Séance du 25 janvier 1947

LA THÉORIE PHYSIQUE ET SES PRINCIPES FONDAMENTAUX

M. Jean-Louis DESTOUCHES a présenté à la Société les arguments suivants :

« Parmi toutes les questions posées par les théories de la microphysique, le problème de l'indéterminisme quantique a été, de beaucoup, celui qui a le plus vivement suscité les méditations des philosophes. Mais il y a, dans ces théories, bien d'autres points susceptibles de les intéresser, et sur lesquels il est nécessaire qu'ils possèdent des informations exactes.

Ces théories quantiques ont traversé, de 1923 à 1927, une première crise qui s'est dénouée par la création de la mécanique ondulatoire. Actuellement c'est une nouvelle crise d'un autre genre qu'elles subissent, une crise due au fait que les résultats expérimentaux ont débordé le domaine d'adéquation de la mécanique ondulatoire et qu'il devient nécessaire d'édifier une théorie nouvelle. Les difficultés à résoudre pour aborder cette construction sont d'ordre purement interne et théorique ; il apparaît en effet que, pour franchir les bornes des théories actuelles, c'est à une révision des fondements et de la méthode qu'il faut se livrer, et cette révision concerne autant le philosophe que le physicien, si l'on en juge par l'intérêt qu'il a porté à la crise du fondement des mathématiques.

Voici les principaux points à aborder dans une telle révision : problème de l'unité de la physique théorique, problème de la forme générale d'une théorie physique, rôle des observateurs, problème de l'atomisme, interprétation des quanta, etc. ; ce sont toutes les notions fondamentales et tous les principes fondamentaux qui doivent être approfondis dans une certaine direction, notamment le rôle essentiel des observateurs et des opérations de mesure, et la définition précise des corpuscules élémentaires. »

COMPTE RENDU DE LA SÉANCE

La séance est ouverte à 16 h. 30 sous la présidence de M. Émile Bréhier.

M. Bréhier. – La séance est ouverte.

Avant de donner la parole à M. Destouches, j'ai à vous donner des nouvelles qui sans doute vous intéresseront. Le Xe Congrès International de Philosophie, qui devait avoir lieu en 1941, et qui n'a pas eu lieu à cause de la guerre se tiendra à Amsterdam, à partir du 17 août 1948 ; il est organisé par M. Pos, professeur I'Université d'Amsterdam.

Je m'empresse, après cette heureuse nouvelle, de donner la parole à M. Destouches.

M. Destouches. – Je remercie avant tout les dirigeants de la Société française de Philosophie qui m'ont demandé de faire ici un exposé sur les principes fondamentaux de la physique théorique actuelle. Ces principes sont si subtils que je crains de ne pas en faire bien ressortir tous les aspects philosophiques.

Quoique ce soit surtout l'indéterminisme quantique qui ait retenu l'attention des philosophes au cours de l'évolution récente des théories physiques, ce caractère n'est pas le seul susceptible de les intéresser.

Cependant, l'indéterminisme est le caractère le plus étrange qui apparaisse lors d'un premier contact avec les théories quantiques ; mais son interprétation exacte et complète est bien difficile à exprimer, et ne peut apparaître qu'après une longue et minutieuse étude technique. Bien d'autres caractères des théories physiques quantiques semblent surprenants à ceux qui sont habitués aux théories classiques mais tous ces caractères sont les diverses manifestations d'un seul irrationnel, pour parler le langage de Meyerson, irrationnel extrêmement bien caché. Il sera rationalisé si nous savons faire un dépassement convenable, une sorte de «Aufhebung». Ce dépassement exige pour être accompli qu'une révision de tous les principes fondamentaux soit effectuée de telle façon que les caractères des théories physiques récentes apparaissent naturels dans cette nouvelle manière de voir.

En réalité, ce sont des raisons techniques plus impérieuses qui m'ont conduit à entreprendre une révision des principes fondamentaux de la physique théorique. Celle-ci a traversé entre 1923 et 1927 une grave crise qui s'est dénouée par la création de la mécanique ondulatoire, mécanique dont les principes et les conclusions heurtaient d'ailleurs les sentiments des physiciens classiques. Mais, si

fructueux étaient les résultats, si exactes les prévisions auxquelles elle parvenait concernant les phénomènes atomiques, qu'il fallut bien l'accepter. En effet, où une théorie physique nouvelle peut-elle trouver une meilleure justification que dans la prévision exacte d'un grand nombre de phénomènes ?

Mais si, pendant une dizaine d'années, on a pu appliquer la mécanique ondulatoire à un très grand nombre de phénomènes sans rencontrer de difficultés liées aux principes de cette mécanique, il n'en a plus été de même quand on a cherché, ces derniers temps, à étendre son domaine. On s'est alors heurté à des obstacles qui n'ont pu être surmontés, lorsque furent abordés certains des problèmes récemment posés par la physique nucléaire et les phénomènes liés aux rayons cosmiques, c'est-à-dire en fait quand on s'attaqua aux questions dans lesquelles interviennent à la fois plusieurs corpuscules avec de grandes énergies.

Transposée sur le plan théorique, l'étude de ces phénomènes exige une théorie qui soit :

1° Une mécanique des systèmes.

2° Une mécaniqué relativiste, pour rester valable aux grandes énergies.

3° Une mécanique s'appliquant aux corpuscules de toutes les espèces.

Or, les mécaniques ondulatoires édifiées jusqu'à présent ne satisfont pas à ces trois conditions.

D'autre part, les différents développements des théories quantiques ne se raccordent pas avec les considérations de relativité générale et les théories cosmologiques. Il en résulte donc un grave manque d'unité en physique théorique.

Ainsi, quand on fait le point actuellement dans ce domaine, on constate, d'une part, la diversité des théories développées indépendamment les unes des autres, sans qu'il ait été possible de les raccorder jusqu'ici, diversité accompagnée d'une altération différente dans chaque théorie des notions de la physique classique ; et d'autre part l'urgence, pour les recherches expérimentales, de la solution de certains problèmes concernant les systèmes de corpuscules où interviennent de grandes énergies. Et cette solution constituerait un progrès décisif. Or, ces problèmes ne peuvent pas même être posés convenablement, c'est-à-dire mis en équation, avec les théories dont on dispose en ce moment.

Les deux aspects précédents sont liés, d'abord parce que, pour énoncer de façon adéquate et précise les problèmes dont il s'agit, l'unité de la physique théorique est indispensable; ensuite et surtout parce que j'ai l'impression que ces problèmes ne seront résolus que

grâce à des principes généraux dont l'élaboration exige une vue unitaire et cohérente du monde physique.

Si la crise que je viens de vous décrire se manifeste de différentes façons, elle est, profondément et essentiellement, une. Les difficultés qu'elle comporte ne proviennent en aucune façon d'un manque de résultats expérimentaux, mais sont d'ordre purement interne et théorique. Il faut dont franchir les bornes des théories quantiques, elles-mêmes issues de la crise précédente, pour dénouer la crise actuelle. Or, celle-ci porte sur la notion même de théorie physique ; de sorte qu'elle s'articule, pour celui qui veut tenter d'y remédier, en deux problèmes successifs : celui des fondements et celui de la méthode.

Il est donc nécessaire de fixer avec précision ce que l'on doit entendre par une théorie physique et à quelles conditions elle doit satisfaire. Il faut ensuite dégager les principes essentiels qui doivent être mis à la base d'une telle théorie. Et ces principes doivent être recherchés dans les théories partielles existant actuellement, c'est-à-dire mécanique ondulatoire non relativiste des systèmes, théorie de la relativité, théorie de l'électron de Dirac. Et la théorie cherchée doit unifier ces trois théories.

Le problème d'une mécanique ondulatoire relativiste des systèmes apparaît donc avant tout comme lié à l'unification de plusieurs théories physiques. L'unification des théories quantiques et des théories de la relativité généralisée pourrait être abordée par les mêmes méthodes.

Ainsi il semble bien que, dans la recherche d'une solution pratique des principaux problèmes qui se posent actuellement en physique théorique, on soit arrêté par des difficultés d'ordre général liées aux caractères fondamentaux que l'on doit attribuer à une théorie physique.

On s'aperçoit actuellement que les schématisations dues à l'esprit du physicien ne suivent pas la nature d'aussi près qu'on le croyait auparavant ; des abîmes d'irrationalité et d'inintelligibilité sont apparus. D'autre part, si la mécanique ondulatoire telle qu'on l'expose habituellement est techniquement suffisante pour certains domaines, elle ne satisfait pas tous les esprits et elle ne répond pas complètement à l'idée de la connaissance du monde physique que le physicien ou le philosophe se font d'une manière naturelle.

On prévoit aisément une époque où la physique théorique se présentera sous un aspect beaucoup plus satisfaisant et prendra un nouvel essor ; mais on n'imagine pas encore actuellement de quelle manière cette progression sera accomplie et j'ai l'impression qu'une réforme profonde de la mentalité scientifique s'imposera pour y parvenir. Ouvrir la voie de cette réforme a été mon but ces dernières

années, et je me propose maintenant de vous énumérer les principaux points sur lesquels apparaît sa nécessité et d'où son orientation se dégage aux yeux de l'épistémologue.

