

BIBLIOTHÈQUE DE PHILOSOPHIE CONTEMPORAINE
FONDÉE PAR FÉLIX ALCAN

INTRODUCTION A
**L'ÉPISTÉMOLOGIE
GÉNÉTIQUE**

PAR

JEAN PIAGET

PROFESSEUR À LA FACULTÉ DES SCIENCES
DE L'UNIVERSITÉ DE GENÈVE

TOME II
LA PENSÉE PHYSIQUE



**PRESSES UNIVERSITAIRES
DE FRANCE**

INTRODUCTION À
L'ÉPISTÉMOLOGIE
GÉNÉTIQUE

JEAN PIAGET

PROFESSEUR A LA FACULTÉ DES SCIENCES
DE L'UNIVERSITÉ DE GENÈVE

TOME II

LA PENSÉE PHYSIQUE

PRESSES UNIVERSITAIRES DE FRANCE

108, BOULEVARD SAINT-GERMAIN, PARIS

1950

DEUXIEME PARTIE

LA PENSÉE PHYSIQUE

Selon L. Brunschvicg il n'y a pas de solution de continuité entre la connaissance mathématique et la connaissance physique : toutes les deux supposent la même collaboration entre la raison et l'expérience, collaboration si étroite d'ailleurs qu'aucun des deux termes du rapport ne saurait être conçu sans l'autre. Selon F. Gonseth, de même « il n'y a point de seuil à franchir pour passer de la géométrie à la physique »¹. Pour E. Meyerson, au contraire, il reste ce fait que, si le mathématicien n'a pas besoin de l'expérience pour croire à la rigueur de ses raisonnements, le but de la physique est l'accord des théories avec le réel lui-même : « il y a donc, à ce point de vue, une distinction fondamentale entre les mathématiques et la physique »². Mais, selon Meyerson, les « choses » poursuivies par le physicien reculent au fur et à mesure qu'il croit les saisir, parce qu'il substitue sans cesse une réalité plus profonde à celle dont il forme le projet de la mesurer et de l'expliquer. Selon les partisans de l'épistémologie unitariste viennoise, il existe aussi une différence essentielle entre la connaissance expérimentale ou physique et ce simple langage tautologique que constituent les mathématiques ; mais, selon P. Frank, les principes physiques les plus généraux, dont il loue Poincaré d'avoir aperçu le caractère « conventionnel », se réduisent tôt ou tard à de simples tautologies, autrement dit à des canons mathématiques³.

Dès le premier contact avec les épistémologies physiques,

¹ F. GONSETH, *Les fondements des mathématiques*, p. 115.

² *Le cheminement de la Pensée*, p. 391.

³ Ph. FRANK, *Le principe de causalité et ses limites*. Paris (Flammarion).

on se trouve donc en présence de cette difficulté extrêmement instructive de la délimitation entre la physique et les mathématiques : ou l'on réduit les deux domaines à un seul, ou l'on s'attache à les distinguer, mais sans atteindre une frontière statique. En fait, chacun s'accorde à reconnaître la nécessité de l'expérimentation en physique et l'inutilité du laboratoire pour l'édification des mathématiques (soit que l'on nie le rôle de l'expérience en cette discipline soit que l'expérience y demeure considérée comme à la fois trop facile et trop vite dépassée par la déduction) ; mais, pour caractériser la différence entre l'expérience physique et la construction mathématique, on en est réduit à invoquer une limite mobile.

Ce problème de frontière devient particulièrement aigu lorsqu'il s'agit de faire place, dans le système des sciences, à une géométrie de l'espace réel, ou géométrie physique, par opposition à la géométrie déductive et axiomatique. Cette géométrie du réel devrait exister pour deux raisons complémentaires. L'une est que les axiomaticiens eux-mêmes comme Hilbert, en rejetant l'élément intuitif hors de la géométrie axiomatique, en appellent à une géométrie physique : « La géométrie n'est, en effet, que cette partie de la physique qui décrit les relations de position des corps solides les uns avec les autres dans le monde des choses réelles »¹. L'autre raison est que les schémas spatiaux construits par la déduction sont divers, et incompatibles entre eux s'il s'agit de les appliquer aux mêmes objets : le problème se pose naturellement alors de savoir si tel ou tel secteur de la réalité physique comporte une structure euclidienne ou non, à trois dimensions ou à plus, etc. Et effectivement, malgré les affirmations de Poincaré sur l'absence de signification de tels problèmes, jugés par lui réductibles à de pures questions de langage, les physiciens les ont soulevés et résolus par l'expérience, jusqu'à plus ample informé. Mais existe-t-il pour autant une géométrie expérimentale, à côté de la géométrie déductive ? Peut-on, autrement dit, isoler un chapitre de la physique, qui serait consacré à la seule détermination de l'espace réel, et que l'on mettrait en tête des exposés systématiques, avant l'introduction des notions de masse et de force ? Chacun sait au contraire que le problème de l'espace réel ne peut être détaché des questions de vitesses, de masses et de champs de force et que, pour déterminer « les relations

¹ HILBERT, *La connaissance de la nature et la logique*, Enseignement math., t. 30 (1931), p. 29.

de position des corps solides les uns avec les autres dans le monde des choses réelles » comme le demande Hilbert, ou pour s'assurer, comme le voulait Gauss, si la somme des angles d'un triangle géodésique ou astronomique est égal ou non à deux droits, les mesures à effectuer mettent en jeu presque toute la physique au lieu de pouvoir la précéder. Einstein lui-même, qui a opposé avec le plus de lucidité la géométrie de l'axiomatique à celle du monde réel, parle de « physique géométrique » et non pas de « géométrie physique », ce qui est une nuance appréciable. Lorsque G. Bachelard intitule un de ses beaux ouvrages « L'expérience de l'espace dans la physique contemporaine », il montre, d'autre part, combien la détermination de l'espace microphysique dépend de l'ensemble des caractères proprement physiques de ce nouvel univers récemment ouvert à nous. Bref, c'est directement que le système des opérations mathématiques se relie à la réalité physique toute entière, et non pas par l'intermédiaire de domaines-tampons, qui n'appartiendraient en propre ni à l'un ni à l'autre des terrains délimités.

Mais il y a plus. Si la géométrie de l'espace réel plonge d'emblée en plein dans l'ensemble de la physique, les parties les plus générales de la physique sont devenues entièrement déductives et donnent lieu à des formalisations analogues à celles des mathématiques. La mécanique rationnelle constitue une telle structure formalisée et l'on peut construire, à côté de l'axiomatique de la mécanique newtonienne, l'axiomatique des mécaniques non-newtoniennes. Les transformations qui interviennent en ces mécaniques relèvent de la théorie des groupes comme les substitutions algébriques et les transformations géométriques et, au groupe de la cinématique galiléenne, on peut substituer celui de Lorentz et construire, comme l'a fait la théorie de la relativité restreinte, une cinématique abstraite non galiléenne¹. La mécanique non plus ne saurait donc fournir de frontière immobile entre les mathématiques et la physique, car, bien que ces notions empruntent manifestement quelques éléments à l'expérience, elle est rigoureusement mathématisable.

Et cependant l'assimilation complète des deux disciplines est impossible, malgré la physicalisation de l'espace réel, répondant à la géométrisation de la gravitation, et malgré la mathématisation toujours plus poussée de la mécanique et des larges domaines qu'elle commande. En effet, au fur et à mesure

¹ F. GONSETH, *Les fondements des mathématiques*, p. 115.

que l'on s'éloigne des questions mécaniques pour s'avancer sur le terrain des phénomènes irréversibles, où interviennent le mélange et le hasard, cette belle ordonnance fait place à des recherches où l'attitude d'esprit est toute différente. Le calcul est toujours possible et la déduction, désormais probabiliste, joue un rôle toujours essentiel, mais l'expérience n'est plus devancée au même point par des théories qu'elle confirmerait pour ainsi dire en bloc : elle intervient à chaque pas, et constitue le vrai fil conducteur de la pensée et non plus simplement son contrôle. Bien plus, elle impose les révisions souvent les plus fondamentales de nos concepts courants et l'application imprévue d'instruments mathématiques non destinés primitivement à cet emploi. Dans le domaine physico-chimique, enfin, et notamment sur les terrains limitrophes de la biologie, en toute cette région d'avenir si prometteur que constituent la physique et la chimie biologiques ainsi que les confins de la microphysique et de l'étude du vivant, la connaissance ne procède plus qu'à coup d'expérimentations toujours tâtonnantes, inspirées mais non dirigées dans le détail par des hypothèses théoriques encore hésitantes.

Bref, si la pensée physique procède, au départ, de la pensée mathématique, sa courbe s'infléchit néanmoins très progressivement et ne peut plus, du point de vue des directions d'ensemble de la pensée scientifique, être considérée comme suivant une orientation simple ni surtout rectiligne. Avec les mathématiques, nous sommes en présence d'une telle vexion élémentaire : assimilation de l'objet aux schèmes opératoires du sujet, par libre construction de ceux-ci et réduction de la vérité aux lois de composition des opérations elles-mêmes. Avec la biologie, la situation sera presque totalement renversée : l'expérience constituera presque le seul moyen de connaissance et la déduction se trouvera ramenée à la portion la plus congrue. Mais, par un paradoxe dont nous chercherons à dégager la portée, la réalité biologique qui échappe ainsi à la déduction, se trouvera être en retour celle-là même d'où procèdent la vie mentale, et par conséquent, avec elle, la déduction logico-mathématique elle-même ! La pensée physique se situe, pour sa part, dans une position intermédiaire. Elle est, comme les mathématiques, une assimilation du réel à des schèmes opératoires, dont les plus généraux donnent encore lieu à des constructions déductives valables (en plus de leur accord avec l'expérience) par leur cohérence intrinsèque. Mais, par ailleurs, cette forme de connaissance se trouve aux prises avec des réalités tou-

jours plus complexes et par conséquent plus difficilement assimilables : d'où un renversement graduel de la situation aux dépens de la déduction et au profit de l'expérience. Pensée essentiellement attachée au réel, la pensée physique se trouve ainsi osciller entre deux pôles : celui où l'objet se dissout dans les opérations du sujet, et celui où ces opérations sont au contraire soumises à des modifications de plus en plus profondes pour être en mesure de se réadapter sans relâche à un objet qui se déplace et change de nature au fur et à mesure que ses apparences s'évanouissent.

