

BIBLIOTHÈQUE DE PHILOSOPHIE CONTEMPORAINE

**L'EXPÉRIENCE
DE L'ESPACE**

DANS LA PHYSIQUE CONTEMPORAINE

PAR

Gaston BACHELARD

Professeur à la Faculté des Lettres de Dijon

LIBRAIRIE FÉLIX ALCAN

PARIS

**L'EXPÉRIENCE DE L'ESPACE
DANS LA PHYSIQUE CONTEMPORAINE**

OUVRAGES DU MÊME AUTEUR

A la librairie Alcan

LE NOUVEL ESPRIT SCIENTIFIQUE, 2^e édition.

A la librairie Vrin

ESSAI SUR LA CONNAISSANCE APPROCHÉE.

ETUDE SUR L'ÉVOLUTION D'UN PROBLÈME DE PHYSIQUE : LA PROPAGATION THERMIQUE DANS LES SOLIDES.

LA VALEUR INDUCTIVE DE LA RELATIVITÉ.

LE PLURALISME COHÉRENT DE LA CHIMIE MODERNE.

A la librairie Stock

L'INTUITION DE L'INSTANT.

A la librairie Boivin

LES INTUITIONS ATOMISTIQUES.

LA DIALECTIQUE DE LA DURÉE.

L'EXPÉRIENCE
DE L'ESPACE

DANS

LA PHYSIQUE CONTEMPORAINE

PAR

Gaston BACHELARD

Professeur à la Faculté des Lettres de Dijon

PARIS

LIBRAIRIE FÉLIX ALCAN

108, BOULEVARD SAINT-GERMAIN, 108

1937

539.1

B12e

3 m 38 BB

CHAPITRE PREMIER

RÉALISME ET LOCALISATION

I

Si l'on va au fond des expériences par lesquelles le philosophe réaliste prétend prouver sa métaphysique, on s'aperçoit rapidement que ces expériences se fondent sur une connaissance ingénue de l'espace et que le *réalisme des choses* prend son premier appui sur un véritable *réalisme de l'étendue*. C'est dans l'espace que le réaliste puise ses intuitions premières. C'est dans l'espace aussi qu'il prouve l'objectivité du réel en y déterminant le rendez-vous des esprits. Ce second ordre de preuves soutient la connaissance intuitive et directe du réel et se développe d'une

107
19 Feb 39 Stead

manière plus ou moins discursive. Le développement discursif prend tout naturellement la forme polémique : Si vous prétendez refuser au Réaliste une expérience probante de la réalité directement aperçue, il vous fixera un point particulier de l'espace où il vous annoncera la présence d'une chose. Ce point particulier sera un repère, une occasion ou une substance, peu importe ; ce sera là, à cet endroit précis, que le Réaliste vous demandera d'atteindre ou d'attendre la réalité puisque vous objectez des difficultés à la saisir dans une intuition première. Il est très remarquable que le Réaliste reste moins soucieux à l'égard d'une précision temporelle que d'une précision spatiale. Qu'un phénomène soit retardé, c'est tout simplement la paresse d'une cause ; la substance n'en est point responsable. Au contraire même : un phénomène qui dort, c'est une richesse de la substance qui s'économise ; il est le signe d'une réalité plus profonde, moins fugace. Dès lors, les caractères statiques du réel priment

les caractères dynamiques. Pour le succès de la polémique réaliste, l'essentiel est que la *place* où se produira l'événement désigné soit fixée, l'essentiel est que la chose inerte ou obscure puisse attendre, en un coin précis de l'espace, le mouvement ou la lumière. Ainsi la base de la connaissance du réel est le cadre spatial et la localisation est la seule vraie racine de la substantialisation.

Dans ces conditions, c'est en affinant la localisation que le philosophe croit pouvoir passer du réalisme naïf au réalisme instruit. Les doctrines positivistes de la mesure paraissent découler facilement de cette localisation affinée. Dans cette voie, on arrivera insensiblement aux preuves scientifiques du réalisme. On établira ainsi une certaine homogénéité dans la métaphysique réaliste, au point qu'on a pu dire que le physicien était purement et simplement un Réaliste et qu'il ne pouvait fonder sa science que sur une réalité indépendante de toutes les constructions théoriques. Cette homogénéité apparente

provient, croyons-nous, du privilège accordé à l'expérience de localisation, à la description purement spatiale des phénomènes. En examinant les expériences de localisation, nous trouverons donc un programme fécond pour discuter les thèses réalistes.

Mais avant de discuter ces thèses, exposons plus longuement les certitudes fondamentales que la métaphysique réaliste puise dans l'étude topologique des objets qui peuplent l'espace et voyons si nos expériences sur la localisation usuelle sont aussi homogènes qu'il le semble à première vue.

Ce qui doit d'abord retenir notre attention, c'est la rapidité avec laquelle le Réaliste a recours aux expériences proprement géométriques. Pressez-le un peu. Objectez-lui que nous connaissons bien peu de chose sur ce réel qu'il prétend saisir comme un donné. Le Réaliste acquiescera ; mais il vous répondra aussitôt : « Qu'importe que nous ne sachions pas ce qu'est l'objet ; tout de même nous

savons que l'objet est puisqu'il est là ; vous comme moi, nous pouvons toujours le trouver dans une région désignée de l'espace. » Le lieu apparaît donc comme la première des qualités existentielles, la qualité par laquelle toute étude doit commencer, par laquelle aussi toute étude doit finir pour avoir la garantie de l'expérience vraiment positive. Pourrait-on parler d'une réalité qui serait partout ? Autant dire qu'elle ne serait nulle part. En fait, l'espace est le moyen le plus sûr de nos différenciations et le Réaliste, au moins dans ses polémiques, se fonde toujours sur la désignation d'objets spatialement différenciés. Une fois que le Réaliste aura assuré la racine géométrique de son expérience de localisation, il conviendra facilement du caractère non-objectif des qualités sensorielles, et même des qualités le plus directement en rapport avec la géométrie de la localisation. Par exemple, le Réaliste abandonnera la discussion au sujet de la forme et du volume. En attribuant la voluminosité à toutes les sensa-

tions, il en fera une métaphore dont il ne garantira plus l'objectivité (1). Il consentira à ce que l'objet tienne mal sa figure, à ce qu'il soit déformable, compressible, poreux, fuyant. Mais du moins, fût-ce par *un seul point*, l'objet sera retenu dans l'existence géométrique, et cette sorte de centre de gravité ontologique se présentera comme la racine de l'expérience topologique. On aboutira à un cartésianisme ponctuel et non plus figuré. Et ce cartésianisme de centres nettement désignés, bien que distribués dans un espace homogène mal exploré, sera la source de certitudes majeures. On n'a peut-être pas assez souligné l'importance de cette segmentation du réalisme spatial qui permet d'opposer la solidité de ces centres de perspective objective au caractère subjectif d'une voluminosité plus ou moins foisonnante. En fait, pour la métaphysique réaliste, un objet particulier est de prime abord un *point singulier* de l'espace. Au-

(1) Cf. W. James, *Précis de Psychologie*, trad. p. 443.

tour de ce point peuvent se manifester bien des diversités phénoménales ; ces diversités pourront être plus ou moins serrées sur l'objet : elles appartiendront cependant à un même objet dès qu'elles auront le même centre de localisation. Qu'on aille au fond de la certitude réaliste, on verra que le *découpage* qui a donné lieu aux si fines remarques psychologiques et métaphysiques de M. Bergson et de M. Le Roy se fait nécessairement autour d'un *centre d'objectivité*. Le réalisme ne se contente jamais — comme il semble qu'il devrait le faire — d'une réalité en coquille qui *réaliserait* sur la périphérie des objets les sensations qui nous les font connaître. Le découpage suit alors une figure plus ou moins contingente, le long d'un pointillé plus ou moins resserré sur l'objet, en rapport plus ou moins étroit avec nos besoins et nos désirs. Mais la vraie réserve de réalité est au centre. C'est le centre qui sauvegarde l'unité ; c'est le centre qui est l'élément de l'arithmétique du réel ; c'est le centre qui tient

le sujet de toutes les phrases prédicatives où nous exposons les qualités du réel. M. Étienne Souriau a fort bien reconnu l'influence de la localisation ponctuelle sur la pensée substantialiste (1) : « C'est cet emploi fréquent, comme sujet grammatical, de la détermination locale qui a conduit Sigwart à hypostasier celle-ci et à en faire le seul véritable sujet d'inhérence : ce qui force à ne considérer comme intelligible que le changement continu qui s'accomplit au même endroit de l'espace. »

Si la localisation ponctuelle est si claire, si solide et pour ainsi dire si logique, on s'explique que le réalisme se soit cru si facilement d'accord avec les doctrines de la Relativité. En effet, le Réaliste ne prétendait pas sauver les formes étendues de ses objets réels. Il lui suffisait d'être sûr de garder les centres réels de localisation. Dans les doctrines relativistes, on jouait en somme avec l'*extérieur* du

(1) Étienne Souriau, *Thèse*, p. 94 note.

réel ; on laissait au Réaliste, semble-t-il, la substance intérieure du réel. On modifiait les relations géométriques des objets ; on ne modifiait pas leur nombre, leur unité, leur existence absolue, étant bien entendu que l'existence absolue des objets est leur existence spatiale ponctuelle. Le Réaliste acceptait donc tous les paradoxes des figures diminuées, des coefficients de contraction, des bouleversements d'échelle. Il se bornait à réappliquer, point par point, chose par chose, le monde mathématique rectifié sur le monde intuitif. Le Réaliste abandonnait volontiers ses méthodes de localisation ; il n'abandonnait pas pour cela ses centres de localisation, manquant ainsi à la prescription première de toute saine philosophie, qui nous enjoint de définir l'objet par les méthodes expérimentales qui nous livrent ses caractéristiques.

Devant les nouvelles doctrines quantiques, le Réaliste croit pouvoir encore ancrer ses certitudes sur les mêmes centres. Sans doute certaines théories quantiques

paraissent bien impliquer pour l'objet une sorte de tremblement essentiel et même une sorte de dilution, puisqu'on attribue en même temps à l'objet le caractère strictement ponctuel en se défendant de préciser la place de ce centre. Cette fois, il semble donc que l'objet tienne mal, non seulement sa figure, mais son lieu. Le Réaliste ne s'avoue pas vaincu pour si peu. Il prétend comprendre la physique quantique sans refondre son expérience, ni ses principes, ni sa métaphysique. Bien que, de toute évidence, le micro-objet saisi statistiquement ait des effets locaux assez mal déterminés, on veut que ces effets aient tout de même une cause locale bien déterminée. On ne veut pas prendre le tremblement, l'ondulation comme des tous, comme des synthèses chose-mouvement. On veut analyser intuitivement ces éléments complexes qui sont inanalysables expérimentalement et l'on postule le point matériel comme doué d'une localisation exacte. Nous reviendrons d'ailleurs longuement sur les expériences effec-

tives de la localisation quantique et nous montrerons que son caractère granulaire trouble profondément le réalisme de l'étendue. Pour l'instant, admettons encore que le Réaliste puisse faire fonds sur la localisation continue des microphénomènes et pour conclure ce simple exposé du réalisme spatial que nous allons bientôt combattre, fixons aussi nettement que possible le principe essentiel et premier de cette localisation centrée sur un point désigné.

Il semble bien que le principe topologique du réalisme spatial ne mette en jeu qu'une simple et pauvre relation : *la relation de contenant à contenu*. En effet, puisque les figures des objets ne sont que des aspects plus ou moins contingents, puisque la véritable ou du moins la plus forte racine de la certitude réaliste provient de la localisation certaine d'un objet dans une région spécifiée de l'espace, on devra définir la *recherche* du réel comme un enveloppement progressif ; on devra prouver la certitude du réalisme en fixant une enveloppe à l'intérieur de laquelle

on trouvera sûrement l'objet désigné : « Mon coffre est dans mon bureau ; mon portefeuille est dans mon coffre, donc mon portefeuille est dans mon bureau. » Je suis aussi sûr de ce *syllogisme de la localisation* que du *syllogisme de l'implication*. Ce n'est pas sans raison qu'on a fondé la logique formelle sur un tel emboîtement des biens. Un spéculateur pourra s'évertuer à prouver que le contenu de mon portefeuille est solidaire de conventions sociales — c'est-à-dire d'idées plus ou moins théoriques — que ces conventions extrinsèques sont les seules raisons de ma fortune, que le monde financier est un complexe de lois financières, qu'une obligation financière ne donne un bien réel que lorsqu'elle est *réalisée* et qu'elle se réalise hors du coffre, à la banque, à la bourse, au temple des valeurs fiduciaires... Le Réaliste sourira de tant de paradoxes et, sans plus s'étonner de la facilité avec laquelle on adjoint des thèmes théorétiques au réel, il répondra : « La seule base objective, réelle, certaine, de

votre pensée sur la réalité financière, c'est que vos actions sont dans le coffre et que le coffre est dans votre bureau. C'est là que voleurs ou héritiers pourront les trouver. Les raisons subjectives de localiser un objet peuvent bien diverger ; la localisation n'en reste pas moins fondée uniquement sur la convergence des emboîtements successifs. C'est une opération nettement centripète, méthodiquement ordonnée vers un centre. Multiplier les enveloppes autour d'une réalité, c'est multiplier les assurances de sa possession, c'est entraver les émanations, les pertes subtiles, c'est la fixer solidement dans l'espace. *Enfermer le réel, c'est le stabiliser.* »

Voilà donc, à notre avis, la preuve la plus simple, la plus forte, du réalisme. Si cette preuve venait à faillir, le réalisme serait bouleversé. Il faudrait, sinon l'abandonner, du moins le modifier de fond en comble. Autant vaudrait alors lui trouver un autre nom.

C'est cette preuve que nous voulons maintenant discuter.

II

Nous plaçons le premier motif de discussion sur la base même de la *localisation précise*. Voici la question essentielle : n'y a-t-il pas antinomie entre la certitude de la localisation et sa précision ? Si nous faisons la preuve que le réalisme est certain dans la mesure même où il est imprécis, nous serons conduit à nous étonner qu'on ait pu dire que la connaissance scientifique et précise se reliait naturellement à la métaphysique réaliste.

Dans la localisation réaliste que nous avons décrite, la racine de la certitude est-elle vraiment fixée à l'*intérieur* de la cellule de localisation ? Pour répondre à cette question, voyons où se fonde la certitude quand on la met en doute, quand on provoque une polémique. En fait, pour être bien sûr de sa topologie, le Réaliste la rend grossière et, ce qui va de pair, il la rend négative.

En effet, si le Réaliste a besoin de plus de certitude, il agrandira la cellule topique où il prétend trouver sûrement le réel ; il ne la diminuera pas. Il ne tentera pas de la rendre plus précise, mieux dessinée ; il aurait trop peur, par trop d'exigence, de provoquer un accident, une anomalie, une fuite. Il prendra donc une cellule de localisation assez grande pour bénéficier d'une large marge de sécurité.

Dès lors, le Réaliste dessinera les parois de la cellule de localisation dans le vide, c'est-à-dire dans la région où le réel ne se manifestera *sûrement* pas, dans la région de l'expérience *sûrement* négative. Sans doute, le Réaliste énonce sa foi sur le mode positif : il affirme que le réel est à l'*intérieur* de la cellule de localisation. En procédant ensuite par emboîtements successifs des cellules, il fait mine de travailler au positif ; mais les besoins de la *certitude absolue* exigent qu'il emboîte des parois taillées dans l'espace désert, loin de l'espace peuplé par le réel. Sa foi en la réalité est renforcée par la certi-

tude qu'on ne trouvera rien à l'extérieur de la cellule de localisation. Il affirme le réel quelque part là dedans et sûrement pas ailleurs. S'il fallait désigner positivement le lieu précis de la réalité, on pourrait se tromper, et par conséquent la preuve péremptoire de la présence du réel pourrait faillir ; par contre, on ne se trompera jamais en localisant par exclusion, dès qu'on s'accordera le droit de fixer des frontières suffisamment lointaines. Psychologiquement, les exclusions sont plus claires que les inclusions. En tout cas, les exclusions et les inclusions ne sont réciproques que si l'on opère sur des cellules suffisamment larges. Dès qu'on approche du réel, les deux hypothèses : 1^o trouver sûrement le réel à l'intérieur de la cellule ; 2^o ne jamais le trouver à l'extérieur de la cellule — cessent de former pléonasme. Comme nous le verrons un peu plus loin, entre les deux propositions connexes se glissent des probabilités qui effacent toute certitude.