Il me semble qu'on peut, sans vouloir trop engager l'avenir, définir d'ores et déjà plusieurs des conditions auxquelles cette réforme devra satisfaire pour être efficace : nécessité d'une détermination explicite de ce qu'on entend par nature et but d'une théorie physique, nécessité d'idées fondamentales et d'une orientation préalables à toute édification de la théorie et qui se manifestent dans une partie préliminaire à l'axiomatique, appelée *synthèse inductive* ; exigence d'une logique particulière adéquate à la théorie considérée ; énoncé des conditions que doit remplir une théorie nouvelle pour être acceptable ; résolution effective des problèmes de l'unité de la physique et de l'unité de la logique. Il me paraît également important d'analyser le rôle exact joué par l'activité de mathématisation dans les théories nouvelles, car le rationnel apparaît dans la manière dont celles-ci sont formalisées, et il est utile, aussi bien au philosophe qu'au physicien, de prendre conscience de la véritable nature de ce rationnel ; on voit dans l'élaboration de la forme d'une théorie la pensée se ramener à des schèmes mathématiques antérieurs et en même temps procéder à la création de formes nouvelles sous la pression. des nécessités expérimentales, ce qui met en évidence le caractère dialectique de la construction d'une théorie. D'où notamment l'intérêt que présente une étude de l'intervention en physique des groupes et des structures, de la représentation ponctuelle, des formalismes de prévision sur lesquels se joue la question du déterminisme et de l'indéterminisme. La tendance rationalisante pousse à organiser les connaissances physiques dans des cadres mathématiques adaptés qui, à leur tour, conditionnent les lois physiques ; elle peut aussi intervenir dans la représentation des corpuscules grâce au fait que le physicien se trouve libre de figurer ceux-ci par des points sans que cette représentation ponctuelle soit imposée par l'expérience. Enfin la rationalité entraîne à présenter le plus grand nombre possible d'éléments de la théorie comme des déductions et non comme des assertions, par exemple à chercher dans le formalisme et non dans le contenu d'une théorie un critère du caractère déterministe ou indéterministe des phénomènes qu'elle concerne.

Libre jeu des formes créées par l'esprit et nécessité des données expérimentales se combinent dialectiquement dans l'élaboration des théories, en particulier au sein de certaines notions comme celle de quantification que j'ai choisie ici comme exemple.

Ce sont les différentes considérations ainsi rapidement énumérées que je voudrais maintenant développer un peu plus pour y condenser

l'essentiel de ce que j'entends par orientation nouvelle de la physique théorique.

1° On ne peut aborder une construction sans avoir fixé une certaine orientation préalable venant donner un sens aux premières démarches.

2° On doit poser qu'une théorie physique a pour but principal de permettre le calcul de prévisions concernant le résultat de mesures ultérieures, à partir de mesures initiales effectuées par un observateur.

Ainsi, ce sont des enchaînements entre énoncés de résultats de mesures faites ou à faire que l'on recherche, enchaînements qui,s'expriment, soit par des implications de la forme : « si tel résultat de mesure a été obtenu, alors tel autre résultat de mesure sera obtenu », soit par des énoncés de probabilités de la forme : « la probabilité pour que tel résultat de mesure soit obtenu à telle époque est tant, sachant que tel résultat de mesure a été déjà obtenu à un certain instant ». D'ailleurs, entre des énoncés de probabilités, des liens d'implication pourront apparaître. Ceci a pour conséquence qu'une théorie physique doit avoir la forme d'une théorie déductive, et satisfaire à certaines conditions formelles et non-formelles.

3° Une théorie physique doit comprendre une partie préliminaire justifiant l'axiomatique adoptée, dite « synthèse inductive » ; une théorie physique sera donc formée de trois parties : « synthèse inductive », « énoncé axiomatique », « partie déductive».

4° Les règles de définition et les règles de raisonnement, d'une théorie physique, c'est-à-dire la logique utilisée dans cette théorie, ne sont ni déterminées *a priori* suivant des lois immuables de l'esprit, ni arbitraires ; au contraire, dans chaque cas il existe une logique adéquate ; par exemple : logistique classique dans les théories classiques ; logique trivalente, vrai, faux, faux absolu, en ancienne théorie des quanta ; logique de complémentarité trivalente de Paulette Février de 1937 en ancienne théorie des quanta, compte tenu de la complémentarité de Bohr et des relations d'incertitude de Heisenberg; logique de Garrett Birkhoff et Von Neumann dans une certaine théorie partielle de la mécanique ondulatoire; logique de complémentarité et de subjectivité de Mme Destouches-Février de 1944 en mécanique ondulatoire ; logique de complémentarité et subjectivité avec modalités en mécanique ondulatoire relativiste des systèmes. Ainsi, la logique, bien loin d'être unique et universelle, se montre liée essentiellement au contenu intuitif de la théorie, comme le choix des termes primitifs et des postulats.

5° Pour qu'une nouvelle théorie soit acceptable, il faut, ou bien qu'elle contienne des propositions adéquates qui n'appartiennent pas aux théories déjà construites, ou bien qu'elle ne contienne pas des

propositions inadéquates qui appartiennent aux théories déjà constituées.

6° L'unité d'une discipline telle que la physique ne se présente pas comme une notion simple et facile à expliciter, mais plutôt comme une orientation foncière de l'esprit, qui admettrait qu'elle est naturellement réalisée si de sérieuses disparités entre théories ne rendaient actuellement indispensable une tentative pour démontrer la possibilité permanente d'une unification de plusieurs théories.

En effet, jusqu'à présent les physiciens et les philosophes ont eu une croyance instinctive en l'unité de la physique, en la possibilité d'un système du monde. Mais, à la suite des difficultés rencontrées dans les essais de conciliation entre relativité générale et quanta, est né sur ce point un certain pessimisme, un doute quant à la possibilité du retour à l'unité. Cette question, qui revient au problème de l'unification de deux théories en général, je pense y avoir répondu de telle façon qu'on peut être toujours assuré de parvenir à l'unification de deux théories en une théorie qui les dépasse et les unifie, et par là, de proche en proche, à un système du monde.

C'était là un problème de logique. Dans certains cas il existe une théorie englobant les deux théories données. Dans le cas général, il n'existe pas de théorie englobante, mais on peut trouver une théorie unifiante au moins aussi adéquate que les théories données dont la construction est payée de certaines modifications à la logique, d'un affaiblissement des règles de raisonnement, par lequel sont interdites certaines déductions. Ce résultat, qui intéresse le logicien autant que le physicien, nous donne l'assurance de toujours pouvoir unifier deux théories physiques et de pouvoir construire un système du monde.

Les exemples de logiques cités tout à l'heure peuvent être considérés comme des logiques provenant d'unification de deux théories. Mais l'exemple le plus typique est celui de la conciliation des théories ondulatoires et corpusculaires qui exige une logique de complémentarité. Ces théorèmes sur l'unification m'ont servi une fois pour réduire l'opposition entre l'indiscernabilité des corpuscules de même espèce et l'existence d'une vitesse limite en relativité. Ceci exige l'introduction de la modalité « possible » dans une logique de complémentarité et subjectivité.

7° Cette solution donnée au problème de l'unité de la physique retentit sur l'unité de la logique, unité mise en question par la destruction de son universalité dans la construction de la théorie unifiante. Si l'universalité de ses règles disparaît, son unité est sauvegardée, mais elle se présente sous un aspect nouveau, comme liée essentiellement à son domaine d'utilisation et susceptible de vivants renouvellements en rapport étroit avec le progrès des théories

physiques. Cet exemple met particulièrement en relief l'intérêt que présente pour le théoricien de la connaissance l'évolution actuelle de la physique.

8° Une fois examiné l'ensemble des problèmes formels qui se posent inévitablement à celui qui veut tenter la construction dont j'ai parlé, il reste à dégager les notions physiques essentielles, les idées simples et générales qui sont l'aboutissement de la synthèse inductive et forment les éléments de départ pour cette construction. Du fait que l'édification d'une théorie unifiante a pour base certains concepts et certains postulats empruntés aux théories initiales à unifier, il est nécessaire avant tout de dégager et de mettre en évidence ces notions fondamentales. Si l'on veut unifier relativité et quanta, un rôle essentiel est joué par les notions de réalité et de système physique, de mesure et d'appareil de mesure, de morcellement, d'observateur, de prévision.

La réalité à laquelle s'adresse le physicien, le système qu'il observe, ne sont pas préformés par rapport à sa recherche ; ils se définissent en même temps que la théorie s'édifie, et n'ont de sens que par rapport à celle-ci, de même que dialectiquement la théorie physique n'a de signification que par rapport à la réalité qu'elle schématise.