La pensée physique pose donc à l'épistémologie génétique un problème essentiel de développement. Le prodigieux renouvellement des notions qu'a provoqué l'étude des phénomènes aux grandes et aux petites échelles — de la théorie de la relativité à la microphysique contemporaine — soulève, en contredisant nos intuitions les plus courantes et apparemment les plus fondamentales, une série de questions psychogénétiques du plus haut intérêt. La principale en est sans doute celle des relations entre la connaissance et l'action effective, exercée par l'expérimentateur sur la réalité. Quelqu'inquiétude que puisse éprouver le psychologue ou l'épistémologiste en présence des techniques si raffinées de la science actuelle qu'il lui est devenu impossible de comprendre dans le détail, il lui importe à tout prix de relier les transformations des concepts en usage dans la connaissance physique, à la genèse même des notions correspondantes, de manière à saisir le processus d'adaptation de la pensée à l'objet matériel.

CHAPITRE IV

NATURE DES NOTIONS CINEMATQUES ET MECANIQUES : LE TEMPS, LA VITESSE ET LA FORCE

Les notions mathématiques nous sont apparues comme dues aux coordinations générales de l'action, par opposition aux actions particulières qui différencient les objets les uns des autres et conduisent ainsi à abstraire leurs propriétés à titre de données physiques. Mais puisque les actions spécialisées doivent être coordonnées entre elles, comme les plus générales, tout cadre mathématique comporte un contenu physique possible, même si le cadre dépasse ce contenu, et toute notion physique constituée est relative à une coordination mathématique. C'est pourquoi nous venons de voir combien est mobile la frontière entre le physique et le mathématique.

Les notions cinématiques et mécaniques posent à cet égard un problème d'un grand intérêt. On a assez constamment lié le sort épistémologique du temps à celui de l'espace, et Kant en particulier a réuni l'une à l'autre ces deux notions à titre de formes *a priori* de la sensibilité. Or, nous savons aujourd'hui combien plus complexe est leur relation, du fait de la dissociation de l'espace en un cadre mathématique et en un espace physique. C'est l'espace physique qui est solidaire du temps, et de façon bien plus intime encore qu'on ne le supposait, puisque tous deux dépendent des vitesses. Quant à l'espace mathématique, il est indépendant du temps. Mais on peut se demander cependant pourquoi il demeure seul de son espèce et ne correspond pas à un temps mathématique pur ? À vouloir axiomatiser ce dernier à titre de simple cadre on ne trouverait, en effet, qu'un cas particulier de variété spatiale : celle d'un continu unidimensionnel, avec ses propriétés topologiques. Par contre, à vouloir introduire la simultanéité autrement que par coïncidence ponctuelle et à chercher à définir une mesure tem-

porelle, on soulèverait aussitôt les questions de vitesse qui sont d'ordre physique. Mais pourquoi donc la vitesse et le temps sont-ils de caractère physique, tandis qu'il existe un espace mathématique ? En d'autres termes, pour quelle raison la construction des notions cinématiques supposent-elles une abstraction à partir de l'objet, tandis que l'on peut construire un espace par coordinations d'actions en n'abstrayant les éléments nécessaires à la construction que du mécanisme de cette coordination même ? Tel est l'un des problèmes à examiner en ce chapitre.

Il s'en ajoute bien d'autres. Par opposition aux coordinations générales de l'action, d'où procèdent la logique, le nombre et l'espace, les actions particulières intervenant dans la construction des notions de temps, de vitesse et de force semblent contenir déjà ces réalités à titre d'expérience subjective : il existe une durée intérieure, une expérience kinesthésique de la vitesse et surtout un sentiment de la force musculaire propre, tandis que, si la logique et le nombre sont manifestement liés à notre activité, l'espace paraît plus éloigné de notre nature psychique que le temps. Il y a donc paradoxe à rattacher le temps à l'objet et l'espace au sujet, et il semblerait que dans une épistémologie génétique fondée sur l'analyse de l'action, le temps, la vitesse et la force dussent émaner directement de l'activité du sujet. Mais ici surgit une nouvelle question : en quoi consiste l'« expérience intérieure » et quelles sont ses relations avec l'activité du sujet, qui est à la source des coordinations logico-mathématiques ?

§ 1. POSITION DU PROBLÈME. — Les notions physiques, et spécialement les notions cinématiques et mécaniques que nous étudierons dans ce chapitre, posent donc à l'épistémologie génétique un problème correspondant particulièrement à ses méthodes ; problème aussi ancien, sous sa forme classique, que la théorie de la connaissance elle-même, mais qui se renouvelle une fois traduit en termes de genèse réelle. Les notions physiques proviennent-elles de l'expérience seule — externe ou interne — ou supposent-elles une élaboration déductive, et de quel type ? Telle est la forme traditionnelle de la question. Mais, comme les notions de temps, de vitesse, de force, etc., qui constituent le point de départ de la construction physique, sont des concepts utilisés par le sens commun bien avant de devenir scientifiques, le problème de leur formation a été déplacé sur le terrain de la pensée spontanée : Hume, pour l'ex-

périence surtout extérieure, Maine de Biran pour l'expérience interne, Descartes, Leibniz et Kant lui-même pour ce qui est du rôle de l'élaboration rationnelle, remontent jusqu'à l'analyse de l'esprit en général, et pas seulement de la pensée scientifique, lorsqu'ils cherchent à fonder leur théorie de la connaissance physique. Brunschvicg et Meyerson, malgré leur appel constant à l'histoire des sciences, en viennent tôt ou tard à recourir aux mêmes sources (cf. ce que le premier appelle « théorie intellectualiste de la perception » et le second « le cheminement de la pensée ») et un positiviste strict comme Ph. Frank est bien obligé de s'occuper lui aussi de la pensée spontanée pour pouvoir expliquer comment la science « coordonne des symboles aux données immédiates »¹. Mais, tandis que, sur le terrain de la pensée scientifique, chacun s'astreint, avec raison, à suivre de la manière la plus exacte les démarches du processus intellectuel, on se croit dispensé de toute exigence méthodologique précise dès qu'il s'agit de la pensée commune, parce qu'on s'imagine la connaître suffisamment sur soi-même. Or l'introspection est loin de nous renseigner sur les points essentiels. Elle ne saurait juger ni de l'apport respectif de l'expérience et de la déduction dans l'élaboration des notions cinématiques et mécaniques initiales, ni même de la manière dont les structures logiques et mathématiques élémentaires (p. ex. le rapport entre le temps et l'espace parcouru, dans le cas de la vitesse) s'appliquent au donné. Tant la lecture comme telle de l'expérience que sa structuration logico-mathématique donnent, en effet, lieu à des processus infiniment plus complexes que la conscience achevée ne le suppose, et seule une comparaison systématique entre la psychogenèse des notions et leur développement dans les sciences peut aboutir à des conclusions épistémologiques valables.

Cherchons donc à classer les solutions possibles quant à la formation des notions cinématiques et mécaniques, et en des termes tels que l'on puisse répondre aussi bien sur le terrain de la psychogenèse réelle que sur celui de l'évolution de la pensée scientifique.

Une première solution classique consiste à attribuer toute connaissance physique à l'expérience extérieure. Mais que signifie une telle hypothèse ? On a maintes fois montré que la lecture d'une expérience de laboratoire est loin de se réduire

¹ Ph. FRANK, *Le principe de causalité* (Flammarion. Trad. DUPLESSIS DE GRENEGAN).

à la simple constatation d'un donné immédiat. Pour nous en tenir ici aux notions cinématiques de sens commun, il est clair que déjà les seuls relevés d'un déplacement, d'une vitesse (uniforme ou accélérée), d'une durée ou de l'instant précis du passage d'un objet devant un élément de référence impliquent un monde de coordinations antérieures et même d'interprétations. Les opérations physiques les plus élémentaires supposent ainsi un ensemble de postulats qu'il serait possible de dégager et de formaliser à des degrés divers ¹. Or, à comparer la complexité de ces opérations, lorsqu'elles sont physiquement effectuées, à la simplicité des mêmes opérations lorsqu'elles sont pensées mathématiquement, on saisit le caractère chimérique et insoutenable de toute interprétation fondée sur le « donné immédiat ». Rien n'est plus aisé p. ex., que d'introduire géométriquement l'idée de congruence entre deux longueurs, parce que cette notion s'abstrait directement, non pas des objets congruents, mais des actions coordonnées du sujet consistant à superposer les objets les uns aux autres et à relier ces égalisations par un jeu de substitutions transitives (même si égalisations et substitutions demeurent physiquement approximatives). Que si, au contraire, il s'agit d'une mesure physique des longueurs, alors surgissent quantité de problèmes nouveaux et étrangers à la pensée mathématique : comment s'assurer que le segment de droite matériel conserve sa longueur au cours du déplacement et quels sont les caractères d'une tige indéformable ? Comment être certain de l'homogénéité de l'espace et de son isotropie ? À quelles conditions cet espace physique pourra-t-il être pourvu d'éléments de référence ? Quel est le rôle du « travail » accompli pour effectuer le déplacement ? Etc., etc. À quel prix est-il alors légitime de constituer une suite de congruences transitives, qui seront physiquement successives dans le temps ?

Or, si chaque contact avec un fait extérieur requiert de la sorte un système singulièrement complexe de rapports interdépendants, excluant toute immédiateté, les partisans de l'empirisme externe s'en tirent en supposant que les notions cinématiques ou mécaniques, quoique se compliquant en fonction de la précision acquise en laboratoire, résultent simplement de l'affinement de notions grossières que le sens commun aurait directement emprunté au réel au cours de l'expérience quoti-

¹ C'est ce que se propose de faire E. Stuckelberg dans un ouvrage qui paraîtra prochainement.

dienne. C'est ici que chacun se croit permis de se livrer à des reconstitutions conjecturales de la genèse, selon l'aspect des choses qui le frappe davantage en sa connaissance toute formée. Or, l'analyse systématique de la psychogenèse des notions, au cours du développement de l'enfant, met au contraire en évidence un fait d'une importance épistémologique décisive : c'est que le contact avec l'objet et avec le « fait » expérimental est bien plus difficile encore au point de départ de l'évolution mentale qu'aux stades supérieurs et que, plus une pensée est primitive, moins elle est près du simple « donné ». Tous les problèmes que soulève la lecture de l'expérience au niveau de la pensée scientifique se retrouvent ainsi sous une forme embryonnaire au point de départ de l'élaboration des notions et c'est sur ce terrain que l'examen des hypothèses empiristes est par conséquent le plus nécessaire. Dès les débuts, la connaissance est, en effet, non pas constatation de rapports tout préparés, mais *assimilation* de l'objet à l'activité propre et construction de relations en fonction de cette assimilation, d'abord déformante puis peu à peu équilibrée avec une accommodation complémentaire des schèmes d'assimilation au réel. C'est donc cette assimilation qu'il s'agit d'analyser, dès ses phases initiales et jusqu'à cette assimilation rationnelle que constitue la pensée physique élaborée.