Ce qui peut nous tromper à cet égard

et nous faire croire au caractère positif de la certitude de la topologie réaliste, c'est que la localisation dans la vie courante est si peu exigeante qu'elle réussit à coup sûr ; les cellules de localisation sont, en effet, très grandes, leurs parois forment souvent un ensemble géométrique bien simplement défini ; l'écrin qui tient le bijou est bien fermé. Non seulement nous raisonnons sur des solides, mais nous ne considérons guère que des enveloppes continues et si simples qu'elles sont réductibles topologiquement à des sphères. Puis ces enveloppes sont des barrières absolues. Si nous méditons sur le caractère primitif de l'intuition d'un enveloppement géométrique et absolu, nous ne tarderons pas à voir dans cette intuition — comme il est de règle pour une intuition non rectifiée — un véritable obstacle à la compréhension des enveloppes physiques. Ainsi l'exposition pédagogique des phénomènes d'osmose ne va pas sans difficulté du fait de la raideur des intuitions géométriques. Les membranes semi-per-

méables provoquent toujours un émerveillement chez les jeunes élèves. Il faut qu'une porte soit ouverte ou fermée. Et si elle est ouverte, elle est ouverte pour l'entrée comme pour la sortie. On n'admet donc pas facilement que la paroi trie les substances qui sollicitent le passage. On se sauve de cette difficulté en adjoignant à l'intuition d'enveloppe, l'intuition commune de filtrage. Au XVIII^e siècle, le concept de filtrage sélectif s'appuyait souvent sur une attraction toute qualitative des semblables. On prétendait qu'un morceau de drap trempé dans un liquide particulier pouvait servir à séparer un mélange de ce liquide particulier et d'un liquide quelconque. C'est en s'appuyant sur cette thèse qu'on expliquait la filtration de l'urine. Les reins seraient imbibés, dès leur premier fonctionnement, d'une liqueur semblable à l'urine ; en conséquence, ils ne laisseraient passer que les parties du sang propres à former cette excrétion. De telles opinions, qu'on pourrait facilement multiplier, montrent assez combien

sont insuffisantes nos expériences positives communes sur les frontières physiques. Le concept de contenance purement géométrique en reçoit un privilège insigne. Et pourtant la *contenance géométrique* n'est qu'un cas particulier de *contenance physique*. Il faudra toujours en venir à la somme expérimentale du physique et du géométrique si l'on veut fonder une conception scientifique de la réalité.

III

Il y a encore une autre raison à l'origine de la certitude topologique du réalisme usuel : c'est que la connaissance *certaine* qu'il acquiert en utilisant la catégorie d'emboitements successifs est relative à des objets que le chercheur *connait*. Il s'agit non pas de trouver, mais de retrouver. Il s'agit non pas de connaître, mais de reconnaître. C'est là une soudaine simplification ! Et c'est une simplification qui, du point de vue métaphysique, adultère singulièrement le réalisme. Quoi ! vous

vous proposiez de fonder le réalisme sur une expérience première et simple, vous alliez nous faire toucher du doigt une réalité indiscutable, vous alliez nous prédire toutes nos rencontres avec le réel et voici que vous impliquez toute la psychologie de la reconnaissance à la base de la psychologie de la certitude réaliste ! Songez un instant à toutes les valeurs idéalistes qu'entraîne le problème de la reconnaissance ! Songez aussi que la reconnaissance se fait à un signe, et demandez-vous si, tout d'un coup, ce signe ne prend pas une valeur indicative plus nette que le lieu qui vous servait à donner le repère soi-disant fondamental du réel. Nous entreprenions de déterminer le réel par des signes locaux, en précisant soigneusement les conditions de sa détection et voici que vous mettez fin à cette enquête progressive, en reconnaissant d'un coup d'œil l'objet familier, en rompant par conséquent subitement l'allure de l'enquête. Une philosophie de l'approximation se refusera toujours ces subits passages à la limite ;

elle voudra égaler la pensée à la recherche, en s'appuyant sur la conscience de ses méthodes discursives plutôt que sur une intuition unique.

Il est peut-être intéressant de remarquer que l'ancienne doctrine aristotélicienne du lieu naturel a dû sa clarté au fait qu'elle s'est toujours contentée d'une topologie à très grande échelle, autant dire d'une topologie grossière. La relation du haut et du bas, par exemple, donnait un thème d'explication très rapide. Dans une telle classification hypermacrophysique, on *reconnaissait* les éléments à des traits si généraux qu'on ne sentait pas le besoin de fixer avec précision leur topologie. Moins est grande l'exigence de précision dans notre « connaissance » du réel, plus vive est la certitude de sa présence. Pour le réaliste, le Réel est une sorte de Dieu qu'on trouve partout dès qu'on le cherche avec négligence.

IV

Ainsi la localisation des objets qui semblait devoir donner au Réaliste des connaissances positives et précises sur la Réalité, se révèle, à l'examen, comme simplement utilitaire et vague. Cette localisation peut donner des certitudes à l'égard d'une *action d'ensemble* ; elle ne peut donner de certitude à l'égard d'une *connaissance fine et précise*.

Toutefois, ce n'est pas à dire que la topologie ne puisse nous instruire sur le réel ; mais il faut prendre cette connaissance comme elle se présente, sur son véritable plan qui est le plan de la probabilité. Si le Réaliste veut fonder sa doctrine, il faut qu'il fasse comme tout le monde, qu'il procède expérimentalement en suivant une lente et régulière réduction de l'erreur, par une longue conquête des probabilités positives. Alors il comprendra que le plus réel est le plus rectifié et qu'il n'y a pas de connaissance primitive qui soit une connaissance réaliste. La réalité

maxima est au bout de la connaissance, non point à l'origine de la connaissance. Nous allons nous en rendre compte en explorant rapidement l'intérieur de la cellule de localisation.

Les abords de la cellule topologique n'ont guère d'intérêt pour la chasse de Pan. On peut les parcourir l'arme à la bretelle. En tirant en plein ciel, nous serions sûrs de manquer le perdreau. Traversons donc rapidement la zone des erreurs totales et formons l'ensemble des connaissances grossières. C'est autour de ces connaissances grossières que nous pourrions *réaliser* les concordances du sens commun, en entendant par là, au style fort, que nous transformons en *réalités* les diverses concordances des conduites communes. Avec ces réalités, en somme uniquement sociales, nous avons tout ce qu'il faut pour désigner plus ou moins clairement les objets de notre étude personnelle. Impossible d'aller plus loin, en groupe, vers le réel. En effet, à peine aurons-nous fixé

le programme général de notre expérience personnelle que nous nous apercevrons du caractère essentiellement accidentel de notre recherche personnelle effective. Alors apparaîtront, en effet, les accidents qui tiennent à notre méthode de détection mal assurée, à nos maladresses, à notre équation personnelle, à nos obscurités théoriques concernant un objet que nous cherchons sans le bien connaître. L'erreur protéique est telle qu'il faut un long exercice, essentiellement individuel, pour bénéficier de la valeur objective d'une méthode. Mais supposons cet apprentissage achevé ; nous ne le notons que pour bien faire comprendre que la précision objective est systématiquement dérivée, toujours éloignée de l'expérience première et péremptoire invoquée par le métaphysicien réaliste.

Nous sommes donc maintenant maîtres de notre technique. Nous découvrons alors, en multipliant les tentatives de détermination, que la localisation expérimentale du réel se colore de probabilité ou, pour

mieux dire, que la structure interne de la cellule topologique est une *structure de probabilité*. On ne saurait donner trop d'importance à cette remarque, car elle va nous convaincre que la probabilité, et non pas la certitude, doit être mise à la base du réalisme, de manière que le probabilisme soit la matière même du réalisme instruit. Nous nous étonnerons moins par la suite de l'introduction d'une philosophie probabiliste dans la physique contemporaine si nous voyons les recherches élémentaires bien informées se dérouler déjà sur le plan du probable.

A vrai dire, la structure de probabilité de la cellule topologique est assez mal connue. On n'a guère, relativement à la prévision des erreurs touchant une variable bien désignée, que la courbe en cloche qui donne une mesure de l'amoncellement des déterminations autour de la valeur la plus probable. On connaît mal tout ce qui est relatif à la composition empirique des erreurs touchant plusieurs variables. Au fond, nous avons une expérience com-

mune très courte et très obscure de tout ce qui relève de la probabilité. Nous nous bornons à jouer le réel à pile ou face. D'ailleurs la vie active commune nous a habitués à estimer le probable au-dessous du certain. Et cependant, vis-à-vis du réel — en dehors par conséquent des domaines de pure logique et de pure mathématique — les valeurs épistémologiques sont juste à l'envers, car ce dont nous sommes certains est automatiquement d'une pauvre valeur scientifique, ou plutôt de nulle valeur scientifique. Ainsi, je suis certain des emboitements relatifs aux choses usuelles. Je ne suis pas certain de l'emboitement des éléments électriques dans le noyau atomique. En effet, même lorsque je me sers de cette catégorie d'emboitement pour dire que le noyau atomique contient des protons, des électrons, des positons, des neutrons... je n'écarte pas de ma pensée que la « contenance » du noyau pourrait fort bien être une solidarité d'un type non entièrement local, non entièrement statique, qui enga-

gerait des échanges énergétiques encore mal définis.

La vie commune nous a habitués aussi à former notre connaissance sur un objet désigné, par conséquent sur un objet qui conserve dans toute notre recherche un type et une unité d'existence bien définis. Mais le souci de la précision accrue, même s'il s'adresse en apparence à un objet bien désigné, entraîne une pluralité essentielle de déterminations. Alors la *moyenne* sera plus exacte qu'une détermination particulière. Il faut d'ailleurs bien comprendre qu'une expérience précise *faite* ne nous donne pas un *fait* absolu ; elle nous donne une probabilité. En effet, au moment où nous voudrions la *refaire*, nous ne trouverons pas les mêmes valeurs exactes pour la spécifier. Nous ne pouvons pas nous servir de la première valeur comme la marque d'un fait absolu, puisque nous ne pouvons nous en servir qu'en lui adjoignant une probabilité. Autrement dit, nous ne nous permettrons de prévoir le résultat d'une deuxième mesure que

sous le couvert de la probabilité attribuée à la première. Si connaître c'est prévoir, c'est donc déterminer les conditions et les probabilités du phénomène prévu. Il ne s'agit ici, bien entendu, que d'une connaissance précise, détaillée, scientifique, susceptible d'être répétée à volonté, connaissance qui, seule, est à envisager si nous voulons associer les preuves de l'expérience scientifique aux thèses d'une métaphysique réaliste. Nous verrons, dans la suite de cet ouvrage, l'importance de cette simple remarque quand nous en viendrons à préciser le rôle des *opérateurs mathématiques* conçus comme des distributeurs de valeurs probables. Les nouvelles idées proposées par Dirac dans cette vue ne sont pas au fond aussi étrangères qu'il le semblerait d'abord à la pratique constante des mesures de précision. Pour l'instant, il nous suffit de remarquer que l'exploration géométrique du réel — dès qu'elle est minutieuse — se déroule à travers des schèmes de probabilité. Elle réclame une information essentiellement

pluralistique et il est vain de prétendre, en une seule expérience, prouver la *présence* du réel.

Nous allons d'ailleurs revenir tout de suite sur le problème en étudiant les conditions de la localisation dans la microphysique. Nous verrons alors qu'on ne peut plus vraiment parler que de cellules de localisation, sans jamais atteindre, ni en pensée ni en fait, des centres de localisation. On s'apercevra que la topologie du phénomène est une expérience bien autrement compliquée que ne le pensait la science réaliste du siècle dernier. Le Réaliste voulait nous faire constater la *présence* d'un objet, gage toujours offert de la conservation du réel. Nous nous apercevrons qu'on ne peut correctement parler que d'une *probabilité de présence*. Conséquemment les principes de conservation s'adressant à des probabilités n'auront plus du tout la même portée que des principes de conservation s'adressant à des substances. Des mutations quasi

ontologiques entre la matière et l'énergie, entre la chose et le mouvement, viendront suggérer un réalisme plus complexe, où la matérialisation et la dématérialisation se succéderont. Nous verrons aussi s'établir des rapports entre les processus d'expérimentation et les objets expérimentés, de sorte que toute description purement passive de la topologie réaliste deviendra illusoire.

Si l'on a bien compris, au cours de ce chapitre, que les preuves topologiques du réalisme, les plus simples de toutes, les plus fondamentales aussi, échouent déjà quand on veut les préciser au niveau de l'expérience ordinaire, on est bien préparé à les voir se troubler entièrement quand on examine les conditions de la détection du micro-phénomène. Nous allons donc étudier, toujours avec le même souci de simplification, le problème de la localisation du réel tel que le pose, en microphysique, le principe de Heisenberg.

CHAPITRE II

LE PRINCIPE D'INCERTITUDE DE HEISENBERG ET LA LOCALISATION MICROPHYSIQUE

I

On ne peut donner d'un seul coup toutes les conséquences de la philosophie quantique parce que la philosophie quantique est une philosophie essentiellement *composée*. En particulier, il serait trop difficile d'envisager de prime abord le caractère essentiellement pluralistique des nouvelles statistiques de la microphysique. Pour y parvenir, il faudrait pouvoir se mettre en pensée devant la pluralité posée comme antécédente à l'unité. La comptabilité microphysique opérerait alors en

plaçant la soustraction avant l'addition. En simplifiant des systèmes, on pourrait peut-être trouver des éléments. Mais l'individualité de ces éléments serait incertaine, fuyante, strictement parlant aléatoire, puisqu'elle réaliserait un cas particulier d'un jeu essentiellement complexe. On n'est jamais sûr en microphysique d'expérimenter sur *un* élément isolé par le fait même qu'on n'a nul moyen de reconnaître l'objet isolé. Nous ne devons pas oublier que l'individualité désignée par la localisation dans le cas des objets du sens commun est précisément ce qui est en question présentement. Il faudrait donc pouvoir retourner l'axe de nos recherches et nous demander quelle probabilité nous aurions de trouver un, deux, trois... éléments dans des cellules de localisation déterminées, étant bien entendu que nous n'attachons aucun caractère individuel aux éléments dénombrés. Qu'un élément unique soit trouvé dans une cellule topique, voilà sans doute un cas possible, mais nous n'avons aucune garan-

tie que l'élément signalé est un élément désigné, aucun moyen de passer du nombre *un* à l'adjectif démonstratif *cel*. Le nombre *un* tient à une collection éventuelle, l'adjectif *cel* serait adjoint à un substantif. Or, cette adjonction nous ne pouvons la considérer comme toute faite que si nous avons, avant toute expérience, la foi réaliste. Pour nous, en suivant l'enseignement de la philosophie quantique, nous ne pouvons parler d'*un élément du réel* qu'en tant qu'il *réalise* un cas de localisation. C'est moins qu'un objet, c'est seulement une expérience. Et c'est une expérience nécessairement complexe et éphémère qui ne permettra de parler d'un cas réel, autrement dit d'un réel, que lorsqu'elle réussira. Si un faisceau de photons est dirigé sur un nuage d'électrons, on doit dire que seuls existent les électrons qui seront signalés expérimentalement par le choc des photons. La pluralité du nuage d'électrons ne fait qu'augmenter la probabilité de leur existence expérimentale. Naturellement de telles expressions heur-

tent le sens commun et il paraîtra toujours plus simple de supposer l'existence et la localisation d'objets *potentiels*. Pour nous, nous trouvons plus prudent de ne postuler que des objets *actuels*, c'est-à-dire des objets saisis dans leur acte, comme actes, comme expériences, comme moments expérimentaux. On arrive ainsi à un réalisme éphémère, plus apte à solidariser les états divers et successifs d'un devenir probabilitaire, plus apte aussi à réaliser le complexe de l'espace-temps, de manière qu'une chose soit toujours solidaire d'un événement.