Le physicien aborde les systèmes physiques par les morcellements, les appareils de mesure et les mesures. Un système physique ne se définit pour lui que comme le terme d'un découpage de la réalité.

Le morcellement envisagé systématiquement conduit à l'atomisme et à la notion de système élémentaire par rapport aux procédés de morcellement utilisés, c'est-à-dire à la notion de corpuscule relativement à des procédés de morcellement.

D'autre part, ce que l'observateur apprendra du système physique lui sera révélé grâce à un appareil de mesure qui, construit par lui, opère sur la réalité un découpage d'une autre sorte, en ce sens qu'il détermine un type de mesure particulier, une grandeur physique. Par là s'exerce une influence essentielle des appareils de mesure sur la forme de la théorie, et d'autant plus que dans les théories atomiques toutes les mesures ne peuvent être effectuées simultanément. L'impossibilité d'effectuer simultanément certaines mesures est caractéristique du rôle joué par les appareils dans les théories atomiques.

L'activité essentielle du physicien consiste précisément à obtenir des résultats de mesure ; et ce qu'il demande au théoricien, c'est de calculer des prévisions concernant les résultats des mesures qu'il effectuera ultérieurement. Le rôle des observateurs apparaît donc comme essentiel. On peut d'ailleurs démontrer que, dans les théories quantiques, il est impossible d'éliminer les observateurs. Et ceci

conduit à diviser une théorie physique en deux parties : physique du solitaire et physique collective, suivant que l'on considère un seul observateur ou un ensemble d'observateurs.

9° Les groupes jouent dans la formulation de plusieurs parties d'une théorie physique un rôle qu'il convient de souligner. En effet, des groupes sont introduits par les changements de repères ou d'observateurs ; à ces groupes sont associées certaines conditions d'invariance pour les lois d'évolution concernant les prévisions sur les systèmes physiques. Ces conditions s'expriment par des équations algébriques entre opérateurs ; celles-ci sont fondamentales, car elles expriment l'essentiel des propriétés des systèmes physiques, leur structure ; aussi peut-on les appeler *équations structurales*. Elles transcendent le cadre objectif-subjectif des observateurs, des systèmes et des mesures, pour se placer dans un plan supérieur jouant le rôle d'absolu relativement à la théorie considérée.

Sur les structures, on sait reconnaître si un corpuscule est insécable d'une manière absolue ou non. On est donc conduit à un atomisme absolu. On peut établir que seulement les corpuscules de spin 1/2 sont insécables en droit.

D'autre part, dans une théorie physique apparaît un groupe d'indifférence, c'est le groupe des transformations qui laissent invariées les propriétés physiques des éléments qui figurent dans la théorie. Le groupe d'indiscernabilité est un facteur de ce groupe dans les théories quantiques, et cela entraîne un certain indéterminisme.

10° On peut montrer que tout élément physique non-morcelable dans la théorie considérée peut être représenté géométriquement par un point : ceci permet de représenter ponctuellement les corpuscules et d'en donner une définition descriptive.

11° Les prévisions se calculent au moyen d'un formalisme dit «formalisme des éléments de prévision ». Sur ce formalisme on sait reconnaître si, en droit, une théorie est déterministe ou indéterministe.

Une grande partie du formalisme de la mécanique ondulatoire apparaît comme une conséquence du fait que l'on cherche à calculer des prévisions indépendamment de toute considération quantique ou ondulatoire. Notamment, dans l'association d'opérateurs aux grandeurs physiques, il n'y a qu'un procédé formel qui peut être utilisé dans toute théorie physique.

Les lois de prévision se trouvent fixées ensuite par les conditions de physique collective : principe de relativité et principe de l'inertie.

12° La notion de quantification présente différents aspects ; un certain nombre d'entre eux peuvent être détachés des considérations quantiques et dérivent soit de la théorie générale des prévisions, soit de l'indiscernabilité. D'autres font intervenir d'une manière essentielle

la constante de Planck, d'autres sont à rattacher aux principes d'évolution et au principe de relativité. La constante de Planck apparaît d'une part comme le facteur permettant de laisser arbitraire le choix de l'unité pour la grandeur spin, mais avec un certain principe, dit « principe d'homomorphisme », elle apparaît, d'autre part, comme le facteur permettant de laisser arbitraire le choix de l'unité pour l'énergie ; de ce fait, cette constante apparaît en facteur dans toutes les formules où interviennent des grandeurs mécaniques : énergie, quantités de mouvement, moments cinétiques. De cette façon, son rôle se comprend complètement, et l'on peut dire que le mystère des quanta disparaît.

La constante de Planck est donc à rapprocher de la vitesse *c* de la lumière ; de même que la constante *c* permet de laisse arbitraire le choix de l'unité de longueur une fois l'échelle de temps choisie, la constante *h* permet de laisser arbitraire le choix de l'unité d'énergie une fois l'échelle de temps choisie.

J'aurais pu, et peut être dû, aborder cette étude des caractères de la physique sous des angles philosophiques plus classiques. Mais pour ceux-ci le philosophe n'a pas besoin de l'aide du physicien ; il me semble que ma tâche consistait plutôt à porter votre attention sur certains points particuliers qui, à première vue, et pour celui qui n'a pas eu à les aborder en technicien, ne présentent peut-être pas un intérêt épistémologique essentiel ; alors que, si on les examine d'un peu plus près, ils apparaissent comme les pôles de l'évolution actuelle de l'esprit scientifique.

Amené par mes recherches jusqu'à ces questions centrales où me paraissent converger toutes les difficultés actuelles, j'ai tâché, dans mon ouvrage sur les principes fondamentaux, d'amorcer cette sorte de réforme de l'entendement que je crois indispensable à leur solution. Dans la mesure où il a suscité des études inspirées par une telle réforme, des travaux fondés sur une interprétation renouvelée des bases de la physique, mon effort n'a pas été vain ; et j'ai vu, en effet, de jeunes chercheurs tels que Mlle Viard, Mme Destouches-Février, MM. de Bengy-Puyvallée, Cazin, Faure, Murard, Pasquier, Slansky, s'engager dans cette voie et y obtenir des résultats dépassant ceux que j'apportais dans mon livre.

De mon côté j'ai également, continué dans ce sens, et des progrès notables ont été ainsi effectués à la fois du côté des principes et du côté des applications techniques à la physique théorique, notamment en ce qui concerne la notion de repère fondamental, les propriétés des mésons et les forces nucléaires.

Plus j'examine ces problèmes, et plus il me paraît certain qu'aucune des philosophies et des théories de la connaissance déjà élaborées

antérieurement ne s'accorde bien, dans tous ses détails, avec les exigences actuelles de la physique théorique. C'est pourquoi j'insiste sur le fait que les philosophes doivent prendre en considération dans un esprit très nouveau les différents points sur lesquels je viens d'attirer votre attention. Laissez-moi vous remercier de l'extrême bonne volonté avec laquelle, vous avez bien voulu l'y maintenir, malgré le caractère parfois très technique des questions que j'ai abordées.

M. Bréhier. – La Société Française de Philosophie vous remercie d'avoir ainsi maintenu la tradition qui veut que des savants viennent exposer devant elle leurs idées philosophiques.

La question posée est extrêmement importante : c'est celle de l'unité de la physique. L'unité de la physique se trouve menacée du fait même du développement qu'elle a reçu ; et c'est cette unité de la physique que vous voulez rétablir. Il semble que votre idée, c'est que son rétablissement ne doit pas être dû à l'arbitraire de quelques expériences nouvelles, mais à un développement purement interne de la théorie physique.

Je crois que c'est sur ce point-là, et sur ce rapport des théories physiques internes avec les théories de la connaissance, que doit porter la discussion. Et je m'empresse de donner la parole à ceux d'entre vous qui ont quelques observations à présenter.

M. Ullmo. – Il est assez difficile de discuter de la très intéressante communication de M. Destouches. De nombreuses recherches récentes ont été évoquées, sans que d'assez grandes précisions nous soient données pour que nous puissions les discuter telles quelles. Aussi, je voudrais limiter ma très courte intervention à une question préalable, à une sorte de question de principe.

Celle qui m'a paru la plus importante dans les idées exposées, est l'idée qu'on peut toujours réunir, synthétiser deux théories différentes et en même temps contradictoires, en une théorie plus générale qui les englobe toutes deux, à condition de transformer, de modifier la logique.

Il y a là une vue assurément intéressante, et même qui va très loin, mais dont les philosophes ici présents auront sans doute reconnu l'audace, pour ne pas dire le danger. En effet, la physique est une science, une recherche en évolution permanente. Les synthèses qu'on peut être tenté de faire sont nécessairement provisoires, puisque nous les voyons se dérouler, évoluer sous nos yeux. Prétendre à chaque étape de ces synthèses réformer toute l'infra-structure de l'esprit humain en posant la nécessité d'une logique radicalement différente, il

y a là une méthode hardie qui peut déconcerter la pensée philosophique, et non pas seulement la pensée philosophique.

