M. M. Winter. – La description spatio-temporelle des phénomènes est complètement différente de leur représentation statistique. Que faut-il donc penser des nouvelles méthodes de description géométrique d'Einstein fondées sur le parallélisme absolu ? Et que deviennent-elles par rapport aux nouvelles théories de la microphysique ? L'ordre de grandeur suffit-il à tout expliquer ?

M. P. Langevin. – Pour le moment, elles ne s'appliquent qu'au domaine du continu ; on ne désespère pas d'extraire le discontinu du continu. Schrödinger a montré que des équations de la mécanique ondulatoire on peut tirer des solutions discontinues ; il n'est pas interdit d'espérer qu'il puisse en être de même pour les équations du champ continu de la nouvelle théorie unitaire d'Einstein.

M. M. Winter. – Mais, pour Einstein, le principe du déterminisme classique semble être un postulat de base. Ce point de vue est abandonné par Heisenberg et Bohr.

M. P. Langevin. – Mécanique ondulatoire et théorie d'Einstein sont peut-être des points de vue différents ; mais les méthodes d'Einstein ne sont pas à abandonner ; Einstein lui-même a fait des réserves sur les quanta et affirmé sa confiance dans l'attitude déterministe.

M. M. Winter. – Il semble cependant que la nouvelle mécanique statistique renonce définitivement à ce mode d'explication.

M. L. Robin. – De mon point de vue d'historien de la philosophie grecque, je ne pouvais m'empêcher, en entendant cette discussion, de penser à la conception, rappelée par M. Brunschvicg dans son exposé, de l'atomisme chez Épicure. Pour lui, les atomes sont de petites masses solides individuelles et possédant un pouvoir propre de «déclinaison», c'est-à-dire un pouvoir de s'écarter de la verticale de chute, donc l'initiative de mouvements qui échappent au déterminisme physique et qui, par leur contingence, rendent possible notre liberté. Mais, d'autre part, il y a un second plan qui, dans la théorie épicurienne, est le plan de la vie des dieux. Les dieux ont, en effet, une existence continue et fluide, une existence en quelque sorte «ondulatoire», à laquelle font défaut l'individualité de la personne et celle du mouvement. Il y a là deux plans qui sont tout à fait différents l'un de l'autre. En somme, pour Épicure, c'est une exigence de notre vie sensible que nous soyons dans le plan, non pas du continu, mais du discontinu, le seul qui donne lieu à une vie individuelle et indépendante, où nous puissions avoir l'initiative de nos actions. La «déclinaison» exprime pour lui l'indéterminisme physique et conditionne la béatitude volontaire du Sage, qui n'est pas un dieu, mais qui peut s'en rendre l'égal. M. Valéry parlait justement tout à l'heure de l'imagerie scientifique. Celle dont vous vous servez serait donc, en réalité, fort ancienne.

M. P. Langevin. – Nous sommes contraints de la modifier.

M. L. Robin. – Sans doute, nous travaillons sans cesse à *accommoder* notre vision de l'univers. Mais, enfin, le problème qui est discuté aujourd'hui est un vieux problème, qui ne change pas : c'est de savoir si le déterminisme physique pèse sur nous d'une façon absolue et inéluctable, ou s'il ne comporte pas des dérogations. Vous en changez la figure de temps en temps pour l'adapter à l'ensemble actuel de vos représentations scientifiques, et nous ne désespérons pas de rapprocher les hommes des dieux et de faire descendre le ciel sur la terre.