Quoi qu'il en soit d'ailleurs de ces perspectives philosophiques, le devoir de l'esprit scientifique est très net : nous devons apprécier l'existence en termes d'expérience et nous ne pouvons retenir d'affirmations valables sur la localisation d'un objet en dehors des circonstances expérimentales de localisation. Par exemple, si nous voulons *voir* où est un corpuscule, il nous faut l'éclairer. Sur la région où l'on suppose la présence de corpuscules à

un instant donné, on dirigera donc un faisceau de lumière, un faisceau de photons. On peut espérer qu'un des photons sera dévié par un des corpuscules ; la déviation du photon occasionnée par le choc contre le corpuscule signalera la présence de corpuscules dans la région bombardée. Cette expérience, si simplifiée qu'en soit l'exposé, comporte une complexité fondamentale que nous voulons maintenant établir.

Ce que nous voulions savoir en éclairant la région où nous attendions un corpuscule, c'est non seulement l'existence, mais encore le devenir de ce corpuscule. Nous voulions savoir où il est pour inférer où il va. Nous voulions améliorer nos prévisions, augmenter les probabilités de détection. Si du moins nous prétendions dire que le corpuscule reste où il était, de manière à donner un prix constant à une expérience faite dans le passé, il ne faut pas que cette expérience trouble le repos du corpuscule. C'est pourtant ce qui vient de se passer. L'expérience de

localisation ne correspond jamais à un simple contact ; c'est toujours un choc. Ce n'est jamais une vision gratuite ; c'est toujours un échange énergétique. Après le choc, le corpuscule n'aura-t-il pas quitté la cellule de localisation ? On sent bien vite la nécessité d'étudier à la fois les caractéristiques géométriques et dynamiques de l'expérience élémentaire.

On comprendrait mieux le caractère nécessairement synthétique de l'expérience microphysique si l'on voulait bien prêter attention à certaines expériences très communes. Par exemple, l'élève qui voudra mettre des feuilles d'or à son électroscope décrira oralement un facile programme : prendre le carnet de feuille d'or, l'ouvrir, le feuilletter ; saisir une feuille, y découper deux lamelles égales ; suspendre enfin les deux lamelles à la potence. Quoi de plus simple, de plus statique ! La difficulté commencera quand il faudra toucher *statiquement* la feuille d'or : un toucher trop brusque, la feuille se déchire ; un toucher trop insistant, la feuille colle au doigt.

Alors la main qui vient d'apprendre la prudence tremble, la feuille fuit et se tord. Un objet fin et mobile est comme enfermé dans une cellule qui réalise géométriquement nos impatiences. Il *existe* déjà à l'endroit où nous nous énervons de ne pas le saisir. Vu de loin et laissé à son inertie, à son usage tout potentiel, chaque objet familier est, suivant la belle image bergsonienne, entouré d'un pointillé qui guide notre action d'ensemble. Mais si l'objet n'est pas familier, le pointillé bergsonien ne représente plus que la valeur moyenne de nos hésitations. Enfin, si l'objet demande un maniement délicat, cette valeur moyenne elle-même perd sa valeur de guide : l'objet entier est hésitation. Comme le remarque très bien M. Étienne Souriau (1) : « Tout mouvement délicat et précis met en jeu deux forces s'exerçant en sens opposé. » Pas plus pour le toucher que pour les autres sens, il n'y a de détection statique et unitaire.

(1) Étienne Souriau, *loc. cit.*, p. 21.

D'une manière plus générale ce qui entrave la compréhension de la complexité primordiale de la localisation fine, c'est précisément l'intuition réaliste. Cette intuition conduit à donner à l'élément une réalité absolue trop tranquille. Elle revient toujours à proposer, plus ou moins tacitement, des qualités impresses qui apportent à l'organisme des sensations diverses sans troubler la quantité d'être des objets. C'est pourtant au niveau de l'élément que la supposition d'une réalité absolue devrait apparaître comme la plus ruineuse. Un élément simple ne peut envoyer aucune émanation, aucune énergie, aucun signal, sans perdre de sa substance. Par conséquent, poser un élément indestructible et inerte, c'est le poser comme incapable de se signaler à la connaissance. On entrevoit donc la nécessité de poser un élément complexe, pourvu de toutes les variables qui vont se manifester dans l'expérience. En particulier, il est désormais impossible, au niveau de l'élément, de séparer géométrie et énergétique. Il va donc falloir

réconcilier les deux grandes doctrines de l'atomisme et de l'énergétisme qui s'opposaient à la fin du siècle dernier. La microphysique réalise ainsi une véritable synthèse historique.

II

C'est la contexture des variables fondamentales de l'expérience de localisation que le principe de Heisenberg a mise en bonne et due forme mathématique. Si l'on étudie simplement la localisation d'un corpuscule sur un axe — ce que nous ferons pour donner plus de simplicité à notre exposé — il faut lier l'indétermination sur la place et l'indétermination sur le moment cinétique mesuré le long de cet axe. Heisenberg propose pour cette liaison l'inégalité fondamentale :

$$\Delta x \times \Delta p \geq h,$$

Δx étant l'indétermination sur la coordonnée, Δp l'indétermination sur le moment cinétique et h la fameuse constante de Planck qui s'introduit dans tous les

phénomènes microphysiques sans exception. On aura des inégalités similaires attachées à tous les degrés de liberté d'un corpuscule et d'une manière plus générale, on retrouvera de semblables inégalités à propos de toutes les variables conjuguées.

Si nous voulons maintenant bien fixer le sens principal du principe d'incertitude, il ne faut pas négliger de nous servir systématiquement de ce principe. Il ne faut pas agir comme ces moralistes tolérants qui affirment des « principes absolus » avec d'autant plus de force qu'ils ne les appliquent jamais. En particulier, il ne faut pas prendre le principe d'indétermination comme un vague *résumé* donnant les traits généraux de l'Univers, comme un *résultat* philosophique général des expériences microphysiques. Il ne suffit pas de dire que pour la science quantique tout est indéterminé, comme on disait au début de l'ère relativiste — en un pur non-sens d'ailleurs — que tout est relatif. Non, il faut que le *principe premier* soit mis systématiquement à la base de

tous nos raisonnements, de toutes nos intuitions, de toutes nos expériences relatives aux phénomènes atomiques. Du point de vue psychologique, cette incorporation est extrêmement difficile, car elle se heurte à nos habitudes, à nos moyens d'expression, à notre intuition cartésienne de l'étendue prise comme la caractéristique dominante d'une substance immuable. Nous majorons, malgré nous, l'importance des expériences de la vie commune et nous sommes portés à considérer le principe de Heisenberg comme une simple adjonction qui vient compléter, dans des questions spéciales, l'expérience première. On ne donnera cependant à ce principe sa juste fonction qu'en réalisant non pas une adjonction, mais une véritable incorporation. Pénétrons-nous donc bien de cette pensée : ce qui rend inadéquate la description du domaine atomique en termes d'espace et de temps usuels, c'est que nous négligeons la corrélation des incertitudes géométriques et dynamiques. Négliger cette corrélation,

c'est accepter le postulat cartésien d'une analyse spatiale exhaustive susceptible d'atteindre une localisation ponctuelle. En faisant fonds sur l'intuition d'un espace absolu et continu, nous émiettons le Monde. Pour fonder la science de la microphysique organique, nous devons donc ériger en postulat la proposition contraire : l'espace réel n'est pas susceptible d'une analyse absolue, purement géométrique. Nous appellerons postulat de non-analyse le postulat fondamental de cette physique non-cartésienne. C'est à partir de ce postulat qu'on trouvera la théorie physico-géométrique correcte des phénomènes microphysiques. Nous sommes donc devant une véritable dialectique. On procédera systématiquement en niant le postulat d'analyse cartésienne, exactement de la même façon qu'on développe la géométrie non-euclidienne en niant le postulat d'Euclide.

Encore une fois, il faut donner à cette négation tout son sens et ne pas se borner à une sorte de négation molle, indifférente, sceptique, pessimiste. Que nous ne puis-

sions pas localiser exactement le corpuscule, quelle chance ! Échappant au *point*, la localisation se développe en une loi de voisinage sans singularité. La complexité initiale de la micro-ontologie tient à une formule bien claire. L'hégélianisme objectif que nous apprend le microphénomène est articulé sur une formule simple qu'il va nous suffire d'appliquer.

III

Maintenant que nous avons souligné avec une pesante insistance le sens philosophique, vraiment principiel, de notre expérience de localisation microphysique, nous allons donner quelques exemples de constructions théoriques bâties sur la base heisenbergienne. Nous suivrons pour cela les enseignements donnés par M. F. A. Lindemann dans son beau livre : *The physical signification of the quantum theory* (Oxford, 1932).

Pour donner à cette construction une allure simple, il faut nous borner à l'équa-

tion qui sert de limite à l'inégalité de Heisenberg. Nous prendrons donc la corrélation initiale sous la forme simplifiée :

$$\Delta x \times \Delta p = h.$$

Aussi bien, c'est la borne qui, seule, peut jouer un rôle principal. Qu'on soit, à l'usage, amené à des incertitudes plus grosses, cela n'est pas fait pour nous surprendre. Le principe de la conservation de l'énergie, si on le prenait dans les expériences qui le traduisent effectivement, pourrait être mis sous la forme d'une inégalité algébrique, l'énergie recueillie dans une transformation quelconque étant au plus égale à l'énergie initiale. Mais ce résultat expérimental importe peu : la doctrine de l'énergie est fondée sur l'égalité parfaite des énergies en évolution. Acceptons donc, avec M. Lindemann, l'égalité parfaite à la base du principe de Heisenberg. Le succès théorique apportera un argument pour ce schéma initial des incertitudes coordonnées. Nous développerons, sur des exemples simpli-

fiés au possible, les problèmes suivants :

1° La justification de la statistique de Bose-Einstein pour les corpuscules sans réaction mutuelle ;

2° La justification de la statistique de Fermi-Dirac pour les corpuscules réagissant les uns sur les autres ;

3° La justification des niveaux d'énergie de l'atome de Bohr déduits du seul principe de non-analyse.

IV

Considérons un gaz sous une pression très faible de manière que nous puissions négliger l'action mutuelle des molécules très éloignées les unes des autres. Voyons alors ce que donne notre postulat de non-analyse quand nous entreprenons, sur diverses molécules, notre expérience de localisation. Prenons d'abord une cellule cubique d'arrête égale à l . Quand nous disons qu'une molécule est dans la cellule d'arrête l , nous localisons cette molécule à l près ; nous acceptons donc une incer-

titude de l sur la valeur de chacune des coordonnées. En vertu de notre postulat, il nous faut alors adjoindre une incertitude sur le moment cinétique correspondant à chaque coordonnée. Autrement dit, il faut que nous comptions, pour chacune des trois coordonnées, sur un moment cinétique

possible égal à $\frac{h}{l}$ donné par la relation :

$$\Delta x \times \Delta p = h$$

qui, avec nos présentes notations, s'écrit :

$$l \times \frac{h}{l} \equiv h.$$

Ici le Réaliste et le Cartésien se révolteront. Ils revendiqueront toujours le droit de *supposer* que les corpuscules sont immobiles dans la cellule de localisation. Ils veulent analyser l'espace au repos et séparer la mesure géométrique et la mesure expérimentale. Ils prétendent avoir le droit de dire que la particule est immobile en un point, alors même qu'ils ne peuvent fixer le point précis à l'intérieur de la

cellule de localisation qui donne les bornes de l'erreur de détection. Pour nous, au contraire, qui faisons la physique de non-analyse, en appliquant systématiquement notre postulat fondamental, nous savons bien que, si nous voulions postuler un point matériel dont le moment cinétique serait de plus en plus petit de manière à donner, à la limite, un sens positif à la notion de point matériel *au repos*, il nous faudrait envisager des cellules de plus en plus grandes. Autrement dit, d'après notre intuition complexe, s'il y a un point matériel au repos, signe d'un réel statique, il est quelque part, on ne sait où, dans l'univers infini. La notion du point au repos est strictement homographique avec la notion paradoxale de frontières d'un espace infini. Autrement dit encore, dans la science quantique, la notion de point matériel au repos absolu est inconcevable, non pas, comme dans la science relativiste, par l'impossibilité de fixer des axes de référence absolus, mais par un relativisme en quelque manière

plus profond, moins uniquement géométrique, puisqu'il lie la géométrie et la dynamique. Est-il besoin de souligner encore la contradiction flagrante de l'intuition habituelle aussi nette que la contradiction du postulat de Lobatchewsky à l'égard de l'intuition habituelle de parallélisme ?

La contradiction a un autre pôle. Communément on imagine qu'un mouvement a d'autant moins d'énergie qu'il a moins d'empan. C'est l'inverse ici. Plus nous restreindrons les limites de la cellule de localisation, plus grande sera la valeur qu'il nous faudra attribuer au corpuscule localisé par l'application du postulat fondamental. Dans le chapitre précédent, nous disions, en étudiant la localisation usuelle : *enfermer, c'est stabiliser*. Il faut dire maintenant, en étudiant la nouvelle localisation : *enfermer, c'est agiter*.

V

La nécessité de lier les considérations dynamiques aux considérations géomé-

triques va nous amener maintenant à donner aux expériences de localisation une allure progressive et réglée qui légitimera la conception des *grains d'énergie*. Autrement dit, toute comptabilité de l'énergie se présentera comme solidaire d'une *méthode* de repérage spatial. Cette comptabilité de l'énergie concrétisera, en quelque manière, les diverses étapes du processus méthodique par lequel on détermine la place du réel.

Dès le début du processus de localisation progressive, on est amené à des dichotomies très curieusement ordonnées. Ainsi, lorsque nous envisageons pour le corpuscule une énergie plus grande que celle qui correspond au premier moment $\frac{h}{l}$ caractéristique de la cellule l , il nous faut d'abord, comme nous allons le prouver, nous borner à fixer dans *quelle moitié* de la cellule l se trouve le corpuscule. Si nous opérons de cette manière, nous aurons une localisation à $\frac{l}{2}$ près. En appli-

quant notre postulat de complexité initiale, nous déterminerons un moment égal à $2 \times \frac{h}{l}$, toujours en vertu de la simple identité :

$$\frac{l}{2} \times 2 \times \frac{h}{l} \equiv h$$

Ainsi le plus petit accroissement assignable pour le moment correspond au moment $2 \times \frac{h}{l}$, juste le double du plus petit moment primitif $\frac{h}{l}$.

Pour faire la preuve de cette dichotomie principielle, le mieux est de répondre à toute une série d'objections que ne manquera pas de faire le cartésien qui prétend localiser avec continuité, dans un espace indépendant de toute relation à la dynamique. Ces objections reposeront toujours sur la supposition gratuite des phénomènes déliés, en confondant les mœurs des corpuscules en cage avec les mœurs des corpuscules en liberté. Or, il doit être bien entendu que les corpuscules en liberté

sont en dehors de toute expérience et par conséquent sans valeur d'instruction pour le microphysicien. Mais voyons l'objection plus précise que fera sans doute le philosophe de la continuité. Vous auriez pu, nous dira-t-il, prendre comme premier affinement de la localisation un procédé moins grossier que la simple division par deux. Par exemple, si vous cherchiez à localiser le corpuscule dans les $\frac{2}{3}l$ à droite d'une cloison coupant la cellule primitive, il semble que vous détermineriez seulement un moment égal à $\frac{3}{2} \times \frac{h}{l}$ donné en application de votre relation axiomatique :

$$\frac{2}{3} \times l \times \frac{3}{2} \times \frac{h}{l} = h.$$

Ainsi serait sauvée la continuité des moments, car on voit de toute évidence qu'en prenant, au lieu de la fraction $\frac{2}{3}$, des fractions de plus en plus voisines de un , on déterminerait toute une série de moments

qui s'approcheraient autant qu'on le voudrait du moment primitif. De cette manière la continuité des moments serait rétablie solidairement à la continuité de localisation.

Pour répondre à cette objection, il nous suffira de souligner le caractère axiomatique de notre postulat de non-analyse. C'est vraiment un postulat dans le sens même des postulats qui organisent une géométrie. Il ne faut donc pas qu'on puisse en tourner l'application ou biaiser avec l'obligation de s'en servir. Or, en accordant la localisation sur les $\frac{2}{3}$ de la cellule primitive comme plus large que la localisation sur la moitié, on tournerait le postulat des indéterminations coordonnées. En effet, dire que la particule est dans la région $\frac{2}{3}$ à droite d'une cloison coupant la cellule primitive, c'est affirmer qu'elle n'est pas dans la région $\frac{1}{3}$ à gauche ; c'est l'exclure absolument de cette région $\frac{1}{3}$.