C'est là un point évidemment assez grave, et pour ma part, je crois qu'il est plus prudent, dans la phase actuelle des choses, c'est-à-dire à un moment où les progrès des recherches expérimentales se précipitent chaque jour et rendent souvent caduques les tentatives d'explication théorique qui n'avaient pas encore nécessairement pu tenir compte des découvertes plus récentes, je crois qu'il est plus prudent de ne pas adopter une telle méthode.

Je crains que ces théories trop ambitieuses soient prématurées, et risquent plutôt de détourner l'effort des physiciens, et en même temps l'effort des philosophes qui suivent leurs tentatives, des progrès véritables.

M. Destouches. – Je ne pouvais faire en une heure un exposé technique approfondi, mais tout ce que j'ai dit se trouve développé dans mon livre « *Principes fondamentaux de physique théorique* » publié en 1942 et auquel vous pouvez vous reporter. Libre à vous d'être prudent, mais seuls progressent ceux qui courent un risque, en particulier ceux qui pratiquent une méthode efficacement dialectique. Pour revenir aux questions précises : quelle logique tenez-vous à conserver, laquelle décidez-vous d'adopter à titre définitif?

M. Ullmo. – Je ne crois pas qu'il soit nécessaire de poser *a priori* l'exigence d'une certaine logique à maintenir. Le mot même «logique» a une implication fâcheuse, puisqu'il comporte une sorte de position d'une norme absolue, le fonctionnement même de la raison. Une logique que nous adopterions comme ayant valeur absolue dans les sciences devrait pouvoir se transporter à tout domaine d'activité de l'esprit ; dans ce sens, le mot « logique » n'est pas exact ; disons «axiomatique ».

M. Destouches. – Non, l'axiomatique ne concerne que les concepts et les postulats, la logique concerne les règles de raisonnement. Fixez-vous d'avance toutes ces règles ou acceptez-vous qu'on les change parfois?

M. Ullmo. – L'axiomatique doit être ainsi constituée que les concepts et les notions qu'elle définit le soient par des règles opératoires, et non pas par un recours à l'absolu ou à une intuition inconnue. La logique fait donc partie de l'axiomatique; et les diviser, poser d'une part l'axiomatique et de l'autre la logique, me paraît un procédé dangereux.

M. Destouches. – Tous ceux qui font de la logique et de l'axiomatique les distinguent ; ils ne confondent pas règles de raisonnement et postulats. Vous me paraissez le seul à soutenir que la logique est une partie de l'axiomatique.

M. Ullmo. – Dans ce sens, la logique n'exprime rien de plus que la permanence de règles opératoires. C'est simplement l'exigence de la cohérence de l'esprit avec lui-même.

M. Destouches. – La logique concerne les règles de déduction, et ce n'est pas la même chose que les axiomes.

M. Bréhier. – C'est sur le sens du mot « logique» que l'on n'est pas d'accord.

M. Bauer. – Il est difficile, peu d'années après la naissance d'une grande théorie scientifique, de voir avec précision quelles en sont les conséquences philosophiques. On peut aisément se tromper. C'est pourquoi je m'excuse de mon intervention, d'autant plus que je ne suis nullement logicien. Il est utile néanmoins que vous entendiez ici l'opinion d'un physicien expérimental. Car, malgré tout, la mécanique quantique est une théorie physique et la physique est une science essentiellement expérimentale : c'est l'expérience qui lui donne son unité, c'est elle qui arbitre en définitive entre les théories.

Je ne crois pas que les découvertes modernes en physique atomique nous obligent à abandonner le principe de contradiction. Il ne peut y avoir de contradiction entre faits d'expérience vécus.

Je proteste aussi contre l'idée de subjectivité de la science, des théories physiques en particulier. Cette idée a été soutenue par Eddington, dont l'influence, à ce point de vue, a été très fâcheuse. Eddington était un mystique, et son génie ne l'a pas empêché de se rendre assez mal compte de la nature des théories physiques. J'en donnerai comme preuve nette les dernières théories qu'il a publiées, qui étaient réellement subjectives, si subjectives que personne ne les a jamais comprises et qu'elles tombèrent à plat.

Je sais qu'il y a des physiciens qui pensent, comme M. Destouches, que la mécanique ondulatoire est fondée sur une « logique complémentaire », pour laquelle le principe de contradiction perd au moins une partie de sa valeur.

Pour ma part, je crois qu'on peut donner, de la théorie quantique, une interprétation philosophique toute différente et beaucoup plus simple.

Cette théorie associe aux particules matérielles, électrons, atomes, molécules, deux groupes d'images : images corpusculaires, images ondulatoires. Suivant les phénomènes qu'il s'agit de comprendre ou de prévoir, on se sert tantôt des unes et tantôt des autres, le plus souvent, même, on est obligé de les associer et de les employer simultanément, bien qu'elles paraissent contradictoires. C'est ce qui arrive quand on veut calculer à la fois la trajectoire d'une particule (ou ce qui en tient lieu) et ses réactions énergétiques avec le reste du monde.

Mais *il ne s'agit que d'images*, et ces images, nous les formons dans notre esprit par extrapolation aux phénomènes atomiques ou microscopiques de souvenirs obtenus par d'innombrables expériences microscopiques. Je vois encore Rutherford parler de chocs d'électrons contre des atomes et faire le geste de lancer une bille contre une autre. Même extrapolation pour le concept d'onde.

En réalité, c'est cette extrapolation qui n'est pas légitime, extrapolation au monde microscopique sous-jacent à celui que nous voyons et touchons, d'images empruntées à notre expérience séculaire de ce dernier. Nous savons que les électrons ne sont pas des billes solides, que les ondes de Louis de Broglie ressemblent fort peu à celles que nous voyons courir à la surface d'un bassin.

M. Destouches a parlé tout à l'heure d'un autre groupe de difficultés, celles qui proviennent de la représentation ponctuelle des particules. Les théoriciens d'aujourd'hui essayent, en effet, de considérer les particules élémentaires, entre autres les électrons, comme des points matériels, et se heurtent dans leurs tentatives à des difficultés innombrables.

Pour moi, en tant qu'expérimentateur, la notion de point matériel, si commode et dont la mécanique s'est servi depuis deux cents ans, perd toute espèce de sens quand on cesse de la considérer comme une approximation commode et provisoire et que l'on veut en faire une entité en quelque sorte métaphysique. Parler d'un point géométrique, c'est passer à la limite, à l'infini, et quand on applique ce mode de pensée à la matière, il ne faut pas s'étonner de se heurter sans cesse à l'infini.

En fait, nous ne savons mesurer physiquement que des grandeurs finies. L'image de particule ponctuelle, comme toute image en microphysique, provient d'une extrapolation illégitime.

C'est l'expérience qui nous a conduits à nous servir en théorie quantique de ces différentes images, parce que nous n'en avions pas d'autres à notre disposition. Tout ce que cela prouve, c'est que notre connaissance des particules élémentaires est encore très rudimentaire, et qu'il faut nous résigner, tout au moins provisoirement, à aborder

leur étude avec les outils intellectuels que nous possédons et que nous devons à notre expérience antérieure.

Un exemple historique fera peut-être mieux comprendre ce qui précède. Quand Newton développa sa théorie de la gravitation, il dut la fonder sur l'hypothèse d'une action instantanée à distance. Beaucoup de ses contemporains, Huyghens en particulier, se refusèrent à admettre cette hypothèse, qu'ils considéraient comme logiquement inadmissible. Ils avaient raison. Et pourtant la physique progressa rapidement pendant deux siècles, d'abord grâce aux idées newtoniennes (qui étaient universellement acceptées au début du XIXe siècle), puis en leur superposant peu à peu, du moins pour certains phénomènes tels que l'électricité, le magnétisme, l'optique, l'idée contraire d'une propagation de proche en proche avec une vitesse finie. Au début de ce siècle on se servait simultanément des deux conceptions dans tous les traités de physique. C'est Einstein, dans sa théorie de la Relativité générale, qui a définitivement éliminé de la science le concept d'action instantanée à distance, qui était resté si longtemps commode.

Évidemment ce que je viens de dire implique une attitude optimiste : on peut espérer qu'une connaissance plus approfondie des particules de la micro-physique nous permettra un jour de nous en former une image plus simple et plus cohérente que celle dont nous nous servons actuellement. Cela n'est pas certain. Ce qui semble sûr c'est que cette image, si nous la trouvons, ne pourra jamais être empruntée au monde « microscopique » mais devra être fondée sur les résultats expérimentaux de la physique atomique nouvelle.

Ce qui est sûr aussi c'est que, du point de vue logique, la mécanique quantique a atteint dès maintenant un degré de perfection équivalent à celui de la mécanique rationnelle.

M. Destouches. – Je n'ai jamais voulu donner une réalité au point matériel comme vous semblez le dire ; au contraire pour lever les difficultés actuelles, il faut s'affranchir de cette conception ; mais on peut toujours représenter par un point géométrique un corpuscule insécable par rapport aux procédés de morcellement envisagés ; c'est là quelque chose de tout différent d'un point matériel, car ce n'est qu'une représentation. Ceci permet de faire intervenir trois variables x, y, z, pour caractériser un corpuscule au point de vue spatialisation.