Mais alors, si la connaissance physique procède d'une assimilation des objets aux divers modes d'activité du sujet, l'analyse génétique ne confirmera-t-elle pas simplement une seconde solution classique, celle qui dérive les notions élémentaires de l'« expérience intérieure » ? Tant les positivistes contemporains, qui réduisent, depuis Mach, le donné immédiat à des sensations ou perceptions, que Maine de Biran, jadis, dans son essai pour fonder la notion de force et celle de cause elle-même sur l'effort volontaire et les aperceptions du « sens intime », nous donnent l'exemple d'un recours possible à la réalité subjective (interprétée selon toutes les nuances, les plus ou les moins métaphysiques).

Or, bien plus encore que la première, cette seconde solution exige une discussion portant simultanément sur l'histoire des sciences et la psychogenèse des notions. C'est à l'histoire de la pensée scientifique à nous montrer si les éléments subjectifs, dont effectivement les notions cinématiques et mécaniques ont souvent porté la trace, ont vu leur importance grandir ou diminuer au fur et à mesure des progrès de la physique. Mais cette argumentation ne saurait suffire, car, à supposer même

une élimination de plus en plus radicale de toute adhérence subjective au cours de leur évolution, des notions physiques comme celles de temps, de vitesse ou de force, pourraient avoir été tirées de simples lectures de l'expérience interne du sujet ; on se serait alors borné à épurer et à formaliser ensuite ce qui était d'abord pure constatation introspective.

Seulement, comme nous allons le voir, l'analyse génétique fournit ici une réponse aussi défavorable pour l'empirisme de l'expérience intérieure que pour celui de l'expérience extérieure, et, ce qui est plus important encore, elle met en évidence, dès les stades les plus élémentaires, la dualité essentielle qui oppose l'une à l'autre la subjectivité, en tant que prise de conscience égocentrique, et l'activité du sujet en tant que coordination opératoire décentrant l'action propre pour l'adapter à l'objet. Dès les questions de simple genèse des notions, jusqu'aux interprétations de la théorie de la relativité, c'est sans doute la confusion de cette subjectivité égocentrique et de cette activité coordinatrice du sujet qui a pesé le plus lourdement sur les discussions des épistémologies : ou la physique s'installe dans l'objet comme tel, ou elle ne traduit que les impressions du sujet, tel est le faux dilemme dans lequel s'enferment comme à plaisir nombre de bons esprits. Or l'analyse de la genèse réelle des concepts montre tout autre chose. Naissant de l'action exercée par le sujet sur les objets, les notions physiques élémentaires sont dès l'abord assimilation des faits à cette activité. Cette assimilation est alors déformante, dans la mesure où il s'agit d'actions non suffisamment coordonnées entre elles et où le sujet n'en prend qu'une conscience partielle et inadéquate : d'où l'égoïsme des notions primitives, source de la « subjectivité » qui sera éliminée au cours de leur évolution ultérieure. Mais dans la mesure où les actions se coordonnent et se groupent entre elles, l'activité du sujet ainsi renforcée, et non pas diminuée, donne lieu à une assimilation à des schèmes non plus déformants, mais adéquats aux objets en fonction même des coordinations dans lesquelles ces derniers se trouvent intégrés. Ainsi l'objectivité croissante des notions est due à une plus grande activité du sujet que la subjectivité égocentrique initiale, et c'est ce qui produit le malentendu habituel. Le sujet est d'autant plus actif qu'il parvient davantage à se décentrer, ou, pour mieux dire, sa décentration est la mesure même de son activité efficace sur l'objet : c'est pourquoi, le progrès de la connaissance revenant simultanément à éliminer la subjectivité égocentrique et à accroître l'activité coordina-

trice du sujet, il est impossible, à aucun niveau, de séparer l'objet du sujet. Seuls existent les rapports entre eux deux, mais ces rapports peuvent être plus ou moins centrés ou décentrés et c'est en cette inversion de sens que consiste le passage de la subjectivité à l'objectivité.

Telle est l'hypothèse que nous allons chercher à vérifier sur le double terrain de la genèse et de l'histoire des notions. C'est donc dans une troisième direction classique que nous nous engageons : la connaissance physique n'est due ni à la seule expérience extérieure ni à la seule expérience interne mais à une union nécessaire entre les structures logico-mathématiques, nées de la coordination des actions, et les données expérimentales assimilées à elles. Mais en quoi consiste cette union indissociable de la déduction et de l'expérience ? Ici encore trois possibilités subsistent, entre lesquelles un choix légitime ne peut que se fonder simultanément sur la psychogenèse et sur l'analyse des sciences.

Première interprétation, due entre autres à Comte et aux néo-positivistes actuels : la déduction logique ou mathématique se réduit à un calcul, à un langage ou même à une syntaxe, destinés à énoncer et à anticiper les faits comme tels, en tant que donnés dans l'expérience. Mais la grande leçon de l'analyse génétique est précisément que, même sur le terrain le plus présicientifique et le plus embryonnaire, il n'existe pas de donné immédiat : il ne saurait donc y avoir de faits antérieurement aux liaisons qui les coordonnent ; que ces coordinations soient sensori-motrices ou mentalisées à des degrés divers, elles comportent déjà, (comme nous l'avons vu au cours des chap. I-III) un élément logico-mathématique, actif, réflexif ou formalisé.

Une seconde possibilité est alors l'interprétation *a priori* : l'élément déductif propre à la connaissance physique consisterait en cadres tout faits et inscrits d'avance dans l'esprit, et le donné expérimental viendrait les remplir après coup. Mais l'étude des faits génétiques montre au contraire que, durant les phases initiales de formation des notions, le cadre se construit en corrélation avec l'organisation de son contenu et consiste en cette organisation elle-même. D'une part, les coordinations générales de l'action qui constituent, nous l'avons vu, le point de départ des formes logico-mathématiques, ne se structurent et ne s'affinent qu'au fur et à mesure de leur exercice, c'est-à-dire à propos seulement des actions spécialisées (donc physiques) qu'il s'agit de coordonner entre elles. Il en résulte que, avant 11-12 ans, il n'existe même pas, chez l'enfant,

de logique formelle applicable indifféremment à tout mais que les divers types de raisonnements (p. ex. $A = B$; $B = C$ donc $A = C$ ou $A < B$; $B < C$ donc $A < C$, etc.) doivent être reconstruits à l'occasion de chaque notion nouvelle qu'il s'agit d'élaborer (quantité de matière, poids, volume, etc.)¹. D'autre part, il n'existe pas de donnée expérimentale qui ne suppose, ne fût-ce que pour sa lecture même, une coordination logico-mathématique (de n'importe quel niveau, fût-ce sensori-moteur) à laquelle cette donnée est nécessairement relative.

L'analyse génétique nous conduira donc à vérifier une troisième hypothèse, qu'admet à son tour l'histoire de la pensée scientifique : les réalités expérimentales et les coordinations logico-mathématiques s'élaborent en fonction les unes des autres selon un double mouvement d'extériorisation et d'intériorisation se conformant au même processus d'ensemble. Or, ce processus n'est autre que la décentration graduelle dont il a été question à l'instant. Les connaissances physiques initiales naissent d'actions relativement isolées, reliant directement l'objet au sujet et n'appréhendant ainsi l'objet que sous son aspect le plus extérieur et le plus phénoméniste, tandis que les rapports le reliant au sujet demeurent égocentriques, c'est-à-dire relatifs à l'activité propre momentanée. Le progrès de la connaissance physique revient au contraire à coordonner les actions entre elles en les rendant relatives au système d'ensemble dont elles deviennent chacune une transformation parmi d'autres (l'équilibre de la coordination entre actions étant atteint lorsque leur composition atteint l'état réversible, ce qui leur confère le rang d'opérations). Or, cette coordination consiste en une décentration des actions initiales, et cela en deux sens complémentaires. D'une part, dans la mesure où les actions se coordonnent, le sujet se détache de son point de vue égocentrique, parce que chacune de ses actions est alors insérée dans un système qui l'englobe : l'activité coordinatrice l'emporte ainsi sur l'action directe liée à l'objet, et cette activité coordinatrice s'intériorise ou se « réfléchit » en des schèmes opératoires d'autant mieux structurés ou formalisés qu'ils s'éloignent davantage des actions concrètes immédiates. Réciproquement l'objet s'extériorise et s'objective d'autant plus qu'il est désormais assimilé aux coordinations générales de l'action ou de la pensée, et non plus à l'activité propre momentanée. Ainsi

¹ Voir PIAGET et INHELDER, *Le développement des quantités chez l'enfant*, Delachaux et Niestlé, 1941.

l'égocentrisme et le phénoménisme réunis des débuts se dissocient en une double coordination, interne ou réfléchie en structures logico-mathématiques, et externe ou déployée en opérations physiques. C'est cette décentration générale qui, se prolongeant au cours de l'histoire de toute la mécanique elle-même, extériorise l'objet en le détachant de l'anthropomorphisme, mais l'assimile en retour à des structures mathématiques d'autant mieux intériorisées qu'elles ont été formalisées dans un sens contraire à l'intuition empirique.

Exprimé plus simplement, le processus que nous allons décrire revient donc à dire que la physique se désanthropomorphise, donc se libère du sujet égocentrique pendant que la mathématique se déconcrétise, donc se libère de l'objet apparent, et que, cependant, elles s'ajustent d'autant mieux l'une à l'autre qu'elles s'engagent ainsi en sens contraires. L'explication habituelle consiste alors à dire que le progrès formel de l'une est simplement le résultat d'une schématisation ou d'une formulation plus abstraite des progrès expérimentaux de l'autre. En réalité, il s'agit au contraire d'une extériorisation et d'une intériorisation complémentaires, dues au fait que les actions physiques spécialisées entrent d'autant plus avant dans le réel que leurs coordinations logico-mathématiques sont plus activement structurées par le sujet, grâce à une intériorisation qui les généralise en les dégageant du concret,

§ 2. LA GENÈSE DES INTUITIONS TEMPORELLES. — Lorsque la théorie de la relativité eût ébranlé l'intuition, que l'on avait cru primitive, de la simultanéité à distance, on assista à d'intéressantes discussions entre les défenseurs du sens commun et les auteurs qui contribuaient à l'approfondissement de l'une des notions les plus fondamentales de notre représentation de l'univers. H. Poincaré déjà avait montré en des pages lumineuses que nous n'avons pas, en réalité, l'intuition de la simultanéité ; cette notion se construit grâce à un ensemble de rapports impliquant bien d'autres concepts physiques et le souci inconscient de rendre le monde extérieur le plus simple possible. D'autre part, H. Bergson avait donné du temps psychologique une analyse de nature à faire réfléchir sur la complexité des notions temporelles et à préparer sur plus d'un point les conclusions des relativistes. Cependant, par une réaction paradoxale évidemment due à son désir de maintenir hétérogènes le vital et l'inorganique, Bergson chercha à s'opposer à cette extension du temps bergsonien à la physique elle-même et se fit

le défenseur de la cinématique classique ! En effet, si la vitesse de la lumière constitue un absolu, auquel se réfère le calcul des autres vitesses et par conséquent des durées, on ne peut plus dire, comme Bergson l'avait soutenu, que les phénomènes matériels demeureraient les mêmes en multipliant toutes les vitesses selon un coefficient commun, par contraste avec les phénomènes vitaux et surtout mentaux, qui seraient liés à un rythme absolu.