Nous n'avons pas le droit d'affirmer cette localisation négative sans appliquer notre postulat fondamental, nécessairement attaché à toute localisation. Exclure le corpuscule de la région $\frac{1}{3}$ revient à lui attribuer le moment $3 \times \frac{h}{l}$ donné par la relation :

$$\frac{l}{3} \times 3 \times \frac{h}{l} \equiv h.$$

Ce moment $3 \times \frac{h}{l}$ est trois fois plus grand que le moment minimum d'où nous étions partis. Ainsi, l'objection de notre adversaire revenait à prouver l'existence d'un moment plus petit que le double du moment primitif et voici qu'en développant cette objection l'on détermine un moment égal au triple du moment primitif ! Cette conclusion est générale : une localisation qui n'opérerait pas progressivement en passant par la simple dichotomie exacte commencerait nécessairement par des cellules de localisation, non pas plus grandes, mais plus petites que la

cellule $\frac{l}{2}$. Le premier pas en avant se règle donc bien sur la demi-cellule ; il lui correspond un moment doublé. Il est impossible d'affiner la localisation en diminuant l d'une manière continue. Si l'on diminuait l d'une manière continue, on n'aurait pas des expériences de localisation liées entre elles par une méthode d'approximation ; on ne pourrait pas utiliser les diverses expériences dans une comptabilité correcte des probabilités de détection. Si la première localisation a été faite dans une cellule d'arête l , il faut que la deuxième cellule de l'expérience de localisation, qui prétend affiner la première, soit faite dans une cellule d'arête $\frac{l}{2}$. On

passera ensuite à des arêtes $\frac{l}{3}, \frac{l}{4}, \frac{l}{5}$, etc., ainsi qu'on le démontrerait facilement en répétant le raisonnement précédent. Alors prendront naissance les moments $2 \times \frac{h}{l}$, $3 \times \frac{h}{l}$, $4 \times \frac{h}{l}$... Voilà la double compta-

bilité mise en bon ordre. Encore une fois, si l'on pratiquait autrement, on n'aurait pas un thème ordonné de localisation, on n'aurait pas le moyen de rendre cohérent le pluralisme expérimental constitué par une série d'expériences de localisation qui s'appuient les unes sur les autres.

De toute manière, si l'on n'attachait pas à la constitution de cette série d'approximations physiques une importance aussi grande que celle que nous lui attribuons, il devrait cependant rester de notre discussion la preuve que la *localisation continue* est une expérience impossible : elle demanderait des énergies prodigieuses pour qu'on pût distinguer les éléments en contact. Au fond, c'est la notion de *contact* qu'il faut refuser au Réaliste quand il en vient à étudier, avec les notions communes, l'expérience microphysique. On ne pourrait *toucher* l'infiniment petit sans lui donner une vitesse infinie. C'est là une remarque qui est assez facile à accepter. A la moindre méditation, on se rend compte que le contact est une notion de

l'expérience macroscopique qui n'a pas de sens en microphysique. Pour un microphysicien, toucher un corps est aussi métaphorique que toucher un cœur.

Ainsi l'idée d'unités expérimentales radicalement isolées prolifère dans toutes les directions et nous conduit à corriger toutes les images de la continuité. Non seulement les quantifications géométriques et cinétiques sont corrélatives, mais encore la quantification du moment entraîne tout naturellement la quantification de l'énergie. Le grain de l'énergie est donc corrélatif du grain de l'espace. Mise sous une forme aussi réaliste, cette corrélation peut, sans doute, paraître arbitraire. En fait, tout notre effort de démonstration s'est borné au plan expérimental ; c'est donc uniquement de corrélation entre les méthodes de mesure de l'énergie et les méthodes de repérage géométrique que nous avons le droit de parler. Mais on peut, nous semble-t-il, nous permettre de coordonner nos images : si l'énergie est granulée, l'espace est granulé.

VI

Quoi qu'il en soit d'ailleurs de cette double granulation, les conséquences mathématiques de notre méthode sont très nettes : l'allure de la localisation progressive nous amène tout naturellement à compter le nombre de points à coordonnées entières dans certains espaces de configuration. En d'autres termes, la base du calcul des probabilités dans notre examen tout expérimental de l'espace est un certain réseau dont les sommets seuls représentent des expériences possibles. C'est en considérant des distributions en réseau que la statistique de Bose-Einstein a trouvé ses succès. La probabilité continue, qui s'introduit dans le calcul des probabilités classique d'une manière plus ou moins artificielle, est ainsi refoulée. Si on l'utilise encore, c'est désormais pour simplifier des formules, pour donner des résumés. La véritable base de calcul, c'est la distribution arithmétique. Le calcul des probabilités relatif à la microphénoménologie

retourne à l'origine historique du calcul des probabilités dans le jeu des chances. Le réel suit les règles d'un jeu. La réalité est une chance.

Cette remarque pourrait sans doute nous amener à réfléchir sur les principes d'individuation des objets réels. En effet, la pratique des probabilités doit nous accoutumer à limiter la portée de l'individuation. Il y a longtemps que l'on sait que le jeu de pile ou face donne le même résultat avec une pièce d'or et avec une pièce d'argent, avec l'effigie de la République ou avec celle du Roi. Les choses particulières entrent ainsi, comme d'elles-mêmes, sous le joug des probabilités générales. La probabilité est désormais l'avenue qui mène à la généralité scientifique. Il n'y a de science que du général parce qu'il n'y a de science que du probable. Le calcul des probabilités est encore la méthode qui évince le plus correctement la singularité.

Si l'on accepte cette leçon, on sera mieux préparé à résister aux abus d'in-

dividuation dont souffrait l'ancienne physique. La physique préquantique supposait comme allant de soi que la situation dans l'espace individualisait les corpuscules comme elle individualise les corps à l'échelle ordinaire. Il suffisait que deux objets fussent dans des lieux différents pour être différents et s'ils étaient différents, ils étaient nécessairement dans des lieux différents. Le lieu précis était ainsi un signe essentiel. Pour la microtopologie actuelle, il n'en va plus de même : deux objets peuvent fort bien être dans la même cellule, ils sont alors spatialement identiques, ils sont géométriquement indiscernables ; aucune expérience ne peut les distinguer ; en particulier, ils ne peuvent être distingués par des propriétés dynamiques différentes : l'incorporation dans une même cellule entraîne une uniformité complète.

La statistique de Bose-Einstein met en forme mathématique précise cette limitation du champ du possible. Elle restreint les principes d'individuation pour les cor-

puscules. Cette statistique a permis de retrouver la loi de Planck en tenant compte de cas de dégénérescence qui permettent d'expliquer un grand nombre de phénomènes. Sa fécondité est une justification de l'usage axiomatique du principe de Heisenberg.

VII

Passons maintenant au deuxième exemple d'application du postulat de non-analyse.

L'absence de réaction mécanique entre les molécules ne peut être postulée dans tous les cas, et une statistique nouvelle, celle de Fermi-Dirac va devenir nécessaire quand nous devons tenir compte des réactions mécaniques mutuelles des particules à localiser. D'habitude, on invoque le principe de Pauli pour légitimer les hypothèses de Fermi. Le principe de Pauli consiste dans la supposition que, dans un système organisé de plusieurs corpuscules, deux des constituants quelconques ne peuvent être dans le même état quan-

tique. En d'autres termes, il faut d'après Pauli que, d'un constituant à un autre, au moins un des nombres quantiques qui caractérisent chaque constituant soit différent. Il y a là un pluralisme assez mal défini. Or, nous allons montrer, en suivant encore l'exposé de M. Lindemann, que l'application du principe de Pauli découle nécessairement du postulat de non-analyse. Cette démonstration apportera une véritable cohérence au pluralisme quantique.

Prenons par exemple un ensemble d'électrons suffisamment rapprochés pour agir les uns sur les autres. Notons que nous n'avons pas besoin de postuler la loi de cette réaction. Il nous suffit de savoir qu'il y a, entre les objets, une action dynamique. Pour rester dans un cas schématique très simple, nous étudierons la localisation de ces électrons sur un segment de droite de longueur l . Il serait très facile de répéter les démonstrations pour trois segments constituant les arêtes d'une cellule cubique de volume l^3 .

Le seul fait qu'un électron soit localisé sur le segment l nous conduit, d'accord avec notre postulat fondamental, à lui attribuer le moment $\frac{h}{l}$. Si nous continuons

à ne nous occuper que de la localisation d'un seul électron par segment, nous retrouverons tout ce que nous avons dit précédemment puisqu'il n'y a évidemment pas à considérer alors de réaction. Ainsi, nous retrouverons les moments $2 \times \frac{h}{3}$,

$3 \times \frac{h}{l}$... corrélatifs des localisations $\frac{l}{2}$, $\frac{l}{3}$...

Mais le problème n'est plus le même quand on veut localiser un deuxième électron sur le segment l déjà occupé par un premier électron. Autrement dit, la localisation du deuxième électron n'est pas la même expérience que la localisation du premier, alors même que la cellule de localisation n'a pas varié. En effet, suivant que le deuxième électron sera placé à gauche ou à droite du premier occupant, le moment devra recevoir un signe ou

un autre. Nous avons donc affaire à un nouveau type de localisation, à une sorte de localisation avec préséance : la localisation à gauche doit être distinguée de la localisation à droite. Il n'y a pas là une simple intuition, mais une déduction fondée expérimentalement : en effet, suivant que le deuxième électron sera localisé à gauche ou à droite du premier, nous devons nous attendre à une expulsion sur la gauche ou sur la droite.

Voyons alors ce qui va résulter de l'intervention de la préséance. Comme nous n'avons pas le droit de donner une détermination absolue à la place du premier électron, il nous faut prendre, pour le deuxième électron, les chances de localisation à gauche et les chances de localisation à droite comme égales ; autrement dit, pour le deuxième électron, il nous faut couper en deux parties égales la cellule de localisation du premier. Si l'on résistait à cette conclusion, c'est qu'on ferait fonds sur une intuition réaliste attribuant une place effective absolue au pre-

mier électron et qu'on s'écarterait du sens essentiellement probabilitaire de la localisation. En résumé, nous sommes donc amenés à localiser le deuxième électron sur un segment $\frac{l}{2}$. Dès lors, en vertu de notre principe de non-analyse, nous devons attribuer au deuxième électron un moment égal à $2 \times \frac{h}{l}$. On voit donc que le premier moment $\frac{h}{l}$ est *interdit* au deuxième électron. Autrement dit, puisque le premier électron a *retenu* le quantum 1, le deuxième électron ne peut prendre au minimum que le quantum 2. Ainsi se trouve fondé, sur un cas sans doute bien simplifié, le principe d'exclusion de Pauli.

Si l'on veut placer maintenant un troisième électron sur le segment l déjà occupé par deux électrons, on aura trois places possibles qui détermineront des jeux de signes pour le moment de ce troisième électron. C'est donc alors la cellule $\frac{l}{3}$

qu'il faudra envisager pour recevoir le troisième électron. A cette cellule $\frac{l}{3}$ correspondra, d'après le postulat de complexité, le moment $3 \times \frac{h}{l}$. Il est bien entendu, comme nous l'avons démontré pour des particules sans réaction mutuelle, qu'une division qui ne se ferait pas progressivement en passant exactement par les divisions successives $\frac{1}{2}$, $\frac{1}{3}$, $\frac{1}{4}$... entraînerait des quanta plus élevés que nous devons rencontrer par la suite en ajoutant des électrons de plus en plus nombreux et conséquemment de plus en plus finement localisés.

Nous assistons ainsi à la naissance d'une arithmétique ordinale qui n'a plus tout à fait les mêmes propriétés que l'arithmétique cardinale ordinaire. Cette arithmétique ordinale désigne les objets comme foncièrement différents du seul fait qu'ils ne se présentent pas dans des expériences identiques. Un réaliste voudra toujours

que la façon de compter n'ait pas égard à l'ordre des objets que l'on compte. Il voudra que l'électron soit partout et toujours le même, et qu'il tienne de lui-même ses propriétés essentielles. Pour nous, au contraire, l'électron n'est qu'un résumé d'expériences. Nous le caractérisons dans l'instant même où nous faisons une expérience, en essayant de traduire les conditions exactes où s'opère cette expérience.

Un trait nouveau des expériences en microphysique, c'est que ces expériences ne sauraient être décousues ; elles sont coordonnées ; elles se font dans un ordre prescrit. Rien d'étonnant alors à ce que leur développement nous oblige à postuler dans les êtres concrets décélés progressivement la trace profonde de ce progrès. A vrai dire, le passage entre l'ordre méthodique et l'ordre ontologique est encore bien obscur et incertain. Le sens de l'exploration nous paraît toutefois indéniable : il faut aller de la *méthode* à l'*être*, à contre-courant de l'instruction réaliste.

Quoi qu'il en soit de cette vue métaphysique aventureuse, on peut voir que la comptabilité du *réel ordonné* se satisfait, à bien des titres, de nos *déterminations ordonnées*. Des moments que nous avons attribués aux différents électrons progressivement localisés, nous pouvons passer par un calcul immédiat aux diverses énergies seules possibles pour ces électrons :

$$\frac{h^2}{2 ml^2}, \frac{4 h^2}{2 ml^2}, \frac{9 h^2}{2 ml^2} \dots$$

On voit que ces énergies croissent comme les carrés des nombres entiers successifs. Si l'on considère une évolution *continue* de l'énergie, comme on le faisait dans la doctrine énergétique du siècle dernier, on voit combien peu nombreuses, en comparaison, sont les possibilités énergétiques des systèmes microphysiques. Cette limitation entraîne, pour l'énergétisme, une soudeine rationalité qui doit frapper. La prétendue richesse inépuisable du réel qu'on désignait comme la source d'un irrationalisme irréductible apparaît bien dévaluée

quand on étudie le microphénomène. Il semble même que toute organisation intra-atomique se fasse avec une étrange économie de possibilités. C'est précisément cette économie extrême du possible qui caractérise la statistique de Fermi-Dirac. La considération de la topologie à trois dimensions au lieu de la topologie à une dimension que nous avons exposée complique à peine le problème.

En terminant l'exposé du deuxième type de localisation, soulignons la distinction apportée entre la statistique de Bose-Einstein d'une part et celle de Fermi-Dirac d'autre part. La statistique de Bose-Einstein est valable pour les particules qui ne réagissent pas les unes sur les autres, comme c'est à peu près le cas, à la limite, pour les molécules d'un gaz raréfié, comme c'est encore le cas pour les photons. La statistique de Fermi-Dirac est valable au contraire pour les particules qui réagissent les unes sur les autres, en particulier pour les électrons. Les électrons

et les photons apparaissent sous ce rapport comme des types dynamiques très différents. On sent très bien que si l'on pouvait mettre cette opposition en forme mathématique précise, on tiendrait un postulat susceptible de constituer la dialectique du réel.

CHAPITRE III

LE PRINCIPE DE HEISENBERG
ET LA FORME ASSIGNABLE AUX CORPUSCULES

I

Il va de soi que si l'on ne peut pas étudier la structure interne d'une cellule de localisation, on ne peut pas davantage décrire en détail la forme d'un micro-objet. Pour décrire une chose, il faut en effet fixer la position relative de ses différents points. Or, nous avons assez vu que le concept de point matériel ne correspondait à aucune expérience réalisable. C'est un concept aussi *imaginaire* que la racine carrée du nombre moins un.

Est-ce à dire qu'on ne puisse pas poser un problème *des formes* en microphysique ?

Il est d'autant plus nécessaire d'envisager ce problème que c'est peut-être la microphysique qui restituera une juste importance à la causalité formelle, à un principe qui donnerait aux convenances des parties leur juste rapport avec la totalité. Pour que le problème de la forme microphysique prenne un sens qui ne soit pas contraire à notre méthode axiomatique, il suffit que le concept imaginaire de point matériel soit éliminé dans les considérations finales. Ce concept imaginaire, expérimentalement absurde, sera ainsi rendu à son rôle de moyen fictif et provisoire d'une explication expérimentale.