Il me semble aussi que le stade de la dualité ondes-corpuscules faisant appel aux images que vous avez évoquées est aujourd'hui dépassé dans une vue plus synthétique. Au point de vue logique, il y a la mécanique ondulatoire c'est un fait ; il y a dedans des propositions qui s'enchaînent pour former des déductions ; ces enchaînements se

font suivant les règles d'une certaine algèbre, (algèbre de la géométrie projective) : cette algèbre n'est pas celle de la logique classique. Voilà tout ce que j'ai dit concernant la logique. Je ne cherche pas à convaincre; je pense seulement que, si vous aviez examiné en théoricien pur la question et les difficultés que l'on rencontre aujourd'hui, votre opinion serait peut-être différente de celle que vous venez d'exprimer.

M. Bayer. – Au risque d'être accusé de parler de ce que je sais peu, et de me montrer exagérément moderniste, je me demande si on ne peut pas retenir beaucoup de tout ce que vient de nous dire M. Destouches.

D'abord, en ce qui concerne la contradiction des images, nul ne voudrait encore dire qu'il n'y a pas, en outre, contradiction dans les logiques, si toutefois on peut admettre que la logique est elle-même, par les expériences ancestrales, une sorte de résidu du passé, dont il faudrait réviser les fondements au fur et à mesure même que se développent certaines théories physiques, certains objets mathématiques, et la découverte d'objets nouveaux.

D'autre part, je crois que, dans le sens où la prend M. Ullmo, on fait de la logique, avec l'universalité pour critère, quelque chose qui tiendrait à la structure de l'esprit, et que c'est un peu revenir à l'état d'esprit de Kant. Je ne vois pas pourquoi on n'appellerait pas logique une série de procédés opératoires. Appelez-la axiomatique, si vous voulez, mais je ne vois pas pourquoi cette sorte de vision opérationnelle et fonctionnelle de la logique ne serait pas permise, sans y faire intervenir des raisons de structure, des raisons éternelles.

Enfin, s'il y a un problème qui touche au cœur le physicien, c'est précisément cette espèce de théorie unifiée de l'univers et ces efforts d'*une* logique ou de *plusieurs* logiques pour la rejoindre : et je vois ici une conciliation assez intéressante dans les suggestions que nous apporte M. Destouches.

Il nous dit, il pose en vérité première, – et peut-être serait-il capable de le démontrer –, que toutes les théories sont susceptibles, au fond, d'être réunies deux à deux, puis par la suite d'être saisies en une sorte de théorie unifiante, non pas englobante, et que, par la suite encore, cette théorie unifiante ne pourrait l'être qu'au prix de certaines concessions, de certains affaiblissements des logiques qui la présupposaient. Je me demande si, à la limite, un certain affaiblissement de ces diverses logiques – qui doivent être en quelque sorte originales – ne nous permettrait pas progressivement de rejoindre une logique fondamentale de base qui pourrait supporter un système de l'univers.

Je crois que M. Cazin aurait quelque chose à nous dire sur cette distinction des théories englobantes et des théories unifiantes, ou M. Destouches lui-même. Si cela est vrai, si d'affaiblissement en affaiblissement, nous en arrivons à une logique plus faible mais véritablement englobante et unifiante de l'ensemble des théories physiques, il me semble que la philosophie, alors, serait satisfaite.

M. Cazin. – Je ne vois rien à ajouter, sur ce point, à ce qu'a dit M. Destouches.

M. Bréhier. – La question posée était celle de la pluralité des logiques.

M. Bayer. – Y a-t-il multiplicité de logiques originales et qui peuvent se rejoindre ?

M. Bréhier. – La pluralité des logiques fera hérisser les philosophes, évidemment. Je demanderai si un mathématicien ce qu'il en pense.

M.Cazin. – Je n'ai absolument rien à ajouter à ce qu'a dit M. Destouches, parce que, dans l'élaboration d'une thèse à laquelle M. Destouches a fait allusion tout à l'heure, j'ai rencontré des difficultés, et que cette thèse n'est pas encore au point.

J'ai étudié les théories englobantes et unifiantes quant à la structure des calculs qui les sous-tendent. J'ai l'intuition d'une impasse, mais ce n'est qu'une intuition.

Sur le plan de l'épistémologie, je citerai ce résultat qui me semble important : Mme Destouches, dans une Note aux Comptes rendus cette année, a montré qu'il y avait des limites à l'affaiblissement des logiques : une logique adéquate est au moins aussi forte que le calcul d'adéquation ; on a donc ainsi une logique minimale.

M. Destouches. – J'ai l'impression qu'il y a une logique fondamentale, mais il est difficile d'en fixer les règles. Pour le moment, on ne peut pas donner de règles sûres. Mais, quand vous prenez une logique affaiblie, certaines des règles classiques restent valables, et aucune règle nouvelle non valable en logique classique n'apparaît. Seules certaines règles classiques sont rejetées, par exemple le Principe du tiers exclu. Toutefois un apport positif peut apparaître par introduction de modalités.

M. Bayer. – Tout le débat est là. Est-ce que cette logique minimale est encore une logique, ou le bon plaisir absolu ?

M. Ullmo. – J'ai l'impression que peut- être on commet une confusion à ce sujet : vous avez l'impression que cette logique se dépouille, et qu'on arriverait à un résidu qui serait la logique absolue. Le malheur, c'est que ces logiques successives se compliquent plutôt qu'elles ne se simplifient : elles présentent des règles de plus en plus bizarres.

Par exemple, une de ces logiques introduit les valeurs du vrai, du faux et de l'absurde, ce qui n'est pas une simplification mais une complication, assurément. Ce qui fait que votre logique de physique unifiée reviendrait à y introduire toute une série de règles arbitraires.

M. Bayer. – Pour se mouler sur le réel dans toute théorie, elle devient plus différentielle. Mais cela n'empêche pas qu'un certain minimum serait à retenir ?

M. Destouches. – Je n'ai pas l'impression que ce soit indispensable, mais c'est assez vraisemblable. En tout cas, le résultat obtenu par Mme Destouches nous indique bien qu'un minimum est à retenir.

M. Bréhier. – Il y a deux questions : la question de l'unité de l'univers et celle de la pluralité des logiques. Or, vous admettez qu'on puisse atteindre l'unité de l'univers en renonçant à la pluralité des logiques. C'est une logique par abstraction.

M. Bauer. – La logique opérationnelle, qui a été une des découvertes dues à la relativité et aux quanta, n'est pas en contradiction avec la logique d'autrefois. Il s'agit au contraire d'analyser de près ce que signifie ce dont nous parlons.

Il y a deux espèces d'opérations, les opérations mentales et les opérations physiques. Le passage à la limite n'est possible que de façon tout à fait différente dans les opérations mentales et les opérations physiques. Et c'est en ce sens qu'on peut peut-être dire qu'il y a contradiction apparente et logiques différentes. Mais, en analysant de près, on voit que tout revient à analyser les opérations que nous faisons.

C'est par l'analyse des opérations de l'esprit, qui sont différentes des opérations matérielles que nous faisons avec nos mains, qu'on peut établir une logique dynamique au lieu d'une logique statique. Je crois

que cette distinction peut nous débarrasser d'un grand nombre de difficultés.

M. Destouches. – À la suite de votre nouvelle intervention il me semble qu'il n'y a aucune différence irréductible entre nous : c'est une question de langage et de malentendus. Vous voulez qu'une théorie physique adéquate, convenable, découle de l'expérience déjà acquise : c'est ce que je cherche à faire. Mais on ne peut pas le faire dans les termes de l'ancienne physique. Et quand je parle de logique, c'est pour dire ceci : la physique classique se décrit suivant une certaine logique ; dans la mécanique ondulatoire, les enchaînements de propositions sont faits suivant une autre structure ; et quand j'affirme : il y a deux logiques, c'est cela que je veux dire.

M. Bauer. – Au fond, le mot « logique » ne va pas.

M.Julien Benda. – Il me semble que les observations de M. Destouches ne sont pas tellement propres à inquiéter les partisans de la logique traditionnelle.

Lorsque M. Destouches a parlé d'une révision de la logique, il a surtout fait allusion à une révision des notions qui consistent à morceler les réalités. M. Bachelard a déjà montré, je crois dans son *Essai sur la connaissance approchée*, que presque toutes les notions de la physique sont à subdiviser, qu'on les prend d'une manière beaucoup trop massive. Mais, sur ces réalités infiniment plus différenciées que celles qu'envisageait l'ancienne science, il me semble que l'on continue de raisonner comme autrefois. La vraie question me paraît de savoir si les principes rationnels sont vraiment mis en question par la nouvelle physique. Pour ce qui est du principe de causalité, je demanderai au conférencier s'il adopte la position de Brunschvicg, dans son livre sur *L'expérience humaine et la causalité physique*, lequel s'est fait répondre par Louis Weber, à cette place même, qu'il avait montré la complexité croissante avec laquelle la science appliquait ce principe, mais nullement qu'il fût l'objet d'un changement de nature.