M. Poirier. – J'hésite à intervenir, n'ayant qu'une compétence bien insuffisante. Mais je voudrais poser simplement une question à M. Langevin. Le principe d'indétermination s'applique aux phénomènes intraatomiques considérés individuellement. Or, d'une part, nous savons qu'il existe des atomes, des électrons individuels. D'autre part, nous pouvons prévoir par des lois des configurations intérieures des atomes, soit que nous usions des principes de Bohr, soit que nous acceptions ceux de Schrödinger. Il est vrai qu'il s'agit en ce cas d'une sorte d'atome statistique, qui représente en quelque sorte, photographiés les uns par-dessus les autres, un grand nombre de processus individuels. Il est naturel de penser que, si la science ne peut nous décrire que cet atome, il faut faire intervenir une notion supplémentaire, celle de probabilité de présence d'un électron individuel en telle ou telle région ; de représenter celui-ci par une sorte de bande en chaque point de laquelle il a plus ou moins de chances de se trouver. Ainsi l'électron individuel a sans doute une trajectoire simple, mais celle-ci ne peut être déterminée, elle n'a pas de lois. Quant à l'électron dont nous connaissons les lois, il est une vue de l'esprit, il n'a pas de trajectoire précise, il occupe une région au moyen d'une densité de probabilité variable (en supposant que les identifications soient exactes). C'est lui que l'on peut, à la rigueur, considérer comme un paquet de probabilités ; c'est à lui que l'applique l'autofonction de Schrödinger (les autovaleurs correspondant sans doute à quelque chose dans les atomes individuels[2]).

Supposons que ce soit là le dernier mot de la science expérimentale. Les faits individuels sont inconnaissables, les faits connaissables sont fictifs. Faut-il en conclure que les processus individuels, échappant à toute expérience, n'ont pas de lois, de déterminisme intérieur, qu'ils n'ont pas, au sens propre, de structure ? C'est appliquer arbitrairement

---

[2]. Il y a, d'ailleurs, une autre autofonction liée à l'ensemble des atomes et des élecrons pris collectivement.

ce principe, lui-même arbitraire, qui a d'ailleurs joué un rôle dans la théorie relativiste : ont seules un sens physique, les grandeurs qui correspondent à des expériences directes au moins théoriquement possibles. Le critérium du réel, c'est le connaissable. Il semble qu'il y ait là une métaphysique peu acceptable. En tout cas, si les phénomènes ne sont pas représentables avec un devenir individuel, soumis à la causalité, ils ne sont plus représentables du tout, ils sont des noms, et non pas des objets véritables de pensée.

Faut-il même affirmer que la science ne peut pas, ne doit pas prolonger idéalement l'expérience ; que les lois de notre atome statistique sont l'assise dernière où nous pouvons atteindre ? Cela semble bien sévère. Il est possible que l'expérience, en dernière analyse, ne puisse atteindre avec sûreté que des valeurs statistiques. mais la notion de probabilité n'a de sens fort que si nous l'adjoignons à l'idée d'un mécanisme sous-jacent, par rapport auquel les principes empiriques de l'échelle statistique sont des théorèmes : mécanisme d'échange et de distribution des événements. C'est ainsi que la loi de Maxwell pour les gaz est satisfaisante rationnellement parce que nous entrevoyons comment l'équilibre s'établit sous l'influence des chocs individuels des molécules. – Il y a même un raisonnement de Boltzmann qui la justifie. Et cette valeur rationnelle existait bien avant qu'on eût mis en évidence expérimentalement la réalité individuée des molécules. – Faut-il nous interdire désormais toute espèce d'hypothèse sur le comportement individuel des électrons intraatomiques ou des photons, tout espoir de justifier les lois de l'électron statistique et en particulier l'équation de Schrödinger ? Cela est bien étrange.

Naturellement, il est toujours possible de dire que nous ne voulons imaginer la réalité que comme un ensemble de configurations, affectées de coefficients de probabilité ; les lois du devenir, que comme celles du passage d'une configuration moins probable à une configuration plus probable. – Nous serons en face d'une conception purement symbolique, faite de signes auxquels nous serons convenus d'appliquer des lois formelles semblables à celles du calcul des probabilités. C'est le procédé même de l'énergétique ; c'est aussi celui de l'axiomatique ; – déjà pour la notion de probabilité géométrique se pose le même problème que pour la probabilité physique : convient-il de l'associer à l'intuition d'un mécanisme de distribution des points sur un segment, etc. ? Bien entendu nous pouvons toujours faire, à la manière de M. Paul Lévy, une théorie purement abstraite des probabilités discontinues ou continues. Seulement nous n'avons plus là qu'une combinatoire de signes. Doit-il en être de même en physique ?

Tel est le pont sur lequel nous serions heureux de connaître la conception de M. Langevin.