Il est donc indispensable de remonter aux sources des intuitions du temps pour comprendre les formes plus évoluées qu'a prises ce concept. Cette recherche s'impose même à deux points de vue : il s'agit, d'une part, de dégager si l'idée de temps est première, par rapport à celle de vitesse, ou si la relation inverse s'impose dès le début comme aux grandes échelles envisagées par la théorie de la relativité ; il importe, d'autre part, de déterminer les rapports initiaux entre le temps et l'espace, rapports qui seront naturellement autres selon que la vitesse prime le temps dès l'abord ou que le temps correspond à une intuition primitive.

Commençons par un point de méthode. On trouve chez la plupart des auteurs la même attitude méthodologique un peu surprenante que nous avons déjà constatée à propos de l'espace : on part de l'adulte seul, et, pour atteindre les éléments primitifs, on étudie simplement les racines sensorielles externes ou internes des relations en cause, comme si les cadres perceptifs n'avaient pas pu se transformer au cours du développement individuel sous l'influence de l'intelligence ; après quoi on saute directement de la perception à la pensée, comme s'il n'intervenait pas entre deux un ensemble de constructions dues à l'intelligence sensori-motrice, à l'intelligence intuitive ou prélogique et aux opérations concrètes. Or, seule l'investigation méthodique de l'évolution de la pensée chez l'enfant peut nous donner quelque notion précise sur ces paliers intermédiaires entre la perception et la pensée et sur le passage de l'action à la réflexion. Il est vrai que, si de nombreux auteurs négligent l'action au profit de la perception et de la pensée formalisée, ce n'est pas un reproche que l'on pourrait adresser à Bergson, puisque toute son épistémologie est fondée sur l'action : action sur les solides pour ce qui est des notions logico-mathématiques, et action vécue pour ce qui est de la durée mentale et biologique. Seulement, la série des antithèses trop poussées inspirées par sa métaphysique (entre la matière et la vie, l'instinct et l'intelligence, etc.) l'ont empêché de voir que toute action comporte

une logique, en fonction non pas des objets auxquels elle s'applique, mais de la coordination même des actes : le schématisme des actions, qui est à la source de toute pensée, s'oppose ainsi à toute distinction radicale entre l'intuitif et l'opérateur, et notamment entre le temps vécu et le temps construit par l'intermédiaire de nos actions sur la matière. Bergson a fort bien vu le rôle de l'*Homo faber* dans la formation de la raison, mais il a restreint la portée de celle-ci comme de celui-là, faute d'avoir cherché leur origine commune dans l'intelligence sensori-motrice elle-même, qui assure la continuité entre l'assimilation intellectuelle et les réflexes vitaux les plus fondamentaux.

Si nous nous dégageons à la fois de la philosophie bergsonienne et de l'intellectualisme étroit ne connaissant que perceptions et pensée, nous chercherons à retracer la genèse du temps, comme celle de toutes les autres catégories essentielles, sur le terrain de l'action élémentaire, mais nous pourrions bien nous y trouver alors en contradiction avec l'hypothèse d'une intuition primitive de la durée. L'action consiste, en effet, en coordinations motrices ; c'est en fonction de ces mouvements, de leur ordre de succession et de leur rythme (ou de la régulation de leurs vitesses), que vont donc se poser les deux problèmes centraux de la genèse du temps : celui des rapports entre le temps et la vitesse et celui des relations entre le temps et la coordination spatiale. Mais ils se poseront dans les termes suivants. L'expression métrique de la vitesse, soit $v = e/t$, présente cette notion comme consistant en un rapport, construit entre deux termes simples, l'espace parcouru et la durée ; ces termes du rapport sont eux-mêmes conçus comme mesurables, mais surtout comme donnés à l'état d'intuitions premières, et non pas de relations. D'où la symétrie ou la correspondance étroite que l'on a toujours établie entre le temps et l'espace, et que Bergson reprend sous la forme d'une antithèse entre le temps intérieur, objet d'une intuition vécue ou directe, et l'espace extérieur, produit de nos actions sur l'objet matériel. Seulement si le temps est lié aux actions élémentaires, donc aux coordinations motrices les plus primitives, sources de toute activité mentale, le problème se complique du fait que la vitesse intervenant dans le rythme ou la cadence des mouvements, ne saurait consister d'emblée en un rapport métrique : faut-il dès lors considérer comme le fait premier le temps, ou la vitesse elle-même ? Existe-t-il, autrement dit, une intuition de la vitesse précédant ou accompagnant celle du temps, ou bien l'intuition de la durée commande-t-elle celle de la vi-

tesse ? La solution propre à la cinématique classique ainsi que la solution bergsonienne seraient conformes à ce second point de vue, tandis que la cinématique relativiste, en subordonnant les notions de simultanéité et même de durée à celle de vitesse, parlerait en faveur du premier. Or, cette subordination du temps à la vitesse pourrait bien correspondre à des faits génétiques s'observant déjà au niveau des coordinations propres à l'action élémentaire, et elle paraîtrait ainsi beaucoup moins surprenante en se référant à la formation de l'idée du temps chez l'enfant que par comparaison avec les notions toutes faites de l'adulte. Quant aux rapports entre le temps et l'espace, l'hypothèse d'une subordination des intuitions temporelles à celle de la vitesse reviendrait donc à faire du temps un rapport, tandis que l'espace et la vitesse correspondraient à deux intuitions plus simples : soit $t = e/v$, si l'on voulait exprimer les choses en langage mathématique. Mais, dans le langage qualitatif convenant aux premières coordinations de l'action, cela consisterait à attribuer la formation de l'espace à l'organisation même des mouvements, indépendamment de leurs vitesses (d'où le caractère primitif des connexions spatiales), tandis que le temps constituerait la coordination des vitesses comme telles, c'est-à-dire qu'il résulterait d'un caractère des actions non dû à leurs compositions les plus générales, mais intervenant en fonction des différences de rythmes ou de cadences. Plus précisément la coordination temporelle se confondrait avec la coordination spatiale, tant que des différences de vitesses n'interviendraient pas (soit $t = e$), et elle commencerait à s'en différencier à partir du moment où les vitesses distinctes des divers mouvements nécessiteraient une coordination supplémentaire, en quoi constituerait précisément la notion même du temps ($t = e/v$).

Examinons donc de ces points de vue les faits génétiques, et interrogeons-les sans parti pris, c'est-à-dire sans y projeter nos notions adultes déjà élaborées. Faisons, en particulier, abstraction de tout rapport métrique et essayons de reconstituer les intuitions temporelles et les impressions ou notions de vitesse sans décider d'avance lesquelles sont primitives. Nous allons constater alors l'indifférenciation primitive des notions spatiales et temporelles, fondées toutes deux sur la coordination des mouvements, et la différenciation graduelle des notions temporelles en fonction précisément de l'intervention des distinctions des vitesses. Nous allons constater,

en d'autres termes, un premier cas de passage du logico-mathématique au physique, sous la forme d'une différenciation des coordinations générales de l'action (espace) en fonction d'actions spécialisées (régulations de vitesses et coordinations temporelles).

Sur le plan purement sensori-moteur, tout d'abord, il est aisé de noter la connexion étroite qui relie la construction des premiers rapports temporels à la coordination des mouvements, tant à l'intérieur des schèmes caractérisant les habitudes et les « réactions circulaires » que dans l'assimilation réciproque des schèmes aboutissant au groupe pratique des déplacements et à la notion de l'objet permanent. A l'intérieur des schèmes eux-mêmes, en premier lieu, l'ordre de succession temporelle apparaît lorsque le sujet, au lieu d'atteindre un but en suivant simplement l'ordre des mouvements habituels selon un dispositif spatial déjà en place, est obligé de chercher au préalable un intermédiaire lui servant de moyen usuel : p. ex. lorsqu'un bébé, voyant un nouvel objet suspendu au toit de son berceau cherche le cordon pendant de ce toit pour secouer l'objet perçu. En ce cas, l'ordre temporel (que l'on pourrait exprimer par la relation « d'abord tirer le cordon, ensuite seulement percevoir la secousse de l'objet ») est encore presque indifférencié de l'ordre de succession spatiale constitué par la connexion habituelle des mouvements, mais il commence à s'en dissocier par le fait qu'il s'agit de reconstituer cet ordre au lieu de le suivre sans plus, et qu'il s'agit surtout de le reconstituer sous la pression des objets momentanément en désordre. De même, les premières impressions de durée se rattacheront, à ce niveau, aux sentiments d'attente ou de succès immédiat c'est-à-dire à la rapidité plus ou moins grande du déroulement des actions. Bref, l'ordre temporel se confondra avec l'ordre spatial tant que les objets ne résistent pas au déroulement des mouvements, et la durée restera indifférenciée au sein de ce déroulement dans la mesure où les résistances de l'objet ne viendront pas altérer les vitesses : le point de départ est donc la coordination spatiale, la vitesse et le temps émergeant sous forme de coordinations supplémentaires occasionnées par l'intervention d'événements extérieurs à la coordination initiale. — Quant au temps lié aux actions de l'intelligence sensori-motrice (par opposition aux premiers schèmes habituels), nous verrons (chap. V § 1) comment la recherche de l'objet disparu commence sans tenir compte de ses déplacements successifs, pourtant perçus, les uns après les autres, et nous avons déjà vu (chap. II § 5) pourquoi la permanence des objets était solidaire de l'organisation du groupe pratique des déplacements. Or, il va de soi que ce

groupe pratique contient à l'état indifférencié un système de rapports temporels coïncidant avec les successions spatiales. C'est ce qui a fait dire à Poincaré que le temps précède nécessairement l'espace, puisque les mouvements reliés en un groupe concret sont forcément successifs. Mais, psychologiquement parlant, l'ordre temporel n'existe pas encore, tant qu'il demeure indissocié de la succession spatiale, et la durée ne saurait donner lieu à aucune conduite particulière tant qu'elle n'est pas liée à un comportement portant sur la vitesse. Aussi les premières organisations de déplacements, qui intéressent essentiellement les changements de position n'impliquent-elles pas d'intervention de la durée. Quant à l'ordre temporel, il s'y trouve étroitement soumis à l'ordre spatial : c'est ainsi que nous avons décrit jadis ce que nous avons appelé des « séries subjectives », intervertissant l'avant et l'après mais en fonction des déplacements prévus à tort, selon les réussites antérieures de l'action et non pas de l'ordre objectif des événements extérieurs¹. Le temps sensori-moteur demeure ainsi indifférencié de la coordination des mouvements et ne se dissocie de l'espace qu'en fonction de la résistance des objets à cette coordination (eu égard à l'ordre de position habituel ou par changements imprévus de vitesses).