Quant au principe de contradiction dont a parlé M. Bauer, si l'on entend sous ce mot le fait par lequel l'esprit tient une chose pour identique à elle-même pendant qu'il en parle (cette chose peut d'ailleurs être un mouvement), il m'apparaît qu'il est une donnée immuable de l'esprit humain, et j'en donnerai tout de suite une preuve : c'est que ceux qui se mettent en devoir de nous en montrer l'échec l'emploient eux-mêmes, vu que tout langage cohérent l'implique, et que sans lui toute leur démonstration est viciée.

J'en dirai autant de la logique « traditionnelle ». Ceux qu s'emploient à nous en prouver la faillite, ou simplement l'insuffisance, le font en nous disant : « Etant donné ceci, il s'ensuit cela, » c'est-à-dire en s'efforçant de tirer de prémisses des conclusions justes, ce qui est exactement la logique traditionnelle. Or ce mécanisme intellectuel – le raisonnement – n'a pas changé depuis que l'esprit scientifique existe. Ce qui a changé – et l'exposé de M. Destouches en est une nouvelle preuve – c'est la *susceptibilité de cet esprit par rapport au raisonnement* ; on a reconnu – et c'est précisément le progrès moderne – que tel raisonnement qu'on croyait juste ne l'était pas, que des prémisses qu'on tenait pour hors de discussion (par exemple, la non-relativité du temps) devaient être révisées, que telle déduction qu'on admettait comme constamment valable ne l'était que dans des cas très spéciaux ; mais le critère d'après lequel l'esprit estime qu'un raisonnement est juste n'a pas varié depuis Euclide. La logique traditionnelle a changé *dans son application*, où elle devient de jour en jour plus subtile, nullement *dans sa nature* et ses fidèles n'ont aucune raison de s'alarmer.

Il est d'ailleurs fort possible qu'avec cette logique immuable, l'esprit se trouve un jour – c'est le pressentiment de M. L. de Broglie – en face de phénomènes auxquels il ne pourra plus rien comprendre. Je reprendrai alors le mot de Jacques Hadamard dans sa fameuse préface aux *Fondements des Mathématiques* de M. Gonseth : « Sauf pour des endurcis comme moi qui trouvent l'analyse claire telle qu'elle est, il n'y a plus qu'à attendre que le cerveau humain évolue ».

M. Destouches. – Vous avez parlé du principe de contradiction d'Aristote. Quand on fait des démarches théoriques, elles ont toutes pour but d'éviter la contradiction. On cherche à faire des déductions qui soient exemptes de contradiction et, pour sauvegarder la cohérence, on est prêt à faire toutes les concessions nécessaires, même, si cela est nécessaire, en renonçant à d'autres principes de la logique traditionnelle.

Je ne vois pas ce qu'il y a de tellement important à garder une structure d'algèbre plutôt qu'une autre. Nous voulons que la théorie soit non-contradictoire : elle le sera par référence à une autre théorie. On n'a pas su réaliser effectivement la non-contradiction ; ce que l'on sait faire, c'est assurer la consistance ; une théorie est dite consistante si l'on peut démontrer qu'elle est non-contradictoire à condition qu'une autre théorie qu'on prend comme théorie de référence soit non-contradictoire. En physique théorique on demande qu'une théorie soit consistante par rapport à une théorie mathématique admise par une

certain nombre de mathématicicens. Mais on ne sait pas démontrer d'une façon objective sa non-contradiction.

Par contre, il y a bien eu changement dans la logique. Ce ne sont pas seulement les prémisses qui sont modifiées, mais également les règles de déduction ; la règle de distributivité et le principe du tiers exclu par exemple ne sont plus valables dans la logique sur laquelle est construite la mécanique ondulatoire, un indéterminisme essentiel est apparu et celui-ci est d'une nature toute nouvelle qui n'avait jamais été imaginée auparavant. Il a son origine dans le fait que toute propriété sur un système microscopique ne peut être obtenue qu'en utilisant un appareil de mesure à notre échelle dont le rôle est essentiel, aucune atteinte directe par les organes des sens n'étant possible par principe même sur un système microscopique.

M. Julien Benda. – Nous ne sommes pas d'accord sur les mots. J'admets très bien que l'on doive accepter des théories absolument contradictoires. Ce que j'appelle non contradiction, c'est le fait par lequel, entendant une certaine réalité sous un certain mot, nous continuons, jusque ce que nous ayons prouvé le contraire, à entendre la même réalité sous le même mot. Et il m'apparaît que l'on ne peut pas penser autrement.

M. Bréhier. – Tout le monde en somme s'entend sur la nécessité de la cohérence. M. Bouligand ?

M.Bouligand. – Le débat m'intéresse au plus haut point, mais je n'ai pas d'idées assises qui actuellement me permettent une intervention.

M.Césari. – Le principe du tiers exclu ne peut être mis en défaut, dans le domaine physique, que de deux manières :

1° Par l'introduction, tout à fait traditionnelle, d'un tiers modal, en admettant entre le vrai et le faux le possible et même divers degrés de probabilité.

2° Au sens que M. Gonseth donne aux principes de l'ancienne logique, en les considérant comme principes de la physique d'un objet quelconque, et sous cette forme la négation du tiers exclu a bien quelque chose d'un peu révolutionnaire ; elle est nécessaire parce qu'un corpuseule ne saurait être individualisé continuellement par sa position dans l'espace, et que, dans ces conditions, il n'est pas exact d'affirmer que le corpuscule individuel est ou n'est pas.

Mais la seule atteinte au tiers exclu qui serait vraiment fondamentale semble venir de ce qu'entre la vérité et la fausseté d'une

proposition il y aurait de l'indécidable, en dehors de la question même de l'existence d'un corpuscule individuel. Or cet indécidable n'existe ni en mathématiques ni en physique.

M. Destouches. – Vous faites des prévisions, et vous ne pouvez pas dire : je suis sûr.

M.Césari. – Pardon, je puis dire avec certitude « il est probable » en indiquant exactement la probabilité.

M. Destouches. – La valence d'une logique, c'est quelque chose d'un peu secondaire. Lorsqu'il y a que deux valeurs, le vrai et le faux, cela est très simple ; mais la valence d'une logique n'a pas beaucoup d'importance ; les valeurs n'apparaissent que comme un procédé de représentation des règles logiques. On fait un homomorphisme entre les propositions et les éléments abstraits qu'on appelle valeurs logiques. Pour certaines algèbres logiques, on s'aperçoit qu'il peut y avoir trois valeurs, ou quatre valeurs, ou *n* valeurs ; et pour d'autres, il y en a une infinité : on les appelle logiques à valence non définie ; il y a des valeurs qui peuvent être interprétées comme différents possibles, mais cette interprétation n'est pas toujours correcte. La logique de la mécanique ondulatoire est une logique à valence non définie, une interprétation adéquate ne peut en être donnée qu'avec une infinité de valeurs logiques.

M.Césari. – Vous dites : il est impossible, à propos d'un corpuscule, de connaître à la fois sa position et sa vitesse, par suite il faut constituer une logique où il y a une paire incomposable de propositions. Pourquoi ne pas dire qu'il s'agit d'un résultat d'expérience exprimable avec la logique ordinaire, comme lorsque, étant derrière un mur opaque, je ne puis voir à la fois ce qu'il y a d'un côté et de l'autre ? Je ne change pas de logique pour exprimer ce phénomène.

M. Destouches. – Il faut décrire en langage logique ces résultats d'expérience : vous ne pouvez pas décrire à la fois la vitesse et la position. Et en langage ordinaire, vous le pouvez.

M.Césari. – Ce n'est pas d'un changement de logique qu'il s'agit ; il faut dire : l'expérience ne nous permet pas de déterminer à la fois la vitesse et la position.

M. Destouches. – Oui, mais aussi on n'a pas le droit de dire qu'il y a une des deux grandeurs qui est déterminée, et l'autre qui est inconnue. Les lois mêmes de la mécanique ondulatoire exigent une logique différente de la logique classique : sans cela, la mécanique ondulatoire serait une théorie contradictoire. En particulier, la formule de distributivité n'est pas valable (tandis qu'elle est valable en logique classique).

M.Césari. – Évidemment.

M. Bauer. – On peut toujours mesurer la position à condition de sacrifier la vitesse ; et on peut mesurer la vitesse à condition de sacrifier la position. À mon avis, cela pose que la notion de particule n'est pas parfaite.