M. P. Langevin. – On peut justifier la confiance dans la possibilité de retrouver une représentation déterministe satisfaisante de la matière et de la lumière, et son utilité en s'appuyant sur ce que l'on sait de la théorie cinétique, de la manière dont elle a permis d'interpréter et d'expliquer la thermodynamique ; nous devons marcher dans la direction qui essaie de préciser le sens des statistiques, celles-ci étant actuellement le seul moyen par lequel peuvent s'unir théorie et expérience.

Il nous a réussi, en théorie statistique, de chercher à préciser le mécanisme des fluctuations il a été fécond de postuler un mécanisme sous-jacent, auquel s'appliquait la statistique pour rendre compte des faits.

En sera-t-il de même maintenant ? Je n'oserais l'affirmer.

M. Poirier. – Le même problème se pose à propos des principes complémentaires, comme celui de sélection dans la théorie de Bohr, comme l'interdiction de Pauli. Celle-ci semble tombée du ciel.

M. P. Langevin. – Fort heureusement pour nous.

M. Poirier. – Admettrons-nous qu'il faudra la conserver comme un axiome définitif, que c'est un dernier mot, ou, au contraire, qu'un jour une théorie, même non vérifiable directement, pourra nous expliquer pourquoi deux atomes ne peuvent avoir exactement les mêmes nombres quantiques (surtout si on leur associe ceux qui règlent le mouvement de translation), pourquoi la statistique de Fermi, qui accepte l'interdiction, vaut pour les électrons et les atomes, celle de Bose-Einstein pour les photons ?

M. P. Langevin. – Aux différents modes de vibrations des ondes électroniques de de Broglie ne peuvent correspondre que 0 ou 1 électron. L'énoncé est simple, mais pourquoi cette interdiction s'applique-t-elle aux électrons et pas aux photons ? Pourra-t-on la relier à autre chose ? Notre désir profond est de connaître les raisons des différences entre électrons et photons ; mais de dire aujourd'hui comment nous y parviendrons, nous en sommes incapables.

M. Éd. Le Roy. – C'est le continu qui reprend aujourd'hui le dessus en Physique, mais un continu hétérogène : de certaines discontinuités s'y retrouvent, du genre de celles que l'on rencontre en Acoustique par

exemple. Ici, l'Analyse fournit un schéma très clair. Je pense à une famille de fonctions dépendant d'un paramètre qui comporte variation continue et aux valeurs singulières de celui-ci pour lesquelles apparaissent des êtres particulièrement remarquables. Ainsi à propos de certaines équations aux dérivées partielles.

La situation est peut-être analogue à celle que les mathématiciens ont rencontrée aux débuts de la théorie des ensembles. On définissait alors ceux-ci comme collections d'éléments préalables et, avec une telle façon de concevoir, on arrivait dans certains cas à d'insolubles paradoxes. Tout le monde sait qu'aujourd'hui le point de vue a changé. On en est venu à la considération d'ensembles où sans doute il est possible de prendre après coup des éléments, mais que l'on ne regarde pas comme composés par assemblage d'unités préexistantes.

M. P. Langevin. – Ce que vous venez de dire est très intéressant, car le travail que vous avez décrit est parallèle à celui des physiciens; et il se trouve que la théorie des ensembles est une des rares théories mathématiques dont les physiciens ne se soient pas encore servis. Or, le travail qui a été fait pour les ensembles nous indique la ligne de départ et une méthode : dépouiller les éléments des ensembles de leur individualité. Il y a donc pour les physiciens grand intérêt à regarder comment on a fait pour remplacer la notion d'individualité dans la théorie des ensembles, afin de remplacer dans notre construction ondulatoire et corpusculaire les notions de statistique par des notions plus simples.

M. Éd. Le Roy. – L'emploi du mot «statistique» est aujourd'hui à peu près inévitable pratiquement, parce que nous en étions hier encore à des conceptions qui attribuaient aux éléments physiques une individualité ponctuelle ou quasi-ponctuelle, une individualité spatialement définie, par localisation stricte. Mais cet emploi d'un mot qui résume surtout un état antérieur de la pensée, n'est sans doute qu'une survivance ; et il est probable qu'on ne le maintiendra pas, qu'on sera obligé d'en venir à d'autres manières d'envisager les complexes dont on parle.