Dans une telle méthode, la forme se présente comme une intuition susceptible de résumer, d'une manière cohérente, une pluralité d'expériences effectuées sur une pluralité d'objets. Par exemple, si les recherches statistiques faites sur des expériences multiples, en face de micro-objets multiples, donnent sensiblement une constante qu'on peut mettre dans les calculs théoriques en relation avec le « rayon »

d'un objet, on dira que le micro-objet se comporte comme un objet sphérique ; plus brièvement, on dira que l'électron *est* sphérique. Mais cette expression ne traduit pas davantage la réalité matérielle que la définition d'Aristote, qui voulait que l'homme fût un animal raisonnable, ne traduisait la réalité psychologique. La « raison humaine » comme le « rayon de l'électron » sont des résumés statistiques. Quand nous attribuons à l'homme une même et unique raison, c'est que nous l'étudions à un point de vue général et que nous négligeons les fluctuations de notre étude. Quand nous inférons pour l'électron un même et unique rayon, nous procédons de même. Qu'il reste donc bien entendu que pour donner une figure de ses phénomènes, la microphysique a besoin d'une multiplicité de micro-objets. Elle ne peut se placer devant un seul objet dont elle dessinerait la forme. Elle ne peut que réaliser un schéma résumant des expériences multiples.

II

Au surplus, il est bien clair que cette description statistique doit aussi être conçue comme une description active, en opposition à la description passive conçue par le sens commun. En effet, on ne pourrait déterminer une facette dans un micro-objet sans y faire réfléchir quelques photons. Il y aurait donc une action du moyen détecteur sur l'objet et la place de la facette, comme son orientation, seraient immédiatement frappées d'incertitude. Il en irait de même pour tout essai de détermination d'un élément géométrique quelconque du micro-objet. On voit donc que le principe de Heisenberg doit être inclus dans tout essai pour déterminer la forme du micro-objet.

Toute description dans l'espace revient plus ou moins directement à fixer des axes, à placer des lignes remarquables, à déterminer des angles. Nous devons donc nous attendre, suivant nos principes généraux, à ce qu'une détermination effec-

tive d'un angle change cet angle et mobilise l'objet. Autrement dit, toute expérience de détermination angulaire va donner à l'objet un mouvement de rotation. A l'incertitude sur l'angle nous devons donc faire correspondre, en application de notre postulat de non-analyse, une incertitude sur le moment angulaire conjugué.

Ainsi l'attribution d'une forme réclame l'attribution d'une rotation. Il est absurde, en microphysique, de supposer qu'un micro-objet a des axes s'il n'a pas un mouvement de rotation. Là aussi la fonction crée l'organe et l'organe ne peut exister sans fonctionner. Il faut bien comprendre le caractère axiomatique de cette affirmation. En particulier, on saisirait mal la portée du principe de Heisenberg si on voyait là quelque conséquence du mouvement brownien, de l'agitation thermique. Il s'agit en quelque sorte d'une mobilité première, antécédente à la mobilité thermique. En fait, cette mobilité se produit au zéro absolu ; elle apporte sa part à l'énergie des corpuscules au zéro absolu,

En effet, puisqu'elle est possible, il faut lui attribuer une probabilité, suivant le principe général de l'énergétisme. Le principe de Heisenberg se trouve donc incorporé à la base de la théorie cinétique et conduit à modifier les formules classiques.

III

Nous allons donc maintenant étudier systématiquement l'influence du postulat de non-analyse sur la détermination d'une droite remarquable d'un micro-objet ; ce sera par exemple la droite qui joint le proton à l'électron périphérique d'un atome d'hydrogène tel que le représentait l'ancien schéma de Bohr ; en appliquant le postulat de non-analyse, nous allons précisément retrouver les niveaux énergétiques correspondant aux différentes orbites possibles que Bohr avait assignées, au début de la science quantique, à l'électron de l'atome d'hydrogène.

Nous devons commencer notre besogne de précision par la détermination la moins

exigeante qui soit, puisque nous n'avons pas à nous conformer à un réel immédiat qui puisse nous servir de modèle. La tolérance la plus grande possible pour la fixation d'un angle dans un plan autour d'un centre fixe correspond de toute évidence à l'angle de 360° , ou 2π . Admettre une indétermination si tolérante revient, sans doute, à énoncer une vérité de M. de Lapalisse : vous me demandez où se trouve la grande aiguille de la montre que vous avez en poche — je vous réponds que cette grande aiguille est quelque part sur le cadran, entre midi et minuit. Cette facile prédiction va nous suffire cependant pour commencer correctement l'ordination des états énergétiques de l'atome d'hydrogène. En effet à l'indétermination 2π sur l'angle nous devons lier la possibilité d'un moment angulaire $\frac{h}{2\pi}$, en appliquant une fois de plus notre postulat de non-analyse qui donne ici l'identité :

$$2\pi \times \frac{h}{2\pi} \equiv h.$$

Si l'on suppose maintenant que la particule a un moment d'inertie I , on trouve par une relation bien connue du moment angulaire à l'énergie, la valeur de cette énergie :

$$\frac{1}{2} \frac{h^2}{4\pi^2 \times I}.$$

Voilà donc trouvée, avec une simplicité étonnante, l'énergie du premier état quantique de l'atome d'hydrogène.

Si nous apportons maintenant une énergie supplémentaire pour faire tourner plus vite l'électron périphérique, nous allons voir s'établir, comme pour les mouvements de translation envisagés dans le chapitre précédent, des discontinuités fondamentales. Il nous faudra, ici encore, refuser l'intuition de la variation continue, si clairement associée à la vitesse angulaire. En tournant sa meule, le rémouleur peut croire que son effort est continu et que l'accroissement de vitesse est régulier. Pour nous, nous devons nous souvenir que les intuitions de l'*homo faber* sont trompeuses ; nous nous instruisons par les expériences

de *l'homo lusor* qui nous apprend à distinguer le mouvement de la roulette et le mouvement quantifié des chances qui opèrent par oui et par non. S'il nous fallait des métaphores, nous préférierions dire que la roulette « tourne » — d'une manière discontinue — comme une chance, que de dire qu'elle tourne — d'une manière continue — comme une boule. Mais, pour bien préciser cette révolution épistémologique, nous allons encore une fois démontrer l'impossibilité de l'accroissement continu de la vitesse angulaire dans le cas d'un micro-objet.

Raisonnons par l'absurde et supposons pour un instant qu'il soit possible d'accroître la vitesse angulaire de l'électron périphérique d'une très petite fraction de sa valeur, par exemple $\frac{1}{100}$, à partir de la vitesse correspondant au moment $\frac{h}{2\pi}$ précédemment déterminé. D'après notre postulat fondamental, l'angle correspondant devra être fixé aux $\frac{99}{100}$ de 2π .

Devant une détermination en apparence aussi voisine de 2π , ne nous hâtons pas de conclure que la tolérance dans l'erreur, qui, tout à l'heure, était exactement 2π , a simplement subi une légère diminution. Nous devons prendre garde, comme nous l'avons fait pour le cas de la translation, à ne pas contredire *indirectement* notre postulat fondamental. Or, fixer l'angle dans une région angulaire égale à $\frac{99}{100} \times 2\pi$, c'est en réalité l'exclure de la région égale à $\frac{1}{100} \times 2\pi$, autrement dit c'est affirmer comme sûre une précision de $\frac{1}{100} \times 2\pi$. Si une telle précision à $\frac{1}{100} \times 2\pi$ près était possible, elle réagirait aussitôt sur la rotation et impliquerait un moment angulaire 100 fois plus grand que le moment initial, d'où une énergie 10.000 fois plus grande que l'énergie précédemment trouvée comme première valeur quantique. Ainsi nous supposons pouvoir augmenter légèrement et progressivement l'énergie et

cette supposition nous oblige à attribuer une énergie considérable à l'atome : contradiction flagrante, comme on en obtient dans toutes les constructions mathématiques quand on méconnaît un postulat fondamental. La conclusion est donc bien nette : une fois de plus, on voit que l'infiniment petit physique refuse la continuité.

IV

Reprenons donc patiemment la voie de la précision saccadée, degré par degré. Après avoir affirmé que l'axe que nous prétendions déterminer est situé à l'intérieur d'un angle de $360^\circ = 2\pi$, la plus modeste précision est d'affirmer qu'il est, soit dans une moitié du cercle, soit dans l'autre moitié. A cette précision de $180^\circ = \frac{2\pi}{2}$ correspond le moment angulaire $2 \times \frac{h}{2\pi}$, toujours selon l'application du postulat de non-analyse, d'après l'identité :

$$\frac{2\pi}{2} \times 2 \times \frac{h}{2\pi} = h.$$

Au degré suivant de précision angulaire égale à $\frac{2\pi}{3}$ correspond le moment $3 \times \frac{h}{2\pi}$ et ainsi de suite.

Quelles seront alors les énergies qui correspondent à ces divers degrés de la description active ? Ces énergies seront :

$$\frac{1}{2} \frac{h^2}{4\pi^2 I}, \frac{1}{2} \frac{4h^2}{4\pi^2 I}, \frac{1}{2} \frac{9h^2}{4\pi^2 I}, \dots$$

Il est extrêmement remarquable que ces niveaux d'énergie soient précisément les niveaux postulés jadis par Bohr. Ainsi, en s'appuyant simplement sur les conditions synthétiques de la localisation, nous retrouvons la conception des orbites quantifiées qui parut si arbitraire, du point de vue classique, quand Bohr la proposa pour expliquer les phénomènes du spectre de l'hydrogène représentés par la formule empirique de Balmer.

Dans un précédent ouvrage nous avons fait remarquer que, dès le début de la Physique quantique, la rupture avec la physique antécédente s'opérait par une

décision axiomatique (1). Mais cette décision axiomatique était encore placée assez près de l'expérience de laboratoire : elle revenait à affirmer qu'en parcourant une orbite quantifiée l'électron ne rayonnait aucune énergie, en contradiction formelle avec ce que révélaient des expériences de laboratoire sur des charges électriques en mouvement, expériences qui avaient été exécutées en suivant les inspirations des théories de Maxwell. La microphysique de Bohr s'affirmait donc comme une physique non-maxwellienne. L'évolution scientifique récente a fait remonter près de l'origine géométrique de la pensée, au niveau même des intuitions premières, la place de la décision axiomatique qui crée une science nouvelle. La physique non-maxwellienne est ainsi supplantée par une physique qu'on peut bien appeler non-cartésienne, puisqu'elle est très précisément fondée sur la négation d'un postulat tacite, impliqué par le géométrisme cartésien.

(1) Cf. *Le Pluralisme cohérent de la Chimie moderne*, 1932, p. 189.

Nous n'aurons donc aucun embarras quand nous verrons se troubler des « intuitions premières » du type cartésien. En particulier, nous devons faire remarquer que la série des niveaux énergétiques, que nous avons déterminés à partir du postulat de Heisenberg, n'implique pas des orbites décrites d'un mouvement continu. En microphysique, la trajectoire n'existe pas plus que le point. Si l'on parle d'orbites continues, en donnant une figure mouvante à l'atome, il ne peut s'agir que de liens schématiques qui résument les diverses possibilités énergétiques. De telles trajectoires n'ont pas plus de réalité que les graphiques continus utilisés en statistique pour relier les points discontinus, représentatifs d'expériences séparées. Telle sera, par exemple, une courbe illustrant les variations du nombre des voyageurs qui circulent jour par jour sur une ligne particulière. Les Compagnies construisent ces courbes en faisant, aux guichets, la comptabilité des billets vendus. Elles ne suivent pas les voyageurs

dans leurs déplacements effectifs. Nos schémas atomiques n'ont pas plus de réalité que ces schémas de comptabilité.

Bien entendu, on pourrait multiplier les applications du principe de Heisenberg. On pourrait retrouver, en partant de ce principe, la règle de Stoner qui donne le nombre des électrons qui peuvent se localiser sur une même couche caractérisée par un niveau énergétique déterminé. Cette règle de Stoner explique en quelque manière la périodicité chimique empiriquement établie par Mendéléeff. C'est donc tout le tableau des éléments chimiques qu'on peut dresser sur la base du postulat de non-analyse. Ce postulat apporte ainsi une cohérence parfaite dans le pluralisme des substances chimiques. De la complexité sagement placée à la base de l'expérience découle tout naturellement l'explication complète du substantialisme expérimental.

CHAPITRE IV

LES OPÉRATEURS MATHÉMATIQUES

I

Parmi les résultats philosophiques qu'on peut tirer des méthodes de localisation que nous venons d'exposer, il nous semble que le principal est l'inversion de la perspective de l'objectivité. La source première de l'objectivité, ce n'est pas l'objet, c'est la méthode objective — ce n'est pas le contenu, c'est le contenant — ce n'est pas le terme final de l'approximation, c'est la méthode d'approximation. Les valeurs de certitude sont attachées à la préparation expérimentale plutôt qu'aux résultats de l'expérience. Les résultats bruts, isolés, toujours flottants, désignent

mal le réel. Il est plus sûr de désigner le réel par les opérations qui produisent le phénomène. Ce que nous pouvons restituer dans une identité bien définie, c'est seulement notre attitude expérimentale. L'objectivité sur laquelle nous pouvons nous entendre est une objectivité d'information, d'encadrement, d'encellulement.

A quoi servirait-il d'ailleurs de séparer la notion d'objectivité et la notion de réalité et de répéter sans cesse que l'objectivité de l'expérience est possible parce que la réalité existe à plein, une et immuable, objectivement ? Cette existence inconditionnée est obscure, vague, illusoire. Elle ne peut justifier les corrélations de l'objectivité. Au contraire, au niveau des opérateurs bien définis et bien agencés, l'objectivité est naturellement organisée. C'est son organisation qui a de la stabilité, de la permanence, de la détermination, de la cohérence, bref tous les caractères qu'on attribue d'ordinaire à la réalité.

On va mieux voir le sens de ces remarques en étudiant le rôle d'une notion déjà

ancienne dans la philosophie mathématique : la notion d'opérateur.

II

Les mathématiques de la science quantitative viennent en effet de donner une soudaine importance à la notion d'opérateur. Cette notion apporte une tonalité philosophique nouvelle, assez difficile à saisir dans sa nuance, et qu'on pourrait, si l'on n'y prenait garde, aisément confondre avec la thèse bien connue du symbolisme mathématique. Essayons donc d'expliquer ce qu'est un *opérateur mathématique*.

Le mieux est de prendre tout de suite un exemple assez compliqué, car les opérateurs simples ne laissent pas bien voir leur fonction. A propos de l'expression algébrique de l'énergie d'un système mécanique, nous allons développer successivement les conceptions réalistes, symboliques, opératorielles, de la philosophie mathématique. Nous trouverons donc la

notion d'opérateur au terme de ce rapide développement.

La mécanique classique nous a appris à écrire, pour chaque système mécanique particulier, la fonction mathématique qui représente l'énergie du système. Nous savons qu'il faut ajouter à l'énergie cinétique l'énergie potentielle. Par exemple, dans le cas d'un point matériel mobile animé d'une vitesse v dans un champ caractérisé par un potentiel fonction de l'espace et du temps, on écrira pour valeur de l'énergie totale :

$$E = \frac{1}{2} mv^2 + U(x, y, z, t)$$

Si l'on considère les projections de la quantité de mouvement, sur trois axes de coordonnées, données par les expressions :

$$\bar{p}_x = mv_x, \quad \bar{p}_y = mv_y, \quad \bar{p}_z = mv_z,$$

on peut immédiatement mettre la fonction E sous la forme :

$$E = \frac{1}{2m} [\bar{p}_x^2 + \bar{p}_y^2 + \bar{p}_z^2] + U(x, y, z, t)$$

On a ainsi représenté l'énergie par une fonction des coordonnées du corpuscule et des composantes de sa quantité de mouvement (ou moments de Lagrange). Jusqu'ici on a traduit des faits réputés existants dans une représentation mathématique. Cette représentation mathématique est alors comme un langage qui relate des événements physiques. Nous sommes donc en présence de l'ancienne épistémologie qui était *réaliste* en ce qui concerne les événements, *linguistique* en ce qui concerne les mathématiques. Soulignons bien que d'après cette épistémologie, les mathématiques ne *pensent* pas, elles *expriment*.