M.Césari. – À mon avis, il peut y avoir un indécidable temporaire mais non définitif, en mathématiques par exemple.
Si vous considérez un nombre *alpha* égal à 3, 14, 15…, c'est-à-dire ayant les décimales de *pi* jusqu'au moment où l'opération a été effectuée et que l'on trouve toujours de telles décimales, en continuant ; on ne peut pas dire que *alpha* est égal ou inégal à *pi*. Mais justement, si vous sqpposez qu'aucune décimale de *alpha* ne cessera de correspondre à une décimale de *pi*, c'est que vous considérez que *alpha* est égal à *pi*. *Vous ne pouvez supposer l'indécidabilité, sans que la vérité de la proposition s'ensuive ; donc je ne puis démontrer l'indécidabilité et je dois faire confiance à l'esprit humain pour la décidabilité future.*

Cet argument est très général et vaudrait pour les divers exemples où le tiers exclu paraît être atteint en mathématiques. Je me place dans ce domaine où il n'y a pas à opter, comme en physique, entre expérience exprimable au moyen de la logique ancienne, ou logique nouvelle imposée par l'expérience.

M. Destouches. – En mathématiques, la position est toute différente de celle de la physique. En mathématiques, on peut adopter une attitude platonicienne : les êtres mathématiques existent en soi dans un monde des idées, et nous les découvrons. Nous pouvons ignorer si deux nombres sont égaux ou inégaux, mais en soi ils sont ou égaux ou inégaux ; seulement nous n'avons pas de procédé effectif pour les atteindre. Dans cette position il n'y a pas d'indécidable, il y a tiers exclu.

Mais il existe aussi une seconde position : les êtres mathématiques n'existent pas en soi ; il n'existe que ce qui est construit par certains

procédés de construction indiqués explicitement et qui ne nous permettent pas toujours de reconnaître si deux nombres sont égaux ou non; il y a donc une sorte de possible, d'indécidable. Dans une telle conception, les raisonnements doivent être conduits sans utiliser ni le principe du tiers exclu, ni les règles qui en découlent ; on utilise ainsi une logique plus faible que la logique classique.

M.Césari. – Alors, ce n'est pas de la logique, ou bien il faudrait démontrer l'indécidabilité définitive.

M. Destouches. – La question, c'est de savoir s'il y a une logique formelle, indépendamment de ce à quoi on l'applique.

M.Bayer. – On vous propose des logiques du contenu, au lieu d'une logique.

M. Destouches. – Il n'est pas possible de construire une logique formelle, au sens donné actuellement à ce terme, qui soit adéquate pour n'importe quel domaine expérimental.

M.Césari. – Il s'agit de principe, et je demande si le principe du tiers exclu est maintenu.

M. Destouches. – Il n'est pas valable dans la théorie des quanta, car pour qu'il y ait tiers exclu, il faut qu'il y ait structure d'algèbre de Boole, ce qui n'a pas lieu. C'est une raison mathématique, ce n'est pas une raison de principe.

M.Bréhier. – L'expérience ne nous permet pas de choisir.

M. Destouches. – Si nous ne voulons pas qu'il y ait de contradiction en mécanique ondulatoire, il ne faut pas admettre de principe du tiers exclu.

M.Bréhier. – Nous disons seulement : nous sommes ignorants.

M.Bauer. – Je voudrais reprendre ce qu'on disait tout à l'heure au sujet du nombre *pi*. Je crois qu'il ne s'agit pas là de logique, mais d'opérations de l'esprit. Les premiers mathématiciens ont construit le monde avec des nombres entiers ; ensuite, ils ont vu la nécessité d'introduire les nombres fractionnaires. Enfin, quand les mathématiciens grecs ont trouvé le théorème du carré de l'hypoténuse, ils se sont aperçu qu'avec les opérations de l'arithmétique ordinaire,

avec les additions, les soustractions, les divisions et les multiplications, on ne pouvait pas atteindre toutes les grandeurs mathématiques : ils ont dû définir de nouvelles opérations de l'esprit, qui ont conduit aux nombres irrationnels.

En physique, il se produit des choses analogues. Nous avons fait certaines opérations physiques, les opérations de la physique macroscopique : elles ne nous suffisent pas à décrire le monde tel qu'il est. Il faut créer quelque chose de nouveau.

M. Destouches. – Nous savons manier les nombres irrationnels constructibles, mais pas les nombres irrationnels non-constructibles. Presque tous les nombres irrationnels sont non-constructibles. Les nombres constructibles sont ceux qui pourraient être obtenus au moyen d'une machine. On ne peut pas construire tous les nombres irrationnels : il faudrait effectuer une infinité non-dénombrable d'opérations pour les atteindre.

M. Bouligand. – La question est la suivante: que peut-on dire des notions introduites au moyen d'un système formel, utilisant un nombre fini de symboles, dont chacun peut être répété *ad libitum* ? En opérant par une succession de ces symboles, mis à la suite les uns des autres, on aura toujours du fini, et par conséquent, les concepts numériques ou divers, pouvant sortir d'une pareille trame, ne peuvent prétendre, même en poursuivant indéfiniment, à la puissance du continu.

M.Destouches a donc raison de dire que les nombres irrationnels définissables par un tel formalisme forment au plus un système dénombrable.

M.Bauer. – Même par un passage à l'infini ?

M. Bouligand. – Même par ce passage, puisque les symboles successifs se laissent numéroter. Bien plus, on sort de la logique proprement dite dès qu'on introduit (globalement) la suite des entiers et le raisonnement par récurrence. Couturat, au début de son *Algèbre de la Logique*, soupçonnait son formalisme de ne pas être un reflet fidèle des opérations mentales. Ce que M. René Poirier a récemment confirmé par une subtile analyse de cette question, et spécialement des divers aspects de la négation, dans une conférence qu'il a faite à l'Ecole normale supérieure de Sèvres. Il serait donc puéril de s'en remettre à la logique, et rien qu'à elle.

M. Destouches. – Dire que vous faites un passage à la limite, c'est dire : j'ai à ma disposition la totalité des entiers et pas plus. Pour avoir tous les nombres irrationnels, il faut tout autre chose, et répéter à l'infini l'ensemble des entiers, et cela devient plus grave.

M. Metz. – Je voudrais, tout à fait d'accord avec M. Bauer et les autres interlocuteurs, insister sur le danger de l'affirmation selon laquelle on pourrait faire concilier toutes les théories, en interdisant certains raisonnements : c'est extrêmement grave.

Il est certain qu'autrefois, dans l'histoire des théories physiques, la fécondité des recherches théoriques et même en partie pratiques, a été orientée par l'idée qu'il fallait que l'univers fût logique. Et quand on nous dit : mais maintenant, on va pouvoir concilier entre elles n'importe quelles théories, c'est très grave !

En fait, heureusement, ce n'est pas arrivé, car on peut toujours dire que, si le photon se comporte comme un paquet d'ondes dans certaines circonstances, et comme un ensemble de corpuscules dans certaines circonstances, ce n'est qu'une image. Comme le dit M. Bauer, c'est une vérité de fait : ce n'est pas du tout de la logique. En gros, il se comporte comme un paquet d'ondes quand il est en mouvement, et comme un corpuscule quand on l'arrête. Au fond, c'est cela.

Il y a bien d'autres choses qui sont ainsi : telle chose se comporte comme ceci dans certaines circonstances et se comporte comme cela dans certaines autres circonstances.

La logique, il n'y faut pas toucher : la considérer comme variable, cela conduit à la paresse de l'esprit. Je ne dis pas paresse de la part de ceux qui construisent les nouvelles théories, mais paresse de la part des physiciens.

M. Destouches. – Vous dites qu'on a le droit de parler de photon, de paquet d'ondes ; mais vous admettrez tout de même que j'ai le droit d'arranger mon discours pour en parler de telle façon que mon discours ne soit pas contradictoire ? Et je ne peux le faire que si les règles de construction de mon discours ont une structure telle que la contradiction n'y apparaisse pas. Je n'ai jamais dit autre chose. Je ne vois pas ce qu'il y a de grave à chercher un procédé pour concilier la théorie de la relativité et la théorie des quanta ou d'autres théories analogues.

Votre manière de faire consiste à supprimer une certaine liberté, en disant : on ne doit pas travailler de cette façon là !

M. Metz. – Ce qu'il faut, c'est que, quand on arrive à une certaine contradiction, on se dise : il faut travailler un peu plus loin ; mais il ne faut pas dire : nous allons faire une nouvelle logique.

M. Destouches. – On a bien fait de nouvelles géométries ! Autrefois, quelqu'un qui aurait dit la moindre chose contre la géométrie euclidienne aurait soulevé des protestations. Et quelque temps après, on a fait intervenir la géométrie à quatre dimensions et la géométrie riemannienne. C'est exactement la même chose pour le changement de logique.

M. Ullmo. – J'ai peur au contraire qu'en faisant porter la difficulté sur la logique, on n'adopte une solution de facilité. L'opposition entre la vitesse et la position des particules est un problème très délicat : il y a peut-être là un fait de structure plus profonde de la particule, qui est mal décrite. Il me semble qu'on interrompt l'effort de recherche quand on dit : nous allons accorder tout cela et imposer simplement des règles logiques nouvelles.