M. Raymond Lenoir. – M. Brunschvicg a bien voulu rappeler que les philosophes sont encore apparentés aux législateurs pour avoir souci des noms qui nomment les choses. À prestige aussi grand, ils ont pouvoir moins assuré. Achoppant au déterminisme, nous nous demandons si la science peut apporter une réponse aux questions des philosophes. La modestie nuancée des savants et les réserves classiques des philosophes donnent à penser qu'elle consent moins des

solutions qu'elle ne confère de dignité à nos actes. Et pourtant, je m'écarterais ici résolument de la métaphysique traditionnelle. Non que les inquiétudes d'un penseur n'aient leur prix. Mais j'ai trop présente à l'esprit la leçon des *Derniers Entretiens* de Renouvier. Un homme a passé presque toute sa vie à chercher à se démontrer la liberté humaine et l'immortalité de l'âme. Il a cru se convaincre et convaincre les autres. Il est là sur son lit de mort ; avec un calme digne de l'antique, il repasse ses arguments. Ils sont si peu sûrs qu'il se prend à rouvrir le *De Natura Rerum* de Lucrèce. Aussi bien pourrait-il déjà y trouver la certitude ondoyante du clinamen.

Pendant des siècles, les êtres épris de vie spirituelle ont consacré des forces intellectuelles considérables à disputer de la nature de l'action. C'est là une déviation de l'énergie. Oublions un moment de retenir toutes les finesses, d'enregistrer toutes les opinions et de décrire sans ironie l'accumulation des doctrines qui font sans proportion et sans symétrie la pensée issue du rythme et du nombre. Les efforts qu'elles supposent mènent au scepticisme de *Candide* ; une réunion de Rois à Venise y compense les effets de la *Monadologie*. Retenons l'acte humain. Dans les sociétés qui n'ont ni science ni philosophie, il est possession. Mais le primitif, plus subtil qu'il n'apparaît, reconnaît sous toute prise un échange. Il se méfie de l'appropriation, au point de l'accompagner d'une série de rites qui neutralisent l'action envahissante de l'objet possédé sur le possesseur. Aussi bien le milieu dans lequel nos désirs se transforment en volontés fermes et s'actualisent demeure mystérieux. Nous nous sentons attachés à lui par mille liens invisibles. Nous sentons aussi dans notre élan comme une rupture qui marque un affranchissement. Et les peuples n'ont jamais parlé du mystère de la liberté que pour avoir connu le mystère de l'esclavage. La réflexion sur les techniques et la nature, moins décidée, moins sûre d'elle-même, renverse le mouvement humain. Son analyse fait une très petite partie de la nature soumise à la nécessité, parce qu'elle appréhende des actes périodiques. Le reste demeure dépendant de forces invisibles qui assurent l'empire de la fortune et des dieux.

La réflexion d'hommes accoutumés au calcul se veut sereine. Elle ignore l'individu comme le groupe. Elle place l'action dans la rencontre des tempéraments et des caractères. Il n'est ni de celui-ci ni de celui-là et c'est par un manque de maîtrise que nous suivons ses prolongements dans l'un ou l'autre, au point d'en faire une énergie originelle et créatrice. En fait chaque circonstance, chaque détail constituent un signe. Il exprime des forces ayant des points d'appui différents et des rythmes différents dont nous ne pouvons presque jamais déceler la nature. L'ensemble de ces signes s'unit en symboles

plus riches et plus féconds que la dialectique prompte à immobiliser les forces, sans rendre plus claire la vie. Le drame affronte les solutions vécues. Pendant des siècles, dans les conditions les plus diverses, les groupements humains ont tenté des expériences et remis à l'action de trancher leur doute. Ils ont agi. Puis ils se sont toujours aperçu qu'ils n'avaient rien décidé et que chaque génération remettait tout en question. Alors, si nos décisions demeurent si hésitantes, c'est qu'il entre toujours dans notre action quelque défaut venu d'une appréhension trop incomplète, presque trop mesquine du réel. Le savant appelle le dramaturge. Une science qui se comprend immortalise les proportions et les nombres dans la poésie.

Aux heures d'agglomérations denses, l'art apparaît alors propédeutique à notre réconciliation avec la Nature dont les Anciens ont su faire un cosmos.