Passons maintenant à l'épistémologie symbolique. Pour cela, vidons les termes mathématiques de leur signification réelle. Par exemple, le terme $\bar{p}_x = mv_x$ si clair, si bien construit comme produit de la masse du point par sa vitesse, si plein de sens depuis Descartes, ne le considérons plus que comme une expression sans structure interne, sous la seule notation \bar{p}_x .

sans avoir besoin désormais de nous référer à son sens réel. Puisqu'il se présente comme un carré sous la forme p_x^2 dans l'expression de l'énergie il symbolise une quantité essentiellement positive qui s'associe par une simple addition à des symboles similaires. C'est l'organisation des symboles qui nous intéresse désormais. En agissant avec les autres quantités comme nous venons de le faire pour les moments, nous ne laisseront plus aux signes que leur valeur d'association, leur valeur syntaxique, sans rapport avec la traduction réaliste. L'expression de E, expression qu'on appelle la fonction hamiltonienne du problème, sera ainsi une sorte de grille propre à traduire toutes les relations expérimentales dans le cas du point matériel mobile dans un champ de forces. Dans des cas plus compliqués, la fonction hamiltonienne sera une autre fonction des variables $x, y, z, t, p_x, p_y, p_z$, mais cette nouvelle fonction H donnera toujours l'énergie suivant l'équation :

$$H(x, y, z, t, p_x, p_y, p_z) = E$$

Voilà rapidement fixé le stade de l'épistémologie symbolique où s'arrêtent la plupart des philosophes des mathématiques.

Voyons alors une soudaine vie des symboles qui nous paraît bien correspondre à un dynamisme nouveau de la pensée mathématique. Ces symboles que l'activité de la pensée dématérialisante a transformés en pures formes, nous allons les transformer en *opérateurs*. Comme p_x a une origine différentielle puisqu'il est le substitut plus ou moins compliqué d'une vitesse, nous déciderons que p_x est un opérateur de différenciation. Nous ne prendrons donc plus l'expression p_x^2 comme le carré d'une quantité, ce ne sera plus une valeur, pas davantage l'expression mathématique d'une valeur. p_x^2 sera le redoublement de l'opération que nous allons associer à p_x . Comme p_x est une dérivation, p_x^2 sera une dérivation répétée deux fois. L'indice x , qui spécifiait la projection d'un vecteur sur l'axe des x dans l'épistémologie réaliste, sera impliqué dans la dérivation qui sera une dérivation

par rapport à x . Le signe $+$ que le Réaliste attachait indéfectiblement à un carré (dans l'expression mathématique), à une énergie cinétique (dans l'expression expérimentale), ne sera pas davantage respecté. Aux lieux et places de l'expression réaliste mv_x , aux lieux et places de l'expression symbolique p_x , nous écrirons $-\frac{h}{2\pi i} \frac{\delta}{\delta x}$. Le facteur imaginaire i indique assez que nous désertons la réalité. Méditons alors sur cette manière de présenter une opération algébrique avec une place vide, avec une place blanche derrière le δ du numérateur. C'est dans cette place qu'il faudra glisser la matière à opérer. L'opérateur est une sorte de fonction expectante, prête à travailler une matière algébrique quelconque. Il semble que s'introduise ici une distinction toute nouvelle entre l'idée de fonction et l'idée de quantité. Autrement dit, les expressions mathématiques se segmentent ; on écrit les relations en deux temps : d'abord ce qui relève de la pure fonctionnalité (les opérateurs), ensuite ce

qui relève de la quantité. Nous reviendrons d'ailleurs sur les rapports de l'opérateur à la grandeur un peu plus loin.

Naturellement nous remplacerons p_y par $-\frac{h}{2\pi i} \frac{\delta}{\delta y}$, p_z par $-\frac{h}{2\pi i} \frac{\delta}{\delta z}$. Moyennant des conventions opératorielles très simples sur les variables x, y, z , qui sont elles-mêmes transformées en opérateurs, nous substituerons à l'expression algébrique ancienne de l'hamiltonien :

$$H(x, y, z, t, p_x, p_y, p_z)$$

l'expression en opérateurs :

$$H\left(x, y, z, t, -\frac{h}{2\pi i} \frac{\delta}{\delta x}, -\frac{h}{2\pi i} \frac{\delta}{\delta y}, -\frac{h}{2\pi i} \frac{\delta}{\delta z}\right)$$

En continuant dans cette voie, on ne tarde pas à pouvoir écrire l'équation de la mécanique ondulatoire du point matériel proposée par Schrödinger. Dans le cas d'un champ constant cette équation s'écrit :

$$\Delta\psi + \frac{8\pi^2 m}{h^2} [E - U(x, y, z)] \psi = 0$$

Notre but n'est pas d'étudier cette équation. Nous voulons simplement faire remarquer qu'on peut l'établir sans introduire de considérations réalistes, par le simple développement des principes opératoires que nous venons d'exposer.

Si l'on nous objectait que cette expression de Schrödinger est simplement un symbole, nous demanderions : un symbole de quoi ? Que symbolise-t-elle ? Où est l'expérience qu'elle exprime ? Vient-elle après une expérience pour nous donner la forme de cette expérience ?

Mais nous allons discuter le problème d'un peu plus près, pour tirer toutes les conséquences philosophiques de la notion d'opérateur mathématique.

III

L'épistémologie nouvelle doit faire face sur deux fronts opposés : contre les partisans du symbolisme mathématique ; contre les partisans du réalisme philosophique.

Les partisans du symbolisme pur et simple objecteront toujours : vous êtes si bien en train de manier des symboles que, de votre propre aveu, vous avez commencé par vider les expressions algébriques de leur contenu réaliste et que vous avez, plus ou moins arbitrairement, remplacé un symbole encore près de sa signification réaliste p_x par un symbole

— $\frac{h}{2\pi i} \frac{\delta}{\delta x}$ sur lequel s'accroissent les

conventions. — A ces partisans du symbolisme, nous répondons : le succès protéiforme des symboles transmute la valeur des symboles ; il les fait tourner du passé à l'avenir de la pensée, du résumé au programme. Le fait aussi que les symboles s'agglomèrent donne un sens aux « phrases » constituées par des mots isolés dans leur définition primitive. Vous croyez que l'association des symboles donnent des formules abracadabrantes ; je crois que l'association des opérateurs donne des mots vivants, des phrases pensées, des phrases pensantes. Jamais la valeur inductive des

mathématiques n'a été si grande que dans la constitution de la mécanique ondulatoire.

Les partisans du réalisme philosophique objecteront à leur tour que le jeu mathématique n'est qu'un intermédiaire et que s'il réussit si bien, c'est parce qu'on ne quitte pas au fond l'équivalence première qui fait que l'énergie totale d'un système mécanique est la somme de l'énergie cinétique et de l'énergie potentielle. L'énergie potentielle en particulier, on la considérera au besoin comme la déformation d'un éther, comme une force statique distribuée continûment dans l'espace, bref on se donnera un espace peuplé, non seulement d'objets, mais de liens ; on considérera toutes les relations comme des liaisons. L'espace sera pris alors comme une sorte de champ physique nécessairement cohérent et unitaire et c'est l'étude mathématique de cette cohérence réelle qui nous permettra d'expliquer la convenance des phénomènes. — A ces partisans du réalisme philosophique, nous répondons : l'in-

formation mathématique nous donne plus que le réel ; elle nous donne le plan du possible ; elle déborde l'expérience effective de la cohérence ; elle nous livre le compossible. Il ne s'agit pas d'une cohérence concrète, mais bien d'une cohérence abstraite. En fait, l'hamiltonien conçu comme opérateur nous livrera, dans l'équation de Schrödinger, le spectre de toutes les valeurs possibles de l'énergie. La constante E qui, dans l'ancienne épistémologie réaliste, était considérée comme une donnée, comme une réalité empirique, est ici un paramètre qui doit se mettre en accord avec les conditions mathématiques incluses dans l'opérateur hamiltonien ; dès lors, une constante unique, attachée à une expérience unique, ne nous paraît donner qu'un prétexte pour la pensée inventive et productrice. Guidés par l'information mathématique, nous pouvons espérer faire converger les probabilités et créer de toutes pièces des phénomènes dont la structure première peut, à bon droit, être qualifiée de mathématique.

• On le voit, aux critiques des partisans du symbolisme et des partisans du réalisme nous faisons une même réponse : les mathématiques dépassent en pensée inventive aussi bien les conventions que les expériences.

Évidemment tout ce débat a l'air de revendiquer des nuances épistémologiques qu'une pensée plus arrêtée, plus statique, peut effacer. Mais le seul fait que deux épistémologies si différentes que le symbolisme et le réalisme viennent converger sur notre problème prouve peut-être la fécondité de l'explication moyenne que nous proposons. Cette explication nous paraît d'autant plus féconde qu'elle permet de mettre la doctrine des opérateurs (doctrine d'inspiration symbolique) en liaison avec la traduction mathématique de l'expérience (doctrine d'inspiration réaliste). En somme, un opérateur mathématique est constitué par l'ensemble des actions rationnelles que nous prétendons exercer pour ordonner une réalité plus ou moins amorphe. Il est un plan pour

la réalisation des lois mathématiques. Nous le trouverons en substituant le positivisme de l'esprit au positivisme des choses, le positivisme des lois mathématiques au positivisme des lois empiriques, le réalisme platonicien des idées opérantes au réalisme naïf des choses opérées. Alors la dualité philosophique traditionnelle prendra un aspect extrêmement précis, puisqu'elle reviendra, sur le terrain même si uni des mathématiques, à opposer la grandeur et l'opérateur.

IV

Mais essayons de préciser, comme nous l'annoncions un peu plus haut, la dialectique qui joue entre l'opérateur et ses grandeurs conjuguées. Rendons-nous compte que la grandeur glisse vers la probabilité dans le même temps que l'opérateur prend un aspect mathématique mieux défini.

Qu'est-ce donc au juste qu'une grandeur en microphysique ou, plus simplement,

qu'est-ce donc qu'une grandeur physique précise ? Correspond-elle vraiment à un nombre unique et bien déterminé avant qu'on l'ait mesurée ? Existe-t-elle en dehors du phénomène essentiellement complexe qui va servir à la mesurer ? N'appartient-elle pas à un ensemble ? N'est-elle pas nécessairement l'élément d'un groupe de grandeurs ? A-t-on vraiment le droit de détacher une détermination particulière de cet ensemble ? Ne faut-il pas toujours prendre l'ensemble des grandeurs mesurées comme une sorte de famille subordonnée à ce chef de groupe qu'est l'opérateur ? Voilà toute une nuée de questions qu'on n'arrive pas à bien coordonner, car toutes les difficultés philosophiques des rapports du rationalisme et de l'empirisme viennent s'accumuler ici. Cependant, sur le domaine précis des mathématiques et en ce point métaphysique sensible on peut, dès maintenant, faire sentir la grande souplesse de la relation qui lie l'opérateur mathématique aux grandeurs subordonnées. Cette souplesse va jusqu'à légitimer

le passage de l'identique au divers. C'est là un aspect philosophique très curieux du fonctionnement des opérateurs dans la nouvelle Physique mathématique. Ainsi il pourra bien se faire qu'un opérateur toujours identique à soi-même nous livre des valeurs expérimentales diverses. C'est ce qu'exprime clairement M. L. de Broglie (1) : « Considérons d'abord un ensemble de systèmes identiques et supposons que tous ces systèmes soient dans le même état représenté par une même forme de leur fonction ψ . Soit alors une grandeur mécanique correspondant à un opérateur A . Si l'on mesure la grandeur en question pour tous les systèmes de l'ensemble, on ne trouvera pas en général la même valeur pour tous. » Qu'on mesure toutes les raisons d'identité qui président au fonctionnement de l'opérateur : c'est la même opération, pratiquée dans des conditions identiques sur des systèmes identiques, qui donne des résultats différents ! Où

(1) Louis de Broglie, *Théorie de la Quantification dans la nouvelle mécanique*, 1932, p. 175.

est alors la raison de la diversité ? Elle ne peut résider que dans une mobilité ontologique correspondant à la base foncièrement probabilitaire du donné. Nous comprendrions mieux la microphysique si nous pouvions nous habituer à penser le réel à travers le probable, en nous rappelant ce principe : l'expérience microphysique ne traduit pas une réalité ; elle réalise une chance.

Il y a d'ailleurs un lien entre l'opérateur conçu comme identique à soi-même et la loi de dispersion des grandeurs distribuées selon des probabilités déterminées. Ce lien contribue à effacer, croyons-nous, le caractère irrationnel de la probabilité. Il faut bien voir, en effet, que la microphysique *ne construit pas ses moyennes morceau par morceau* ; elle ne les calcule pas *après* l'expérience ; elle les trouve au niveau même de son information mathématique. Dans la doctrine classique de la mesure, on déterminait une série de valeurs empiriques ; en appliquant ensuite à ces résultats partiels des

formules de moyennes plus ou moins rationnelles, plus ou moins appropriées, on choisissait une sorte de résultat optimum bordé par une zone plus ou moins resserrée d'aberrations tolérables. Ces moyennes ainsi artificiellement constituées, on était parfois gêné pour les coordonner entre elles : on pouvait craindre, en effet, que ce qui lie les phénomènes entre eux ne lie pas nécessairement les valeurs moyennes prises sur des phénomènes séparés. La nouvelle doctrine des opérateurs mathématiques est plus sûre de son homogénéité, puisque l'opérateur a, en quelque manière, inscrit la prise de moyenne dans l'opération mathématique principale. C'est ce dont on pourra se convaincre en étudiant le problème des valeurs moyennes en Mécanique ondulatoire dans l'ouvrage de M. L. de Broglie précédemment cité.

Cette incorporation du problème des moyennes dans les principes de la Physique mathématique nous paraît correspondre à un grand progrès philosophique. Jadis, on posait les fonctions mathéma-

tiques trop loin de leur application au réel. Par contre, on posait la grandeur physique comme une réalité en soi, indépendante des méthodes de mesure et de calcul. Double raison pour que l'accrochage de la fonction mathématique à la grandeur se fasse mal, ou plutôt pour qu'il ne se fasse pas. Même divorce sur le plan du possible : les mathématiques étaient mises en face d'une possibilité continue, uniforme, sans structure ; elles devaient être prêtes à informer tout ce que l'expérience voudrait bien leur confier. En regard, les grandeurs physiques pouvaient être bien déterminées en fait, mais tant qu'on les *imaginait*, tant qu'on les offrait par la pensée au mathématicien, on pouvait leur donner, en puissance, en pensée, en théorie, toutes les déterminations possibles. Aussi bien en mathématiques que dans l'expérience, le possible était donc l'indifférent. On fut bien surpris, dans les premiers temps de l'ère de Bohr, quand on se vit contraint d'interdire absolument des grandeurs supposées de prime abord

comme possibles. L'espace n'était donc pas pure indifférence au mouvement ! Il n'était donc pas une forme pure, prête à tous les remplissages ! La physique géométrique traditionnelle partait donc d'un schème trompeur. On ne voyait d'ailleurs aucune raison suffisante aux interdictions qui s'imposaient. Ces interdictions qui venaient après coup, on se trouvait obligé de les inscrire dans le principe du calcul, en accordant un arbitraire aux nouveaux postulats qui réformaient la Physique mathématique. Nous comprenons mieux maintenant d'où provenaient toutes ces difficultés philosophiques. Elles étaient la conséquence d'un manque de liaison primitive entre le réel et le mathématique.

Certes, on peut trouver facilement des domaines où les mathématiques sont indépendantes de la matière expérimentale qu'elles tentent d'informer. Il est même instructif de voir comment ces domaines sans structure se présentent à la limite de réalités à formes mathématiques bien

définies, bien adoptées. Il suffit de délier le complexe pour trouver le simple ; il suffit de briser le compossible pour trouver des possibilités indépendantes. Mais alors on tombe sur des phénomènes sans grand intérêt, sur ces phénomènes simples — ou simplifiés — qui instruisent le bon sens et le noue en effaçant toute pensée inventive. C'est ainsi que le philosophe cartésien, croyant pouvoir saisir l'essence de la connaissance scientifique à sa base, se donnera le mouvement uniforme, avec une vitesse bien définie. Il édifiera toute la philosophie mécanique en partant de cette idée première. Hélas ! cette prétendue *donnée* est tout imaginaire ; elle n'a pas la moindre réalité physique ; elle ne correspond à aucun cas concret ; elle est une de ces étranges *possibilités* qui sont *impossibles* à réaliser. Un peu de réflexion suffit pour remarquer qu'on ne peut fonder sur cette notion qu'une mécanique non liée, éloignée des conditions de l'expérience effective. Il est alors intéressant de voir ce que fournira l'opérateur fondamental

quand on le fait *travailler* sur ce cas « simple » du point libre.