Lorsque l'on passe du temps sensori-moteur à celui de la pensée intuitive, c'est cette même indifférenciation des rapports temporels et des rapports spatiaux qui constitue le caractère essentiel des idées primitives aussi bien sur la durée que sur l'ordre des événements. Tant qu'il s'agit, en effet, de l'ordre de succession de deux événements liés au même mouvement (p. ex. des positions successives d'un mobile unique) ou de l'intervalle de durée qui les sépare (p. ex. qu'il faut plus de temps pour aller de A en C que de A en B sur le trajet ABCD ...), il n'y a pas de difficulté, parce qu'alors l'ordre temporel correspond à l'ordre de succession spatiale et la durée s'évalue à la longueur du trajet parcouru. S'il s'agit encore de deux événements liés à des mouvements de mêmes vitesses, parallèles, de même direction et présentant les mêmes points de départ dans l'espace et dans le temps, la difficulté n'est pas supérieure, car ce sont là deux exemplaires du même mouvement, avec correspondance visuelle continue. Mais dans le cas de mouvements parallèles, de même direction, avec un même point d'origine et avec simultanéité objective des moments de départ et d'arrivée, mais avec vitesses différentes, la situation change : non seulement l'égalité des durées, pourtant synchrones, entre les ins-

¹ Voir *La Construction du Réel chez l'enfant*, chap. IV. P. ex. suivant des yeux un mouvement de translation ABCD dans le plan fronto-parallèle, le segment BC étant masqué par un écran, le bébé cherchera le mobile en A sitôt qu'il disparaît en B, puis, après avoir suivi le mouvement partiel CD il le recherchera à nouveau en A !

tants de départ et d'arrivée est catégoriquement niée, mais encore la simultanéité des instants d'arrivée l'est également. Il vaut la peine d'insister sur ces deux points, étant donnée leur signification épistémologique : l'indissociation initiale du temps et de l'espace et la raison de leur dissociation prochaine sous l'influence de la vitesse y apparaissent en pleine lumière.

En ce qui concerne la simultanéité, tout d'abord, il faut soigneusement distinguer deux problèmes : celui de la simultanéité perceptive, et celui de la notion, ou relation intellectuelle, de simultanéité. Du point de vue perceptif, il n'existe que rarement des jugements exacts de simultanéité entre événements séparés dans l'espace, et l'interversion de l'ordre de succession temporelle est fréquente, même chez l'adulte (p. ex. dans le cas de petites lampes s'allumant, soit ensemble, soit à 1-2 secondes d'intervalles à 2-3 m. de distance). Les mouvements du regard nécessaires à la comparaison prenant eux-mêmes du temps, il s'agit, en effet, de les coordonner en corrigeant les erreurs temporelles ; or, ces compensations ne s'effectuent pas grâce à un raisonnement, mais par voie perceptive et motrice, ce qui entraîne de nombreuses déformations dues à la centration : l'événement centré par le regard au moment où il se produit est en général vu antérieur faute de décentration assez rapide¹, etc. Mais outre le cas du rapport perceptif, on peut étudier chez l'enfant la relation intellectuelle de simultanéité et c'est elle qui nous intéresse surtout. On déplacera p. ex. deux mobiles partant ensemble du même point et s'arrêtant simultanément à des distances différentes, donc après avoir effectué des trajets inégaux à vitesses inégales, mais sur des trajectoires parallèles et selon la même direction. On s'arrangera à ce qu'il n'y ait pas de difficultés perceptives : le sujet reconnaîtra ainsi que quand le mobile A s'est arrêté le mobile B a cessé son mouvement et réciproquement. Néanmoins, jusque vers 5-6 ans l'enfant conteste que les deux mobiles se soient arrêtés et « en même temps » et il soutient que l'un des deux a cessé de se mouvoir « avant » l'autre : le terme « avant » signifie alors, soit « devant » soit parfois « derrière », au sens spatial de ces termes, mais, selon le sujet, cette antériorité spatiale (selon l'un ou l'autre des sens de parcours) s'accompagne nécessairement d'une antériorité temporelle, les deux significations demeurant indifférenciées. Or, à l'analyse², la raison pour laquelle le sujet n'admet pas la simultanéité et substitue le langage spatial au langage temporel, tout en cherchant à maintenir la correspondance entre eux, se révèle extrêmement simple : c'est que le rapport « en même temps » ou « au même moment », etc., n'a pas encore de signification, faute d'un temps commun à deux mouvements de

¹ Voir PIAGET, *Le développement de la notion de temps chez l'enfant*, Paris (P. U. F.), chap. IV § 4.

² *Ibid.*, chap. III et IV.

vitesse différentes, et d'un temps qui pourrait être détaché de ces mouvements eux-mêmes pour les englober tous deux en retour !

En d'autres termes, le sujet commence par se placer au point de vue de temps propres à chacun des deux mouvements de vitesses différentes, et ne relie point encore ces vitesses au moyen d'un temps commun ou homogène. Le seul temps accessible à l'enfant est donc intérieur au mouvement lui-même et ne fait qu'un avec ses caractères spatiaux consistant en changement de position. L'expression « en même temps » n'a aucune signification pour lui, parce qu'il n'existe pas encore de « même temps » pour des mouvements différents. Cela ne signifie naturellement pas que l'enfant soit relativiste : il l'est au contraire si peu qu'il ne parvient pas à coordonner deux points de vue, sitôt que les vitesses diffèrent, et son temps propre est, non pas celui d'Einstein, mais celui dont Aristote avait fait l'hypothèse à propos des mouvements distincts. Quel est alors le rapport entre ce temps et l'espace ? A ce niveau mental, si le sujet ne parvient pas à relier deux mouvements de vitesses différentes par une coordination temporelle, il ne relie pas non plus les figures de l'espace au moyen d'un système de coordonnées ou d'une coordination des points de vue perspectifs : il ne connaît guère que des rapports topologiques construits de proche en proche, sans systèmes d'ensemble et l'on pourrait donc dire que, si le temps est d'abord indifférencié de l'espace, leurs évolutions sont parallèles et de même signification épistémologique. Mais le problème est un peu plus complexe. D'une part, comme nous l'avons vu, toute coordination logico-mathématique porte dès l'abord sur des actions physiques. Il n'est donc pas surprenant que la coordination spatiale des mouvements englobe dès le départ un élément temporel, puisque tout mouvement réel a une vitesse et comporte ainsi un ordre de succession des positions dans le temps et un emboîtement des durées. Mais cet élément temporel n'est pas, de ce seul fait, un des facteurs de la coordination spatiale comme telle, et, tant que les différences de vitesse n'interviennent pas, les rapports temporels doublent simplement la coordination spatiale par une correspondance terme à terme (entre les successions et entre les durées et les espaces parcourus) : ils s'en différencient même si peu que nous venons de constater l'incompréhension de la relation de simultanéité en cas de vitesses distinctes. Le vrai problème n'est donc pas celui que pose l'indifférenciation initiale, mais bien celui du

processus de la différenciation ultérieure : le temps homogène se construira-t-il à la manière des systèmes de coordonnées ou de projections spatiales, par simple coordination des actions du sujet, ou au contraire supposera-t-il une interaction plus différenciée entre ces actions et les objets eux-mêmes ? On voit d'emblée que cette dernière question reviendra à se demander si l'intervention de la vitesse tient aux coordinations générales de l'action ou à la nécessité de composer celle-ci avec les qualités physiques des objets.

Vers 6 ans, en moyenne, l'enfant arrive : à reconnaître la simultanéité des moments d'arrivée de deux mouvements de vitesses distinctes. Mais (et cela montre bien que ses réponses ne sont pas dues à une confusion purement verbale du temps et de l'espace), il n'en conclut pas moins à une inégalité des durées objectivement synchrones : les mobiles A et B sont reconnus être partis « en même temps » et s'être arrêtés « en même temps », mais l'un d'eux a cependant marché « plus longtemps » que l'autre parce qu'il est allé « plus loin ». Le temps commence donc à se détacher de l'espace, puisque la simultanéité est acquise entre points différents atteints par des mouvements de vitesses différentes. Mais cette coordination temporelle n'intéresse encore que les points d'arrivée et ne se généralise pas à tous les instants ou les points du parcours, de telle sorte que les départs et les arrivées peuvent être reconnus simultanés sans que les intervalles le soient, ni que les durées intermédiaires soient égalisées. Quant à la vitesse, nous verrons tout à l'heure que, loin d'être déjà considérée comme un rapport entre le temps et l'espace parcouru (puisque'il n'y a pas encore de temps indépendant sauf en ce qui concerne les points d'arrivée), elle est elle-même conçue en termes d'ordre spatial : elle se réduit à l'intuition du dépassement. Dès lors, il n'y a rien de contradictoire pour le sujet à ce que l'un des mobiles aille plus vite que l'autre, donc plus loin, s'arrête au même moment et mette cependant plus de temps, puisque le plus grand espace parcouru est à la fois la mesure de la vitesse et du temps. Que la durée ne soit pas encore conçue comme inversement proportionnelle à la vitesse, c'est ce que l'on constate d'ailleurs directement, à ce niveau : si un mobile va plus vite, dit l'enfant, il prend plus de temps, et il ira souvent jusqu'à soutenir qu'en courant lui-même de l'école à sa maison il met plus de temps qu'en marchant lentement. De deux choses l'une, par conséquent : ou bien les durées sont en réalité égales, et « plus de temps » signifie alors un plus grand espace parcouru ; ou bien la durée du mouvement plus rapide a été plus courte et alors « plus de temps » exprime un plus grand travail accompli. C'est donc le travail accompli

(dont l'espace parcouru est un cas particulier) qui est, au début, le vrai critère du temps, et de la durée psychologique comme du temps physique.

Vérifions encore la chose sur un nouvel exemple. On présente au sujet un réservoir se vidant au moyen d'un tube en Y dont les deux branches sont de même débit et commandées toutes deux par un même robinet. Sous chacune des branches, on place un petit récipient A et B. On tourne alors le robinet pour déclencher le départ du liquide, puis, quand les deux récipients ont reçu un contenu suffisant, on arrête le liquide en fermant le robinet. En ce cas, le problème de simultanéité est naturellement résolu beaucoup plus tôt que dans le cas des marches simples, puisque les mouvements sont commandés par le même robinet. Mais, pour ce qui est des durées, c'est seulement si ces deux récipients A et B sont de mêmes formes et de mêmes dimensions que les temps paraîtront égaux. Au contraire, si ces conditions ne sont pas observées, le liquide sera estimé avoir coulé plus longtemps dans un bocal que dans l'autre, « parce qu'il y a plus d'eau », « parce que c'est plus haut » ou même souvent parce que le niveau de l'eau a « monté plus vite », en remplissant le récipient. C'est donc de nouveau le travail accompli (du moins accompli en apparence) ou l'espace parcouru qui constituent les critères de la durée.