Pourquoi imposer à l'esprit un « coup d'arrêt » de ce genre, alors qu'on risque ainsi d'interrompre, comme le disait M. Metz, l'effort d'approfondissement de la réalité objective ?

M. Destouches. – Cet effort doit pouvoir être poursuivi à son gré par chacun, et dans le sens qui lui parait préférable. Il doit pouvoir le faire librement. Les interdictions ont toujours été mauvaises en science.

Mme Lévy-Strauss. – Comme un langage, comme un mode d'expression, dit M. Destouches. MM. Benda et Ullmo demandent qu'on doive intégrer ces mêmes recherches dans les cadres logiques ordinaires : ce n'est pas la même chose. M. Destouches avait fait la distinction entre la logique et l'axiomatique.

M. Bréhier. – C'est le nœud de la question; il s'agit de la distinction des deux sens du mot « logique ».

Mme Lévy-Strauss. – Il y en a un seul pour les cadres intellectuels et les modes d'expression.

M. Metz. – On parle souvent de subjectivité et de l'influence de l'observateur : il est bien entendu que chaque fois qu'un physicien, un savant, un scientifique en général, parle de cela, c'est toujours du système de mesures qu'il parle. Jamais l'influence du connaissant au

sens kantien, ou au sens de l'idéalisme, n'est en jeu ; et cela a trompé beaucoup de philosophes malheureusement, comme par exemple Bergson quand il a parlé de la théorie de la relativité : il a cru que les quantités que l'on introduisait là-dedans étaient imaginées par l'observateur. Non, elles sont mesurées selon un système de mesures. C'est cela qui l'a conduit à son livre *Durée et Simultanéité* dont il n'est resté absolument rien.

Je voudrais qu'on insiste toujours là-dessus quand on parle d'observateur : il s'agit en réalité – je crois que vous l'avez dit tout à l'heure – de systèmes de mesures.

M. Destouches. – Il y a une assez grande différence entre un «système de mesures » au sens de la théorie de la relativité et un «ensemble de mesures » en mécanique ondulatoire, car les mesures ne sont pas toutes compatibles entre elles ; le fait d'effectuer une nouvelle mesure peut effacer une connaissance déjà acquise (c'est en ce sens d'ailleurs que M. Pauli parle de « subjectivité » dans les quanta), et un observateur est libre de faire telle mesure réalisable qu'il lui plaît et à l'époque qu'il choisit librement. Il s'agit toujours d'un observateur qui fait des mesures. Elles ne se font pas toutes seules, les mesures

M. Metz. – C'est entendu, mais ce sont les mesures telles qu'elles sont qui ont de l'influence, et non pas l'esprit de l'observateur !

M. Destouches. – Naturellement.

M. Metz. – Naturellement, mais il faut le dire : l'observateur, c'est toujours l'appareil de mesures dans la théorie de la relativité ; ce n'est jamais l'esprit de l'observateur imaginant quelque chose. Il n'est pas inutile d'y insister à une réunion de philosophes.

Enfin, je voulais parler de l'indéterminisme. Il y a une difficulté, en ce sens que dans le langage philosophique on a dit « déterminisme » pour quelque chose de beaucoup plus vaste que ce qui correspond maintenant à l' « indéterminisme ». C'est une théorie qui permet la prévision exacte, réelle, pratique. Ainsi quand les philosophes parlaient du déterminisme psychologique. Il y a là aussi quelque chose à préciser, car beaucoup de gens sont passés de l'un à l'autre. Un grand nombre de vulgarisateurs nous ont dit que nous allions pouvoir parler de la « liberté dans l'atome », de libre-arbitre, parce qu'il n'existait plus de déterminisme strict : il y en a beaucoup comme cela.

M. Destouches. – Cela a été dû à beaucoup de phrases malheureuses au début de la théorie des quanta. Et naturellement, les vulgarisateurs ont cherché tout de suite à s'en servir.

M. Metz. – Il est certain que ceux qui parlaient du déterminisme psychologique savaient que toute expérience sur la conscience, surtout si c'est de l'introspection, concerne ce qui va se passer dans l'avenir. Ils le savaient déjà, mais néanmoins ils parlaient de déterminisme.

M. Bréhier. – Je crois que les philosophes sont maintenant tout à fait éclairés sur cet aspect du problème.

M. Hyppolite. – Je ferai une seule remarque à propos de l'intervention de tout à l'heure et au conflit entre le physicien expérimental et le théoricien. Jadis le physicien disait : on s'est servi de deux images : l'image de l'action à distance, et l'image de l'action de proche en proche. On a dit que c'était là une façon de s'exprimer subjectivement, pour éviter la contradiction dans l'objet. Et on rencontre encore deux images aujourd'hui, celle de l'onde et celle du corpuscule.

Je veux faire remarquer au physicien expérimental qu'il maintient l'incohérence dans le sujet pour essayer de garder la cohérence dans l'objet. Or, l'invention d'une nouvelle logique permet, semble-t-il, de dépasser cette dualité d'une physique dont les hypothèses sont purement subjectives, puisque si ce sont des images incohérentes entre elles, l'objet conserverait, en tant qu'objet, la cohérence. Nous ne pouvons pas les appliquer à l'objet lui-même : nous les considérons donc comme subjectives. Mais c'est pour surmonter cette dualité objet-sujet qu'un nouveau langage logique pourrait être substitué à l'ancien.

Est-ce bien cela?

M. Destouches. – Oui.

M. Hyppolite. – Donc, il y a d'abord incohérence. Tout le monde veut éviter la contradiction ; le physicien ne l'évite que par un subjectivisme, dans lequel il se maintient toujours, tandis qu'au contraire le nouveau logicien transcende cette contradiction, qui n'existerait que sur le plan de l'ancienne logique et donne ainsi une valeur objective à la dualité ondes-corpuscules.

M. Destouches. – C'est pour avoir un langage cohérent qu'une modification est nécessaire, et il y a une évolution irréversible dans le sens du progrès de la science ; on doit en tenir compte.

M. Bauer. – C'est simplement le mot « logique » qu'il faut employer autrement.

M. Destouches. – Mettez « calcul sur les propositions », et vous n'aurez pas de difficulté à dire comme moi.

M. Ullmo. – Si le calcul prend une forme de ce genre, il semble fixer « *in aeterno* » cette notion de position et de vitesse, et par conséquent il nous empêche de pénétrer par l'esprit plus loin que cette notion de position et de vitesse : il y a une sorte de borne posée.

M. Destouches. – C'est comme si vous disiez : il est très mauvais d'énoncer de façon précise les lois de la géométrie euclidienne, car cela nous empêche de penser à la théorie de la relativité.

M. Ullmo. – Si vous affirmez quelque chose de ce genre : il est interdit de dire qu'il y a plusieurs parallèles par un point à une droite, vous interdisez un certain nombre de problèmes : les interdictions sont sans aucun doute des bornes.

M. Wolff. – Une petite remarque seulement : rappelons-nous les origines de l'intelligence. Pour cela, il faut en revenir à Bergson : l'intelligence est fondée, à ses origines pratiques, sur l'observation dans le domaine des images (ou de l'intuition sensible, comme aurait dit Kant).

On parle des contradictions entre l'image des corpuscules et l'image de l'onde. Il y a peut-être en effet contradiction. Si nous cherchons à la lever par recours aux mathématiques, est-ce que nous ne jonglons pas avec les chiffres sans savoir ce que nous disons ? En effet, lorsque nous sortons de ces images et de la géométrie euclidienne auxquelles elles sont liées, nous ignorons ce que signifient nos symboles. Hume disait : quand on exprime une loi de la matière, on n'est pas sûr qu'on n'a pas affaire à une simple coïncidence. Il faudrait recourir à un modèle mécanique pour atteindre la causalité efficiente, ou encore : n'importe quel phénomène peut être exprimé par une formule mathématique, mais que mettra-t-on dessous ? Et je crois, contrairement à M. Metz, que la critique d'Einstein par Bergson est très profonde : la théorie d'Einstein, ce ne sont que des chiffres ; mais ils n'évoquent pour nous rien de concret. La géométrie imaginaire, ne

devrait-on pas l'appeler bien plutôt « non-imaginable » ? La quatrième dimension, c'est le domaine du supra-sensible, le noumène kantien.

Mme Destouches-Février. – C'est peut-être une trop grande confiance dans la nature que manifeste le physicien quand il pense qu'il peut se fier à elle pour affirmer l'unité de la science. Est-il sûr que jamais deux expériences ne viendront former contradiction et que le monde extérieur n'est pas incohérent en soi ? Ce n'est pas du tout certain : il faut essayer de s'assurer de cette unité autrement, car on ne sait pas du tout si elle est garantie en elle-même. Cela a pu marcher jusqu'à présent, mais rien ne prouve que cela puisse continuer toujours.

M. Bréhier. – Je crois qu'on peut terminer sur cette interrogation.

Si personne n'a plus rien à dire, je lève la séance, en remerciant vivement M. Destouches.