L'opérateur fondamental, c'est celui qui localise. La question posée est donc celle-ci : puisque vous vous *donnez* une vitesse bien déterminée, bien uniforme, puisque vous savez si bien où va le corpuscule, dites-nous donc où il est ; dites-nous donc au moins où nous avons le plus de chance de le saisir, en prolongeant plus ou moins notre affût ? A cette question, le jeu de l'opérateur en usage dans la mécanique ondulatoire répond que les chances de localisation sont exactement les mêmes en tous les points de l'espace. Vous voulez — orgueilleuse prétention — être *à la fois* précis et clair ; vous êtes parti de cette notion, hélas irréaliste, d'une vitesse bien déterminée et uniforme : l'opérateur qui est chargé de vous indiquer la probabilité de présence d'un corpuscule ainsi artificiellement libéré ne vous fournira aucun renseignement utile. Vous payez votre détermination mécanique parfaite par une indétermination géométrique to-

tale. Revenons donc sur nos pas et voyons ce qui a annulé l'expérience : une probabilité de détection étalée uniformément est le signe d'un objet sans caractères. Il semble que les opérateurs mathématiques de la microphysique refusent de travailler sur un réel sans structure ou qu'ils reconnaissent le caractère factice des objets élémentaires proposés par la philosophie de la simplicité.

Il faut donc bien juger de l'importance et du rôle des opérateurs mathématiques à propos d'un cas complexe. C'est ce qui rend si difficile la philosophie scientifique contemporaine. Cette philosophie ne peut plus se fonder sur des notions simples ; il lui faut suivre la science dans les expériences précises qui s'écartent essentiellement des expériences communes et claires.

CHAPITRE V

LE RÔLE DES ESPACES ABSTRAITS DANS LA PHYSIQUE CONTEMPORAINE

I

Maintenant que nous avons vu, en étudiant le rôle des opérateurs mathématiques, un premier moyen tout mathématique de relier les informations et les formes, les fonctions et les grandeurs, les réalités mathématiques et les probabilités physiques, nous sommes peut-être préparés à comprendre l'importance et l'extrême complexité philosophique de la tâche qui s'impose à la pensée scientifique contemporaine. D'après nous, cette tâche n'est pas autre chose que l'adéquation des vérités rationnelles et des vérités empiriques,

que la conciliation et la synthèse de l'*a priori* et de l'*a posteriori*. Et ce qui nous semble le plus digne de remarque, c'est que cette synthèse métaphysique est tentée sur un domaine aussi net, aussi solide, que le domaine géométrique. A suivre le mathématicien sur un terrain si nettement circonscrit, le philosophe pourrait espérer des éclaircissements sur les énigmes qui le préoccupent. Il faudrait cependant pour cela qu'il voulût bien remettre en question ses intuitions les plus chères et se rendre compte que les *types spatiaux nouveaux* en usage dans la science sont des complexes spirituels et expérimentaux très travaillés, sans rapport avec les cadres premiers d'une connaissance ingénue.

En face de l'espace concret, dont les psychologues nous apprennent l'acquisition — que cet espace soit d'ailleurs une forme d'intuition ou une expérience plus ou moins schématisée — les mathématiciens ont formé une multitude de constructions, d'essences très diverses, mais

dont on peut détacher trois grandes classes très importantes : les espaces généralisés, les espaces de configuration, les espaces abstraits.

Par espaces généralisés, nous entendons les espaces qui gardent des liaisons intuitives avec l'espace euclidien ordinaire : tel sera le cas, par exemple, pour les espaces euclidiens à plus de trois dimensions. Dans les constructions de ce genre, le caractère factice est indéniable. On voit bien, en effet, qu'on généralise algébriquement des relations trouvées dans l'intuition ordinaire : par exemple, parler d'un *plan* dans un espace euclidien à quatre dimensions, c'est appeler *plan* une équation algébrique du premier degré à quatre variables, en prenant prétexte du fait que le plan dans l'espace ordinaire à trois dimensions est représenté algébriquement par une équation du premier degré à trois variables. Déjà cependant, sur cet exemple si simple et en apparence si délibérément factice, le réalisme mathé-

matique peut se soutenir ; car, si des adversaires de ce réalisme objectaient le caractère artificiel du plan dans un espace à quatre dimensions, on pourrait répondre que la représentation algébrique du plan usuel, matérialisé dans une planche, correspond à une équation du premier degré. On se rendrait compte ensuite que cette équation du premier degré renferme toutes les propriétés du plan livré par l'intuition. Pour parler comme M. Bouligand, l'équation du premier degré est la *cause mathématique* du plan intuitif. Cette *cause mathématique* se retrouve sans changement dans une information similaire à quatre variables. Elle doit donner le *même effet* dans une intuition élargie, dans un espace généralisé.

Naturellement, dans de telles généralisations, l'espace ordinaire reste le lieu de nos images : pour maintenir sa clarté, l'intuition savante revient de temps à autre vers l'intuition naïve, comme à son foyer. On voit alors combien ces retours plus ou moins fréquents, plus ou moins

méthodiques vers une intuition qu'on croit fondamentale, apportent d'arguments aux partisans de la conception toute linguistique, tout expressive, des mathématiques : la géométrie usuelle serait ainsi une sorte de réserve pour les racines de la langue mathématique. Un pas de plus, et cette géométrie va apparaître comme la langue fondamentale du rationalisme philosophique aussitôt qu'on a mis, comme dans le Kantisme, l'information géométrique sur le même plan que l'intuition *a priori*. En fait, l'indépendance des intuitions dans les divers domaines mathématiques est bien plus grande que ne le supposent les rationalistes traditionnels. Peu à peu l'intuition abstraite se libère des formes premières. On le sentira mieux à la fin du présent chapitre.

Il y a d'ailleurs des généralisations moins élémentaires. Des variations dialectiques formant opposition à divers postulats de la géométrie euclidienne ont donné de nouvelles géométries qui, elles aussi, se sont révélées des bases de géné-

ralisations importantes. Sans doute, les bases non-euclidiennes réclamèrent, pour être établies, une grande souplesse de l'intuition, ou même une contradiction flagrante de l'intuition usuelle. Aucune image familière ne peut donner une représentation des deux parallèles que la géométrie de Lobatchewsky mène, par un point, à une droite. Il fallait considérer des surfaces assez compliquées pour trouver dans la géométrie euclidienne des êtres mathématiques équivalents aux êtres lobatchewskiens. Cependant là encore les nominalistes triomphaient à bon marché. En effet, une fois les équivalences établies, il semblait qu'une langue nouvelle fût créée et que le mathématicien de génie — injurieux paradoxe — n'était qu'un polyglotte ! Les transformations mathématiques, dont l'art est si difficile, n'étaient plus, au dire des nominalistes, que des traductions qu'on pouvait faire à coups de dictionnaires.

Néanmoins, ces langues artificiellement créées pensaient par leur seule puissance

d'expansion : un demi-siècle à peine après Riemann, avec Einstein, le verbe riemannien révélait aux hommes la Relativité. La géométrie où s'exposait la Relativité généralisée était une géométrie riemannienne à quatre dimensions. Là encore, les figures qu'on peut dessiner sur une sphère euclidienne peuvent servir d'images plus ou moins exactes pour les notions nouvelles correspondant aux relations de plus en plus abstraites qui foisonnaient. Si compliquées que devenaient les géométries utilisées par les sciences physiques, on s'efforçait de retrouver toujours une origine concrète, mais on devait avouer que cette origine était lointaine et que la pensée scientifique s'en détachait insensiblement. Jusqu'à la Relativité incluse, la physique mathématique semblait évoluer à sens unique, du concret vers l'abstrait, de la description à la métaphore.

II

Nous verrons dans un instant se dessiner un mouvement inverse. Mais avant d'exposer cette soudaine *concrétisation de l'abstrait* qui nous paraît un caractère tout nouveau de l'épistémologie contemporaine, indiquons, d'un trait rapide, le rôle des espaces de configuration et des espaces représentant l'extension en phases. Les uns et les autres se posent en effet comme des processus d'études théoriques et l'on ne revendique, ni pour les uns ni pour les autres, droit de cité dans la réalité.

Les espaces de configuration ont pris une grande importance dans la mécanique ondulatoire avec les travaux de Schrödinger. Ils ont pour but principal de décrire les mouvements d'un *système de points* dans les formes mêmes du mouvement d'un point unique. Il s'agit donc d'une méthode de généralisation. Chacun des points d'un système réclamant 3 variables pour être repéré par rapport à un système

d'axes réels, dans l'espace ordinaire à 3 dimensions, un système de n points réclame $3 \times n$ variables. Si l'on postule maintenant que chacune de ces $3n$ variables correspond à *une* dimension, on pourra choisir entre deux expressions équivalentes : ou bien l'on dira que le système est représenté par n points dans un espace à 3 dimensions — ou bien que le système entier est représenté par un point unique dans un espace à $3n$ dimensions. Cette simple transformation facilite étrangement le développement et la clarté des calculs. On en vient alors à étudier la propagation d'une onde de probabilité dans cet espace de configuration à $3n$ dimensions. C'est assez dire que dans cette voie on quitte délibérément le concret et qu'il sera nécessaire, en fin de calcul, de traduire sous forme claire et réaliste, les résultats mathématiques.

Les espaces où l'on étudie l'*extension en phases* d'un phénomène mécanique ou physique sont peut-être encore plus artificiels, en ce sens que les « dimensions »

sont pour ainsi dire franchement hétérogènes. Prenons le cas le plus simple : pour étudier le mouvement d'un point matériel mobile sur une droite, on conviendra de représenter sur un même graphique, dans un même plan euclidien, à la fois la variable de position et le moment conjugué, ou plus simplement la place et la vitesse. On ne peut avouer plus clairement le caractère purement représentatif du procédé.

Il faut remarquer toutefois avec quelle facilité des êtres si hétérogènes que le moment et la position se laissent en quelque manière homogénéiser. Il y aurait là matière pour une étude intéressante. Dans cette voie, on pourrait retrouver les pénétrantes remarques développées par M. Paul Renaud dans divers articles (1). On verrait que la *cellule de localisation*, que nous avons étudiée longuement dans les chapitres précédents, est un cas par-

(1) Paul Renaud, *Structure de la pensée et définitions expérimentales*. Hermann, 1934. — Sur les Définitions expérimentales. *Apud. Logique et Expérience*. Hermann, 1936.

ticulier de la *cellule de connaissance* nécessaire pour tenir compte du flottement de la connaissance précise autour d'une valeur absolue purement idéale et strictement parlant irréaliste. En prenant le caractère *flou* de la connaissance expérimentale comme un caractère *fondamental* de la connaissance du réel, on arrive, comme le dit très bien M. Paul Renaud, à « coupler plus fortement la théorie et l'expérience en enlevant de l'absolu aux définitions des êtres physiques, en les rapprochant plus de l'expérience et des convergences qui rendent leurs définitions intéressantes ». D'une manière générale, on doit concevoir *toute indétermination comme un espace* ; et c'est pourquoi les diverses indéterminations touchant des quantités différentes doivent être coordonnées en « cellules de connaissance » qui, seules, permettent d'agglomérer correctement l'ensemble des indiscernables qui interviennent dans une mesure. Il y a là toute une philosophie de l'approximation qui nous a retenu dans un essai

déjà ancien et qui demanderait un nouvel ouvrage pour bénéficier des enseignements de la science quantique.

Revenons donc à la tâche de classification que nous avons en vue et essayons maintenant de montrer le rôle des *espaces abstraits* dans la physique contemporaine. Ce rôle est primordial ; on peut, dès à présent, prévoir que les *espaces abstraits* vont jouer à l'égard de la Physique quantique le même rôle que l'espace riemannien a joué à l'égard de la Relativité généralisée.

III

Une idée philosophique importante est liée à la position d'un espace abstrait : cette idée revient à poser le caractère intrinsèquement indéterminé de l'élément spatial, à faire par conséquent abstraction de toute valeur substantielle, de toute propriété strictement parlant élémentaire. Corrélativement on pose l'obligation d'attendre les relations des éléments entre eux pour parler d'une propriété des élé-

ments. Il faut donc prendre comme point de départ l'idée d'un *ensemble d'éléments* tous semblables ou tenus pour tels. Comme le dit très bien M. Jean-Louis Destouches (1) : « A un ensemble d'éléments de même nature, inconnue ou volontairement ignorée, M. Fréchet a donné l'appellation de *classe abstraite*. Ce n'est... que lorsque dans une classe abstraite on aura attribué un sens à l'expression élément près d'un ensemble d'éléments, que cette classe abstraite pourra être assimilée à un espace. » Naturellement la notion de proximité, de voisinage, laisse encore une grande liberté de définition.

Si la position d'un espace abstrait est si indéterminée, on peut s'attendre à ce que le nombre des espaces abstraits possibles soit très grand. Cette richesse de la pensée abstraite peut faire craindre que cette pensée, tout entière en possibilité, bien éloignée des intuitions matérielles, ayant même le besoin de s'éloigner

(1) Jean-Louis Destouches, *Le Rôle des espaces abstraits en Physique nouvelle*. Hermann, Paris, 1935, p. 12.

et de se méfier des intuitions matérielles, soit inapte à informer notre expérience physique. En fait, comme le remarque M. Louis de Broglie, les analystes qui ont travaillé à varier presque à l'infini les espaces abstraits ne pouvaient guère s'attendre à ce que la Physique utilisât un jour leurs travaux. Il est curieux que les outils mathématiques soient presque toujours forgés avant qu'on en puisse prévoir l'emploi. Ce fut le cas pour la théorie de la courbure de Riemann, pour les matrices d'Hermite, pour les groupes de Galois. On peut y voir un argument pour la valeur inductive des mathématiques.

D'un autre côté, on peut trouver un signe similaire dans le fait que les Physiciens qui, depuis dix ans, travaillent à la Physique quantique ont manié, sans s'en douter, des espaces abstraits assez nombreux. Comme le fait remarquer M. Jean-Louis Destouches (1) : « C'est

(1) Jean-Louis Destouches, *loc. cit.*, p. 10.

un fait que les théories physiques qui se sont développées successivement depuis la naissance de la mécanique ondulatoire ont toujours nécessité l'utilisation de nouveaux espaces. » On pourrait presque dire : à nouvelle théorie, nouvel espace. La Physique moderne a ainsi un étrange désir, un insatiable besoin de géométries.

Le fait que, partis les uns de la pensée pure, les autres de l'expérience, les mathématiciens et les physiciens se soient trouvés devant une même nécessité spirituelle, apporte à la thèse du mathématisme un argument qui, pour être d'ordre historique, n'est cependant pas dépourvu de valeur. Cette rencontre doit être le signe d'une nécessité plus profonde : on doit y voir la preuve que la constitution d'un espace physique, propre à rendre compte de l'expérience, ne peut s'effectuer sans l'établissement de principes *hiérarchiques* qui s'étagent rationnellement. On ne trouve pas l'espace : il faut toujours le construire. Un espace est fait du bilan de ce qu'on peut rejeter et de ce qu'on doit retenir

de l'expérience. Une deuxième conséquence plus cachée, c'est que les thèmes d'abstraction sont propres à fournir des cadres de réalisation. Un espace abstrait est une hypothèse plausible pour organiser une expérience. C'est une tentation rationnelle d'expérimenter.

Ce caractère essentiellement mêlé de la constitution d'un espace physique n'avait pas échappé à Poincaré. C'est ce que rappelle M. Destouches en fixant, en outre, l'importance de l'idée constructive (1) : « Comme il résulte des travaux de Poincaré, ni l'expérience, ni les sens ne peuvent suffire à fixer complètement un espace, ni même sa topologie... Pour fixer un espace physique, il faut, en outre et avant tout, une idée théorique : c'est elle qui conduit au choix d'un espace que nos sens et l'expérience permettent seulement d'accepter ou de rejeter. » Est-il besoin de souligner le caractère profond, primordial, de cette idée théorique qui

(1) Jean-Louis Destouches, *La Notion d'espace physique in Logique et expérience*. Hermann, Paris, 1936, p. 34.

organise un espace ? Elle s'inscrit comme la formule magique qui commande une physique mathématique, de sorte que la physique mathématique devient géométrique dans tous les sens du terme. Pour bien juger ce caractère fondamental, il suffit de comparer ces *idées théoriques* organisant l'espace d'une théorie physique avec les anciennes hypothèses scientifiques du siècle dernier, souvent très mathématiques, mais qui jouaient pour ainsi dire au-dessus du réel ; par contre le réel restait, sans discussion, enraciné dans l'espace ordinaire. Les constructions de la Physique mathématique contemporaine sont donc, de la base mathématique au sommet, beaucoup plus homogènes. Les différentes régions de l'expérience concrétisées dans un espace qui leur est propre constituent de véritables domaines mathématiques bien définis, des *corps* d'explication bien déterminés. Le plan mathématique correspondant à un type particulier d'expérience est ainsi, nous semble-t-il, plus qu'une hypothèse figurative, plus qu'un moyen d'expression.