Or, si le temps physique se différencie ainsi peu à peu de l'ordre spatial au lieu d'être d'abord purement temporel et ensuite spatialisé, qu'en est-il du temps psychologique et quels sont les rapports entre les deux sortes de temps, interne et extérieur ? L'opinion courante est que la notion du temps dérive de l'expérience intérieure et que le temps physique n'est que le temps vécu, plus ou moins transformé. Selon Planck, p. ex., les notions physiques naîtraient de la perception subjective ou perception des qualités relatives au sujet, et le développement de ces notions dans les sciences résulterait de leur désobjectivation : la notion du temps proviendrait ainsi de l'expérience vécue de la durée et son évolution consisterait à éliminer le rôle du sujet. Selon Bergson le temps est également issu de la durée intérieure et le temps physique doit sa constitution à une spatialisation de la durée en éliminant d'ailleurs les plus caractéristiques des aspects temporels. Planck apprécie donc cette spatialisation que Bergson déplore, mais ils s'entendent sur les grandes lignes du passage du sujet à l'objet.

Or, à comparer ces thèses aux faits génétiques, on constate au contraire que l'enfant construit sa notion du temps subjectif sur le modèle du temps qu'il attribue aux choses, aussi bien

que l'inverse. Il y a là un point important au point de vue de l'épistémologie physique toute entière. Le temps (et nous retrouverons le même processus en bien d'autres domaines) n'émane pas de la prise de conscience propre du sujet pour s'engager dans la direction de l'objet, mais il procède de l'action du sujet sur l'objet, ce qui n'est nullement équivalent : et, comme l'orientation suivie par la prise de conscience est centripète et non pas centrifuge, c'est de l'objet qu'elle part pour remonter au sujet, c'est-à-dire que les rapports temporels sont organisés dans les choses avant de l'être dans la conscience propre. Bien entendu, le temps de l'objet, dans son indifférenciation par rapport à l'espace parcouru ou au travail accompli, n'est pas un temps objectif, mais un temps lié à l'action du sujet sur l'objet (et en particulier aux premières coordinations infralogiques et géométriques des mouvements). Mais il n'est pas non plus subjectif au sens ordinaire de ce mot : il est *égocentrique*, ce qui est tout autre chose, c'est-à-dire que, perçu ou conçu dans l'objet il reste relatif aux intuitions d'espace et de vitesse déterminées par l'activité propre, et ce caractère égocentrique ne coïncide ni avec le subjectif sensoriel de Planck ni avec le subjectif intuitif de Bergson. Quant au temps rationnel, il sera opératoire, c'est-à-dire construit par les actions coordonnées et réversibles du sujet (voir § 3) et cela aussi bien sous sa forme interne qu'externe. Bref, en ce qui concerne le temps comme les autres notions, l'évolution procède de l'égocentrique à l'opératoire, et, quoique constamment appliqué à l'objet (dont il extrait peu à peu ses connexions avec la vitesse), il suppose à tous les niveaux une participation du sujet, d'abord centré sur ses propres actions puis décentrant celles-ci en les composant entre elles de façon cohérente et réversible.

En quoi consiste, en effet, le temps propre ou psychologique, aux premiers niveaux du développement de la pensée ? Il n'est que de constater l'embarras où l'on se trouve dans le choix des questions convenables à poser à l'enfant pour se persuader du caractère tardif, raffiné et même artificiel de l'intuition des « données immédiates de la conscience ». L'enfant est pourtant un être que ni la vie sociale ni l'action utilitaire sur les solides n'ont encore déformé. Son sentiment de la vie a parfois une profondeur et une résonance directe que bien des poètes ont cherché à retrouver. Ce n'est cependant pas chez lui qu'il faut chercher l'intuition de la durée, car — chacun l'a noté —, il vit dans le présent, tandis que la durée se construit.

Le temps propre de l'enfant, ce sera donc ou la notion qu'il

a de son âge (temps biologique) ou les évaluations qu'il fera du temps vécu au cours de telle ou telle action. Les notions relatives à l'âge ne nous apprennent rien de nouveau, mais confirment de façon singulièrement précise ce que nous avons vu du temps physique naissant. L'âge est évalué lui aussi à l'espace parcouru ou au travail accompli, c'est-à-dire, en l'espèce, à la taille ou à la croissance : A est plus jeune que B « parce qu'il est plus petit », mais ce n'est pas une raison pour qu'il ne devienne pas un jour plus vieux que lui. Il n'y a, d'autre part, aucun rapport entre l'âge comme durée et l'ordre de succession des événements, notamment des naissances : que A soit plus jeune que B n'entraîne pas qu'il soit né après lui ¹.

Quant aux évaluations du temps vécu au cours de l'action, elles donnent lieu chez l'enfant, à des constatations très instructives et cela à nouveau par leur ressemblance avec la construction du temps physique lui-même. On priera, p. ex., le sujet d'exécuter certaines actions (répéter un mouvement, dessiner des barres, etc.) pendant un même temps mais à un rythme tantôt lent tantôt rapide ² : or, chez les petits, c'est le travail accompli qui est le critère de la durée, ce qui revient alors à considérer comme étant la plus longue la durée qui correspond au mouvement le plus rapide ; seuls les grands trouvent comme nous que le travail rapide a paru plus court et le travail lent plus long. C'est même cette découverte introspective qui semble être au point de départ du renversement des rapports entre le temps et la vitesse, parce que, dans la durée vécue pendant l'acte lui-même, le temps se contracte (pour la conscience) en fonction de la vitesse, tandis que dans la durée évaluée par la mémoire, le temps bien rempli se dilate et les temps vides se résorbent.

Bref, dans le temps psychologique comme dans le temps physique, la durée dépend des vitesses et du travail accompli, et c'est ce qu'a bien noté P. Janet lorsqu'il a rattaché le sentiment du temps aux régulations de l'action, c'est-à-dire aux accélérations et aux freinages. Mais il faut préciser que ce n'est pas du sentiment intérieur que procèdent les notions temporelles élémentaires : c'est du résultat même des actes, c'est-à-dire de la frontière commune au sujet et à l'objet. Le temps primitif est donc un temps physique, mais égocentrique, autrement dit assimilé à l'activité propre et déterminé par elle autant que par les données extérieures. C'est de cette source indifférenciée que le temps ultérieur évolue dans la direction à la fois d'un temps physique objectif et d'un temps subjectif de

¹ *Le développement de la notion de temps chez l'enfant*, chap. IX.

² *Ibid.*, chap. X.

mieux en mieux organisé par les opérations dont nous allons parler. En bref, le temps procède de l'organisation des mouvements et c'est pourquoi il est dominé dès le départ par les coordinations spatiales ; mais il se différencie de l'espace dans la mesure où interviennent les vitesses, c'est-à-dire un rapport entre les actions spécialisées du sujet et les résistances plus ou moins grandes des objets.

§ 3. LES OPÉRATIONS TEMPORELLES. — Comment, à partir des intuitions temporelles élémentaires que nous venons de décrire, se construira la notion d'un temps homogène, commun à tous les phénomènes externes et internes, d'écoulement uniforme et susceptible de mesure ? Avant que ce concept d'un temps absolu ne soit à son tour dépassé par l'idée d'un temps relatif aux vitesses caractérisant les points de vue des observateurs (et elles-mêmes rapportées à celle de la lumière), la construction du temps homogène est déjà le produit d'une coordination des vitesses. Partant d'une indifférenciation complète entre le temps et la coordination spatiale des mouvements, le sujet en vient, en effet, à distinguer dans les mouvements eux-mêmes, un élément de déplacement qui intéresse l'espace seul et un élément de vitesse qui distingue les uns des autres des déplacements par ailleurs équivalents. C'est la coordination de ces vitesses qui va différencier l'ordre temporel de l'ordre de succession spatiale et les durées des chemins parcourus. Mais cette coordination consiste en un ensemble d'opérations, débutant dans l'action même et s'achevant en opérations intellectuelles. Le problème épistémologique central que soulève le développement de ces dernières est alors de déterminer si elles sont purement logico-mathématiques (et notamment spatiales), ou si leur forme analogue à celle des opérations logico-mathématiques recouvre déjà un contenu extrait de l'objet. Autrement dit, dans le langage que nous avons adopté, l'intervention de la vitesse relève-t-elle encore des coordinations générales de l'action ou suppose-t-elle l'organisation d'actions spécialisées, donc différenciées en fonction des propriétés physiques de l'objet ? Et en ce dernier cas, quel est le rapport entre les coordinations logico-mathématiques et les actions différenciées ?

Notons en outre l'intérêt spécial que présente, pour l'épistémologie physique, l'analyse génétique des opérations temporelles. Chacun sait, en effet, que la mesure du temps s'enferme dans un cercle : nous fondons le réglage de nos horloges sur certains processus physiques à déroulement temporel constant

(tels la régularité des mouvements astronomiques ou l'isochronisme des petites oscillations), mais, en retour, nous ne sommes assurés de cette constance que grâce à des mesures effectuées précisément au moyen de nos horloges. Aussi, lorsque les physiciens cherchent à appuyer la mesure du temps sur une horloge naturelle, en sont-ils réduits, ou bien à invoquer l'ensemble des lois de la nature dont la cohérence totale suppose la permanence de certains mouvements, donc la régularité des écoulements temporels, ou bien à sortir de la physique. C'est ce dernier parti qu'a adopté récemment un physicien de talent, E. Stueckelberg, en cherchant à rattacher le temps physique lui-même au temps psychologique. Le temps mécanique, nous dit-il¹, fournit bien le voisinage des instants dans la continuité d'une même trajectoire, mais il ne détermine pas le sens (ou la direction) du temps, puisque les transformations mécaniques sont réversibles. Quant au temps thermodynamique, il implique bien une direction générale, mais seulement en ce qui concerne l'ensemble du processus statistique exprimé par l'accroissement probable de l'entropie : les éléments eux-mêmes (c'est-à-dire les atomes) restent soumis, dans le schéma de Boltzmann, au temps mécanique qui est privé d'orientation définie. Dans les fluctuations statistiques, telles que celles qui caractérisent le mouvement brownien, il peut intervenir, en effet, deux sens à l'écoulement du temps. Si nous en venons à la micro-physique actuelle, les trajectoires intra-atomiques elles-mêmes sont soumises à des fluctuations, ce qui prive à nouveau le temps d'un sens unique. Pour obtenir une orientation univoque du temps physique, il faudrait disposer comme horloge d'un corps infiniment grand et infiniment lourd, contenant une infinité d'éléments. En l'absence d'un tel corps, il ne reste que le temps biologique ; et encore à envisager la vie comme un tout (car, dans le détail, nous retombons sur les lois physico-chimiques) ; c'est donc, en dernière analyse, le temps psychologique qui nous fournira l'orientation absolue que nous cherchons : c'est parce que l'univers se reflète dans la conscience et est partiellement vécu, que ses mouvements caractérisent, dans l'un de leurs sens possibles, un déroulement temporel à sens unique. En effet, le temps psychologique est à sens unique parce que, selon E. Stueckelberg : 1° la mémoire implique le voisinage (les événements remémorés sont plus ou moins rapprochés ou

¹ E. STUECKELBERG, *La notion de temps*, Disquisitiones mathematicae et Physicae, Bucarest 1942, p. 301-307.