Mais nous allons tenter d'être plus précis et de montrer comment la pensée abstraite entre en contact avec l'expérience, comment se constitue ce que l'on pourrait peut-être appeler un *espace abstrait-concret*. Nous allons étudier la pensée abstraite au moment où elle réussit à s'incorporer une donnée physique, sans rien perdre de sa valeur axiomatique. C'est vraiment, à notre avis, un instant dramatique pour l'âme rationnelle.

Pour faire cette étude, nous allons essayer de dégager diverses leçons philosophiques qui sont impliquées dans la profonde conception que M. Jean-Louis Destouches appelle l'*espace corpusculaire*.

IV

On peut distinguer deux moments décisifs dans la constitution de cet *espace corpusculaire* : d'abord la détermination des éléments ; ensuite la mise en relation de ces éléments.

Les deux démarches vont être extrê-

mement simples. Pour le premier point, en accord avec l'idée théorique essentielle de l'atomisme, les éléments seront des corpuscules insécables. Ces éléments étant insécables, il n'y a aucun intérêt à les prendre eux-mêmes comme des ensembles ; ils pourront donc être représentés par des points comme dans l'ancienne intuition de Boscovich. Ces points représentatifs des corpuscules seront soumis aux lois de la mécanique ondulatoire qui en donnera les distributions probables en fonction du temps. Bien entendu, on admettra l'axiome de l'impénétrabilité des corpuscules qui s'exprimera sous cette forme si simple : deux corpuscules ne peuvent à la fois se trouver en un même point.

Mais où les considérations développées par M. Jean-Louis Destouches apportent les plus belles suggestions philosophiques, c'est dans la deuxième partie de l'axiomatique qui fonde l'espace corpusculaire où intervient la définition précise du voisinage choisi. Avant d'indiquer ce postulat de voisinage particulier, nous ferons

quelques remarques sur les conséquences philosophiques de l'incorporation de cette notion d'analyse mathématique dans la Physique nouvelle.

Peut-être ces conséquences apparaîtront-elles mieux si l'on oppose le thème mensuraliste de la distance et le thème purement topologique du voisinage. Dans les doctrines relativistes, c'était avec la définition de la notion de distance que se présentaient les tentatives diverses. Suivant la définition de la distance choisie, on constituait un espace euclidien comme dans la Relativité restreinte ou un espace riemannien comme dans la Relativité généralisée. La *mesure spatiale* était l'expérience physique fondamentale. L'espace physique n'était défini que dans la proportion où l'on savait le mesurer. On pouvait apporter de nouveaux procédés de mesure, on pouvait surtout perfectionner les mesures : l'espace demeurerait toujours comme un *objet* à mesurer.

Quand on la réduit à sa plus simple expression, la *notion de voisinage* peut

être distinguée de la notion de distance. Avec le simple voisinage, il semble qu'on touche à un principe plus profond, moins dérivé, que la distance. Tout bien considéré, il semble aussi que l'expérience assez peu exigeante, qui nous donne l'ordre, soit plus générale et organiquement plus importante que l'expérience plus précise, qui nous donne la distance. Sans doute la distance est un excellent moyen pour préciser l'ordre, mais l'ordre prime quand même la grandeur et peut s'étudier sans souci des distances. Précisément la notion de voisinage *réalise* la notion d'ordre en faisant systématiquement abstraction de la distance. Les diverses physiques qui pourront prendre naissance d'après le choix de l'axiome de voisinage se présenteront, non plus comme des doctrines mensuralistes, mais bien comme des doctrines d'ordination, comme des descriptions strictement topologiques. Une physique de l'ordre pur peut donc dès maintenant être envisagée.

Naturellement, parti de postulats de

voisinage, on devra en venir à une définition de la distance puisque la distance correspond à un concept indispensable pour la macrophysique. Mais cette définition de la distance ne sera plus primitive ; elle se fera comme une fonction plus ou moins rigoureuse du voisinage. Une telle « distance » sera susceptible de flou, de flottement, à peu près comme la densité d'une population au kilomètre carré qui est, dans la macrodémographie une notion dérivée fonction du *voisinage réel*. En étudiant cette comparaison, on se rendra facilement compte qu'un encadrement géométrique impliquant des *distances* bien définies peut s'établir sur des notions purement ordinales, sans référence à des distances effectives. La démographie n'a pas à s'occuper de la distance effective qui sépare à un moment donné les membres d'une même famille réunis autour d'une même table : il suffit de savoir qu'ils sont *voisins*, qu'ils font partie d'une même molécule sociale, pour les faire rentrer dans des statistiques.

Nous nous sommes tenu volontairement sur le terrain des généralités philosophiques pour opposer les notions de distance et de voisinage ; car ces généralités suffisent, nous semble-t-il, pour comprendre la portée des critiques que la science nouvelle apporte contre la notion d'un déterminisme absolu. Il nous paraît assez évident, en effet, qu'une physique qui n'est plus inféodée à une métrique initiale se libère, dès le principe, de ce *déterminisme quantitatif* qui faisait le caractère dominant des physiques préquantiques, qu'elles soient newtoniennes ou einsteiniennes. Mais ce déterminisme quantitatif une fois retranché ou limité, reste la place pour une sorte de *déterminisme de l'ordre, du voisinage*, qui pourrait servir de concept intermédiaire propre à concilier, entre le déterminisme et l'indéterminisme, le débat qui agite la philosophie scientifique contemporaine. L'ordre et le voisinage sont bien déterminés — comme un ordre et un voisinage peuvent être déterminés quand on fait abstraction des grandeurs et des dis-

tances. Si maintenant on fait des *mesures* sur ce réel dont les lois foncières et stables sont simplement des lois de voisinage, il peut bien se faire qu'il y ait flottement dans le résultat de la mesure des grandeurs mesurées (indéterminisme quantitatif), encore que les lois de voisinage jouent sans défaillance (déterminisme ordinal).

Mais sans développer davantage cette vue philosophique, voyons enfin la définition du voisinage choisie par M. Jean-Louis Destouches comme base de l'*espace corpusculaire*. Deux corpuscules seront dits *voisins* s'ils se trouvent dans les mêmes conditions que deux éléments d'un noyau d'hélium. Et M. Destouches ajoute aussitôt (1) : « Ceci n'est pas indispensable, mais vient satisfaire au principe que les voisinages doivent être choisis en rapport avec les éléments physiques. » Enfin, condition supplémentaire qui n'est pas non plus indispensable, on supposera « qu'il n'y a qu'un nombre fini de corpuscules dans

(1) Jean-Louis Destouches, *loc. cit.*, p. 39.

le voisinage d'un corpuscule donné ». Cette limitation est très importante, car elle détruit axiomatiquement — c'est-à-dire radicalement — la richesse inépuisable de l'infiniment petit. Elle donne à la base *discontinue* de la constitution géométrique du réel une particulière netteté puisqu'elle défend, par voie de principe, toute intuition continue.

La brièveté du langage scientifique ne doit pas nous faire méconnaître l'extrême importance philosophique d'une telle méthode dans le choix des postulats de la Physique mathématique. Nous tenons ici le germe d'une pensée vraiment nouvelle, marquant d'un trait distinctif le nouvel esprit scientifique. En effet, la méthode de M. Destouches arrive à réserver à la fois la *liberté* qui doit présider au choix des axiomes dans une organisation de pensée abstraite et la *nécessité* de fonder une physique mathématique sur une base expérimentale. Jadis il semblait qu'il y eût une opposition vraiment métaphysique entre une formation axiomatique

et une formation expérimentale de la science, entre une convention et une expérience, entre une définition de mot et une définition de chose ; et voici qu'on nous propose une définition fondamentale qui peut être aussi bien dite à la fois axiomatique et expérimentale ! Comment mieux faire sentir le caractère essentiellement *abstrait-concret* du nouvel esprit scientifique ? Comment mieux montrer la marche nouvelle de l'esprit sur un axe qui va de l'abstrait au concret ? Comment mieux caractériser cette synthèse *a priori*, cette synthèse bivalente, qui concrétise des conventions dans le même temps où elle rationalise l'expérience ?

Naturellement un espace discret, comme l'espace corpusculaire proposé par M. Destouches, doit permettre de retrouver, moyennant certaines hypothèses, le monde euclidien à l'échelle macroscopique. Sans poursuivre plus loin le développement de cette tâche, on pourra prendre ailleurs certains exemples de constructions similaires. Ainsi, on pourra voir dans un

article du *Journal de Physique* (juillet 1934) par quelle voie, tout axiomatique et abstraite, M. Jean-Louis Destouches pose l'existence du *corps solide parfait à ϵ près, du corps élastique à ϵ près, du fluide à ϵ près*. Les définitions qui servent de base sont choisies d'accord avec les principes de la microphysique ; ce sont des définitions de *points* n'engageant aucune continuité initialement donnée. Elles n'engagent même pas la *continuité du temps*. Par exemple, la définition du centre de gravité d'un système de points matériels ne sera valable qu'aux instants, nécessairement séparés, où les points seront localisés, c'est-à-dire aux instants où l'on connaîtra la localisation. Le centre de gravité d'un tel système ne sera pas un point vraiment réel, quelle que soit pourtant son importance expérimentale ; ce sera, comme le dit très bien M. Destouches, un *point aléatoire*. En faisant fonds sur une telle définition, on se privera donc bien initialement de toute permanence, de toute constance, de toute forme *a*

priori, de tout déterminisme. On bornera l'effort à préparer un corps de définitions et de postulats, sans autre cohérence que la cohérence rationnelle. Voici alors la récompense de cet ascétisme de l'intuition : si l'on a réussi à évincer, au seuil de la construction scientifique, toutes les intuitions *particulières*, on va pouvoir classer correctement toutes les particularités de l'intuition sensible. Le mathématicien a saisi le réel à sa source : comme somme organique de possibilités. Désormais, il fera, à son gré, en variant certaines conditions d'ordre essentiellement mathématique, le solide parfait, le solide élastique, le fluide. Il n'a plus à s'instruire d'une manière contingente, au cours d'une exploration plus ou moins chanceuse. Il possède la clef de l'organisation nécessaire de toutes les contingences du réel.

En fait, les travaux de M. Jean-Louis Destouches réalisent une sorte de panoptologie abstraite. Dans sa thèse, il a pu réunir en un seul ensemble cohérent les principes d'une mécanique ponctuelle géné-

rale, puis ceux d'une mécanique ondulatoire générale. En étudiant les connexions de ces deux grandes organisations théoriques, M. Destouches en arrive à la conception la plus générale susceptible d'englober la pensée scientifique de notre temps. Il propose d'appeler cette conception physique générale la Métamécanique. Un autre nom lui conviendrait mieux, si Aristote et tous les philosophes n'étaient passés par là et n'avaient créé le mot vague avant de posséder la chose précise. C'est, en effet, dans le sens le plus précis du terme, la Métaphysique de la science contemporaine que vient de créer M. Jean-Louis Destouches. Cette métaphysique pourra être étendue, perfectionnée, absorbée par une construction plus générale. Elle ne pourra plus être supprimée car cette métaphysique est une mathématique et elle doit bénéficier de la pérennité de la pensée mathématique. Il n'y a qu'une manière de la contredire partiellement : c'est de l'achever.

V

Ainsi, à partir des travaux de la jeune école qu'inspirent l'enseignement et l'exemple de Louis de Broglie, en particulier à partir de la thèse de Jean-Louis Destouches, doit prendre naissance un nouveau rameau de la pensée humaine. C'est qu'une découverte nouvelle faite sur la structure de l'espace ou du temps entraîne toujours une réaction sur la structure de notre esprit. D'autres découvertes enrichissent l'édifice du savoir sans en modifier les bases. Au contraire, tout ce qui a égard aux conceptions de l'espace suggère d'autres méthodes pour construire le savoir. La découverte de l'Amérique n'apportait guère au savoir humain que quelques noms de fleuves et de montagnes, quelques raretés géographiques comme la chute d'un Niagara, au total, aucun événement spirituel. L'inférence corrélatrice que la Terre était ronde bouleversait ciel et pensée, cœur et raison.

De tels bouleversements étaient jadis

si rares qu'on pouvait bien parler de raison invariable. Kant, écrivant après deux mille ans de progrès monotones poussés dans la voie unique de la pensée euclidienne, pouvait bien, d'une manière assez légitime, prendre le cadre géométrique comme la forme *a priori* de la sensibilité externe. Le caractère indéfini de l'espace euclidien, son isotropie, son uniformité, son indifférence au peuplement, la possibilité d'y déplacer les objets sans qu'il en résulte une déformation, tout contribuait à légitimer l'emploi monotone d'un même cadre. Un espace, une expérience, une raison.

Mais voici que les « espaces » se multiplient et que l'expérience se divise : les façons de comprendre doivent se multiplier, la raison doit évoluer. En particulier une « révolution copernicienne » de l'abstraction doit être tentée. Comme l'esprit ne tire plus l'abstrait du concret, comme l'esprit est, au contraire, habilité à former directement l'abstrait, il est tout naturellement amené à *proposer* cet abstrait rationnel à l'expérience, bref, à *produire*

l'expérience sur des thèmes abstraits nouveaux. Cette *production* dépasse singulièrement en portée l'*induction* plus ou moins amplifiante. Elle renverse vraiment l'axe de la connaissance empirique. Elle conduit à substituer à la phénoménologie uniquement descriptive une phénoméno-technique qui doit reconstituer de toutes pièces ses phénomènes sur le plan retrouvé par l'esprit en écartant les parasites, les perturbations, les mélanges, les impuretés, qui foisonnent dans les phénomènes bruts et désordonnés. Pour cette mise en ordre qui touche tant d'éléments, qui rectifie et redresse tant de confusions et de dégénérescences, il ne faut pas s'étonner que l'esprit ait besoin de former des *espaces* plus complexes et mieux appropriés que l'espace où nous placions les objets familiers. Après une telle œuvre, l'*homo faber* est libéré de l'espace intuitif où s'acharnaient ses premiers gestes. Guidé par le nouvel esprit scientifique, soutenu par l'abstraction rationnelle, l'homme de pensée s'apprête à tout fabriquer, même l'espace.

TABLE DES MATIÈRES

	Pages
CHAPITRE PREMIER	
Réalisme et localisation.....	1
CHAPITRE II	
Le principe d'incertitude de Heisenberg et la localisation microphysique.....	31
CHAPITRE III	
Le principe de Heisenberg et la forme assignable aux corpuscules.....	70
CHAPITRE IV	
Les opérateurs mathématiques.....	85
CHAPITRE V	
Le rôle des espaces abstraits dans la Phy- sique contemporaine.....	109

Centre des Presses Universitaires de France. — Vendôme-Paris (France)

NOUVELLE ENCYCLOPÉDIE PHILOSOPHIQUE

1. LÉON BRUNSCHVICG
LES AGES DE L'INTELLIGENCE
2. GASTON BACHELARD
LE NOUVEL ESPRIT SCIENTIFIQUE
3. HENRI DELACROIX
LES GRANDES FORMES DE LA VIE MENTALE
4. C. BOUGLÉ
**BILAN DE LA SOCIOLOGIE FRANÇAISE
CONTEMPORAINE**
5. JEAN BARUZI
PROBLÈMES D'HISTOIRE DES RELIGIONS
6. D. PARODI
EN QUÊTE D'UNE PHILOSOPHIE
7. RAYMOND ARON
LA SOCIOLOGIE ALLEMANDE CONTEMPORAINE
8. V. JANKÉLÉVITCH
L'IRONIE
9. V. FELDMAN
L'ESTHÉTIQUE FRANÇAISE CONTEMPORAINE
10. P. SARTRE
L'IMAGINATION
11. P. QUERCY
LES HALLUCINATIONS
12. L. BOURJADE
L'INTELLIGENCE ET LA PENSÉE DE L'ENFANT
13. R. RUYER
LA CONSCIENCE ET LE CORPS

Chaque volume : 10 francs

G.E. STECHERT & Co.
(ALFRED HAFNER)