éloignés) ; 2° chaque souvenir englobe d'autres souvenirs, selon une régression sans fin : les souvenirs constituent ainsi des emboîtements orientés $a > b > c \dots$, tel que le souvenir ne contenant pas d'autres souvenir soit le plus ancien et que celui qui contient tous les autres (a) soit le plus récent. Ce serait donc, au total, l'ordre d'emboîtement des « souvenirs de souvenirs » qui déterminerait le cours du temps.

Mais quel que soit l'intérêt de cet appel fait par un physicien à la durée mentale, pour étayer le sens du temps universel, il est difficile aux psychologues d'accepter une telle responsabilité. Il n'est guère possible, en effet, d'admettre un emboîtement spontané des souvenirs, et si les événements s'emboîtent les uns dans les autres grâce à la mémoire, c'est le résultat d'opérations proprement dites, car les souvenirs ne peuvent se sérier d'eux-mêmes. Or, ces opérations, qui structurent l'évocation du passé comme elles structurent n'importe quel donné, s'appuient elles-mêmes sur le temps physique et sur l'organisation du monde extérieur. En d'autres termes, il n'existe pas de « souvenirs de souvenirs » au sens d'E. Stueckelberg, ou du moins il ne s'agit que de faits exceptionnels. Je ne me rappelle pas être allé à Vienne avant de connaître Cracovie parce qu'à Cracovie j'avais le souvenir de Vienne et que j'ai actuellement le souvenir de ce souvenir, tandis qu'à Vienne je n'avais pas encore le souvenir de Cracovie et que je constate aujourd'hui l'absence d'un tel souvenir de souvenir : je me rappelle avoir vu Vienne avant Cracovie tout simplement à cause d'un raisonnement me permettant de déduire de mes connaissances géographiques que pour aller de Genève à Cracovie j'ai passé par Vienne, tandis qu'en prenant le train de Genève à Vienne je n'ai pas traversé Cracovie. La mémoire, ou du moins la sériation des souvenirs dans le temps, est faite, en une proportion importante, de reconstitutions raisonnées : elle implique une activité, qui se poursuit à tous les étages de la vie mentale (mais à un degré bien moindre aux niveaux prélogiques, d'où les lacunes et le désordre de nos souvenirs d'enfance) et les « souvenirs inconscients » sont eux-mêmes influencés par une telle reconstruction historique. Or, sur quoi s'appuient ces raisonnements et cette activité ? Sur le temps physique lui-même et sur la connaissance physique des mouvements, des trajectoires, des vitesses, etc. Si le physicien ne peut pas conférer de sens d'orientation au temps sans un recours à la vie mentale (du moins sous son aspect d'activité opératoire), le psychologue n'arrivera pas non plus à orienter le temps intérieur sans invoquer le temps physique. Cette interaction nécessaire du sujet et de l'objet montre déjà à elle seule que le temps, comme l'espace, repose sur un système d'opéra-

tions et ne constitue pas le simple produit d'une lecture, soit extérieure, soit intérieure.

Mais en quoi consistent ces opérations et quel est leur rapport avec les opérations spatiales ? Comme en ce qui concerne l'espace, elles commencent par être purement qualitatives avant de donner lieu à une métrisation. Ce sont simplement les opérations, déjà analysées (chap. II § 7), de placement (relations asymétriques d'ordre) et d'emboîtement des parties dans le tout (addition partitive), qui formeront la substructure « intensive » du temps. Puis la synthèse de la partition et du déplacement engendrera une métrique temporelle sur le modèle de la métrique spatiale (cf. chap. II § 8). La seule différence — et elle est d'une grande importance épistémologique — est que l'ensemble de cette construction ne portera plus seulement sur des figures ou sur des mouvements entendus comme de simples changements de position, mais bien sur des vitesses. Seulement, chose très remarquable, ces vitesses inhérentes à la construction qualitative (intensive) du temps ne sont encore conçues qu'en termes de succession spatiale : ce ne sont nullement des rapports entre espaces parcourus et temps écoulés (soit $v = e/t$), mais uniquement des « dépassements », c'est-à-dire des complications du déplacement lui-même, et les opérations temporelles initiales ne consistent qu'à coordonner ces dépassements sans aucune relation métrique. Autrement dit, la notion de temps repose sur celle de vitesse qualitative, et consiste à mettre en relations des vitesses qualitatives différentes, puis, une fois le temps construit par cette coordination même, il sert à définir la vitesse métrique.

1. *La succession temporelle.* Le point de départ de la construction opératoire du temps est à chercher dans les relations asymétriques de placement (ordre) et déplacement (changement d'ordre), qui interviennent dans l'élaboration de l'espace. Soit un mobile X, qui est déplacé selon les positions successives 1, 2, 3 ... etc. Ces positions, étant successives, englobent déjà il est vrai un certain ordre temporel, mais donné dans le mouvement en tant qu'acte sensori-moteur, dans la succession des processus organiques nécessaires à la perception et au mouvement, etc., et non pas donné à la pensée à titre d'ordre spécifiquement temporel, puisqu'il coïncide simplement avec l'ordre de succession spatiale des points sur une trajectoire. En effet, l'ordre spatial intervenant dans un seul déplacement n'implique

pas logiquement le temps, car les changements de position pourraient avoir une vitesse infinie, qui réduirait la durée à rien ; c'est, d'autre part, sans prendre en considération les temps sensori-moteur ou physiologique, etc. que l'enfant construit sa notion du déplacement spatial, mais à titre de simple changement de position indépendant du temps. Enfin, un ordre temporel indifférencié de l'ordre de succession spatiale ne constitue pas encore un temps commun, comme nous l'ont montré les faits rappelés au § 2. La construction du temps ne débute donc pas par une extraction de l'ordre temporel implicitement lié à la coordination spatiale des mouvements effectifs, parce que cette liaison n'est pas nécessaire et n'est due qu'à l'indifférenciation initiale des coordinations logico-mathématiques et des actions matérielles coordonnées par elles. La construction du temps débute, au contraire et seulement, avec l'intervention de la vitesse, conçue comme un dépassement, c'est-à-dire avec la comparaison entre, les positions successives du mobile X et les positions successives d'un autre mobile, que nous appellerons Y.

Supposons donc X et Y se déplaçant dans le même sens selon deux chemins parallèles et considérons deux situations distinctes : l'une dans laquelle X se trouve placé devant Y et l'autre dans laquelle X se trouve placé derrière Y, ces deux rapports étant entendus relativement au même sens de parcours. Chacune de ces deux situations caractérise alors ce que nous appellerons un « état » particulier du champ spatial. Cette notion d'« état » comprend lui aussi un élément temporel implicite : la simultanéité (Leibniz a pu définir l'espace : l'ordre des simultanés). Mais l'état n'implique pas génétiquement une détermination de la simultanéité, car il peut durer : peu importe le moment précis où Y a dépassé X c'est-à-dire où X et Y étaient simultanément l'un à côté de l'autre, ou le nombre de positions successives que l'état considéré englobe. La seule condition dont le sujet ait besoin pour construire un rapport temporel est de pouvoir constater spatialement que X précédait y dans l'état A et que l'inverse se réalise dans l'état B. Cette double constatation ne suppose donc ni simultanéité ni succession données à titre d'éléments de la construction opératoire : celles-ci n'interviennent à nouveau qu'à titre simplement d'éléments des actes perceptifs, etc. permettant les constatations spatiales. Par contre, le sujet construit un rapport temporel entre les états A et B, sans que ce rapport soit donc donné directement à sa pensée, et il y parvient en l'appuyant sur le rapport des vitesses. En effet tant qu'il se borne aux successions purement spatiales, le sujet ne peut que sérier les po-

sitions successives $1 \rightarrow 2 \rightarrow 3 \rightarrow \dots$ etc., appliquées soit au mobile X, soit au mobile Y, soit aux deux à la fois (d'où alors les faux jugements temporels rappelés au § 2). Par contre, s'il tient compte du dépassement de X par Y, alors il doit distinguer deux états : l'état A dans lequel on a, du point de la succession spatiale, $Y \rightarrow X$, et l'état B dans lequel on a $X \rightarrow Y$. Ce fait nouveau introduit une différence de vitesses, sous la forme d'un changement d'ordre, d'un mobile par rapport à un autre et non pas seulement des mobiles par rapport à un élément de référence fixe. Or, ce fait peut être constaté spatialement. D'autre part, la succession des états est elle aussi donnée spatialement, grâce au sens d'orientation du mouvement lui-même. Néanmoins la relation d'ordre entre les états eux-mêmes soit $A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow \dots$ etc. tout en reposant ainsi exclusivement sur des constatations relatives à l'ordre spatial, est devenue temporelle : par le fait qu'elle ordonne simultanément les mouvements de deux mobiles dont l'un dépasse l'autre, elle constitue en effet une coordination des vitesses et c'est cette nature nouvelle de la coordination qui lui confère son caractère temporel.

Si nous désignons par a la relation de succession temporelle entre les états A et B, par a' la succession entre B et C, par b' la succession entre C et D, etc., la première des opérations temporelles qualitatives (intensives) sera donc l'addition (ou la soustraction) des relations de succession d'états, soit :

$$(1) (A \xrightarrow{a} B) + (B \xrightarrow{a'} C) = (A \xrightarrow{b} C) ; (A \xrightarrow{b} C) + (C \xrightarrow{b'} D) = (A \xrightarrow{c} D) ; (A \xrightarrow{c} D) + (D \xrightarrow{c'} E) = (A \xrightarrow{d} E) ; \dots \text{ etc.}$$

où les rapports $a, a', b' \dots$ ou b, c, d, \dots etc. signifient donc « avant », dans l'un des sens, et « après » dans l'autre.

La simultanéité se concevra alors comme le cas limite de la succession, lorsque celle-ci tend à s'annuler. Du point de vue qualitatif, et en l'absence de mesures permettant de reconstituer l'instant précis où deux événements séparés (mais mis en liaison par des signaux acoustiques ou visuels) se sont produits simultanément, il n'existe ainsi de simultanéité qu'entre deux positions immédiatement voisines. La plus petite distance séparant les lieux des événements suppose déjà un mouvement du regard ou une coordination des perceptions, c'est-à-dire une succession. La simultanéité constitue bien à cet égard un cas limite, soit :

$$(2) (A_1 \rightleftharpoons A_2) \text{ ou } (A_1 \xrightarrow{o} A_2) = (A_1 \leftarrow A_2)$$

Mais on se rappelle que, dans les intuitions primitives de la succession temporelle, l'enfant ne reconnaît pas la simultanéité de deux arrêts, lorsque les mouvements étaient de vitesses différentes. La distinction établie par le sujet entre les relations (1) et (2) suppose donc un affinement de la notion de l'« état ». L'état peut englober lui-même, au départ, des successions internes sans que les relations (1) soient changées, puisque le découpage du continu temporel en états A, B, C, ... , est arbitraire et que quels que soient les intermédiaires ou l'épaisseur de durée de ces états, ils sont toujours successifs. Mais le sujet en vient donc, par la distinction des rapports de succession et de simultanéité, à ne plus attribuer à un état qu'une épaisseur *minimum*, c'est-à-dire une simultanéité *maximum*. La conquête de cette simultanéité, indépendamment de la vitesse des mouvements considérés, est assurément due à une décentration progressive des intuitions. Celles-ci portent exclusivement, au début, sur le point d'arrivée des déplacements, à cause du caractère finaliste du mouvement. Au contraire, et au fur et à mesure que les points successifs de la trajectoire prennent de l'importance, il s'établit une correspondance terme à terme entre les points ou segments $a_1, b_1, c_1 \dots$ de la trajectoire de X et les points ou segments $a_2, b_2, c_2 \dots$ de la trajectoire de Y. Or, comme chacun des rapports $a_1, a_2; b_1, b_2; c_1, c_2; \dots$, dont est faite cette correspondance, caractérise un « état », on peut donc dire que les progrès de la simultanéité sont liés à la multiplication des états, eu égard à la série (1) primitive.

II. *La durée*. — On a vu combien l'évaluation de la durée, est d'abord liée, dans les intuitions temporelles primitives, au chemin parcouru et au travail accompli (d'où l'idée étrange et pourtant assez systématique à un certain niveau, que la durée est proportionnelle à la vitesse). Comment donc l'esprit procède-t-il de cette notion initiale à la compréhension opératoire des durées ? Il est intéressant, du point de vue épistémologique, de constater une fois de plus que c'est au moyen d'opérations qualitatives (de caractère intensif et précédant toute mesure) que la structure temporelle s'organise, de même que l'espace est constitué logiquement (par des opérations infra-logiques) avant d'être mathématisé, et que le nombre lui-même est préparé par l'organisation des classes et des relations asymétriques avant de résulter de leur synthèse. On objectera peut-être que le seul moyen de détromper un sujet qui s'obstine à égaler la durée ou chemin parcouru serait de la mesurer avec lui au moyen d'une horloge. Mais, avant le niveau où les estimations de la durée sont réglées par un système d'opérations qualitatives, l'enfant à qui l'on donne une montre ou un sablier pour

mesurer le temps que dure sa marche dans la chambre ou la course d'une poupée sur la table estime que l'aiguille ou le sable se sont déplacés eux-mêmes à une toute autre vitesse selon qu'ils servaient de système temporel de référence pour mesurer un mouvement rapide ou lent du mobile donné¹ ! La mesure du temps est donc impossible tant qu'il n'y a pas coordination préalable des rapports entre la durée, le déplacement et la vitesse !

En fait, la grande découverte qui permet au sujet de structurer les durées est^[*] la possibilité d'une mise en relation opératoire des intervalles de temps avec l'ordre même des événements ; or, comme cet ordre des événements porte sur des « états » (voir sous 1), c'est-à-dire sur des correspondances entre points atteints par des mouvements indépendamment de la vitesse de ceux-ci, concevoir la durée à titre d'intervalle entre des états revient à coordonner des vitesses distinctes. Etant donné un système de deux mouvements partant simultanément de a_1 et de a_2 pour atteindre simultanément b_1 et b_2 puis c_1 et c_2 , etc. mais tels que l'espace parcouru $a_2 b_2$ soit plus grand que $a_1 b_1$ et que l'espace parcouru $b_2 c_2$ soit plus grand que $b_1 c_1$, etc., la durée devient ainsi l'intervalle entre les états $a_1 a_2$ et $b_1 b_2$, entre $b_1 b_2$ et $c_1 c_2$, etc. : au lieu de se réduire simplement aux intervalles spatiaux $a_1 b_1$ ou $a_2 b_2$, etc. elle consiste dorénavant, au contraire, en un intervalle portant sur les espaces parcourus rapportés à leur vitesse (ou sur les travaux accomplis rapportés aux « puissances »), c'est-à-dire en un intervalle entre états ordonnés dans le temps.

On se rappelle (§ 2) que cette relation entre la durée et l'ordre des événements (ou états temporels), si évidente soit-elle pour nous, échappe aux jeunes enfants : ils se refuseront, p. ex., à conclure que A est né avant B, sachant que A est le plus âgé des deux ou que C est plus jeune que D, sachant que C est né après D ! La durée est au contraire entièrement comprise à partir du moment où elle est envisagée comme un intervalle entre les événements ordonnés, indépendamment des vitesses et des espaces parcourus (en l'espèce, indépendamment de la vitesse de croissance et de la taille atteinte à un âge donné).

Soit donc la suite des « états » A, B, C ... sériés en application du groupement (1), c'est-à-dire en fonction des relations de successions a, a', b' , etc. (signifiant « avant » et « après »). Même sans aucune mesure, et en fonctions des seules opérations d'emboîtements propres au groupement des relations symétriques (ou des partitions), le sujet peut conclure qu'entre

¹ Voir *Le développement de la notion de temps chez l'enfant*. (P.U.F.), chap. VIII.

[*Note FJP : Nous avons substitué « est » à « et ».]

les événements ou états A et C il s'est écoulé un temps plus long qu'entre les événements ou états A et B ; de même entre A et D la durée est plus longue qu'entre A et C, etc. Mais, conformément à la structure des opérations intensives, on ne sait rien alors du rapport entre les durées successives AB et BC, ou BC et CD, etc.

D'où le groupement (dérivé de l'ordre de succession $A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow D \dots$ etc) :

$$(3) \quad AB + BC = AC ; \quad AC + CD = AD ; \quad \text{etc.}$$

où les relations AB, BC, CD, etc. sont des relations symétriques d'intervalles (et non plus des relations asymétriques d'ordre, comme en 1). Or, l'expérience montre bien que ces emboîtements constituent la condition de la structuration qualitative des durées : c'est ainsi qu'en dessous de 7-8 ans l'enfant en viendra à admettre, selon les chemins parcourus sur deux trajectoires distinctes, que la durée a_1b_1 est plus grande que la durée a_2c_2 , d'où $AB > AC$. Au contraire dès 7-8 ans, on aura toujours $AB < AC < AD < \text{etc.}$

De ce point de vue, la simultanété, conçue selon l'opération (3) comme une succession nulle, peut aussi être comprise comme une durée nulle :

$$(4) \quad \text{Si } A \xrightarrow{o} B, \text{ alors } AB = 0.$$

De même de (3) et de (4) le sujet peut tirer l'égalité des durées synchrones. Si l'on a simultanété entre les événements a_1 et a_2 ; b_1 et b_2 ; c_1 et c_2 , etc., soit $a_1a_2 = 0$; $b_1b_2 = 0$, etc., ce qui définit les états A, B, C, etc., alors des durées a_1b_1 et a_2b_2 seront égales ; de même b_1c_1 et b_2c_2 , etc. et se réduiront aux durées entre états A, B, C, etc., soit AB, BC, etc. :

$$(5) \quad \text{Si } a_1a_2 = 0 ; b_1b_2 = 0, \text{ etc., alors } a_1b_1 = a_2b_2 = AB ; \\ b_1c_1 = b_2c_2 = BC ; \text{ etc.}$$

Ainsi, grâce à ces cinq groupements d'opérations (1) à (5), le temps qualitatif est entièrement constitué, indépendamment de toute métrique : le sujet est capable de construire un ordre de succession temporelle entre événements (ou entre états caractérisés par des événements respectivement simultanés), d'emboîter les durées les unes dans les autres en fonction de cet ordre, de concevoir des simultanétés à titre de succession ou de durée nulles, et d'égaliser des durées synchrones en fonction de la simultanété des événements entre lesquels elles

sont comprises. Mais, comme on le voit, cette structuration qualitative du temps, procédant exclusivement par groupements additifs (addition de relations d'ordre ou d'intervalle) et multiplicatifs (correspondances), est soumise à deux limitations essentielles. La première est que les simultanités s'établissent de proche en proche, entre événements voisins dans l'espace. La seconde est que les durées comparées entre elles et portant sur des mouvements de vitesses différentes soient synchrones en tout ou en partie. Cette seconde limitation, spécialement, est inhérente aux opérations intensives, qui ne connaissent que les rapports de partie à tout ($a < b$ ou $AB < AC$, etc.) et non pas les relations des parties entre elles (a et a' ou AB et BC , c'est-à-dire, en l'espèce, les relations entre durées successives). Dans le cas particulier, cette opposition entre l'intensif et l'extensif ou le métrique est particulièrement évidente puisque, les opérations intensives étant impropres à conclure quoi que ce soit des rapports entre durées entièrement successives, il ne saurait y avoir d'égalisation entre durées isochrones : or cette égalisation constitue la condition préalable à toute mesure du temps. Il importe donc de voir maintenant comment l'activité du sujet permet de procéder des opérations intensives, simples groupements infralogiques portant sur les successions et emboîtements temporels, aux opérations métriques.

III. *La mesure élémentaire du temps.* — Mesurer le temps, à partir des opérations qualitatives qui le constituent, ce sera donc comparer un intervalle a (ou AB) non pas simplement à la durée b (ou AC), plus longue, dont il fait lui-même partie (d'où la simple quantification intensive : $a < b$ ou $AB < AC$) mais à l'intervalle suivant a' (ou BC , c'est-à-dire $a' = b - a$), qui n'a point d'éléments communs avec a , sinon l'instant frontière qui les sépare. Ce sera donc transporter sur l'intervalle a' la durée de a , mais forcément par une voie indirecte, c'est-à-dire par la répétition d'un mouvement de durée $a_2 = a$ servant de commune mesure entre a et a' . Or, on voit d'emblée que cette répétition d'un mouvement, fondement de l'égalisation des durées successives, donc de l'isochronisme, suppose elle-même la conservation de la vitesse de ce mouvement. Mais comment peut-on savoir qu'une vitesse se conserve sinon en mesurant le temps employé par le parcours d'une distance ? La mesure du temps implique donc : 1° que l'on sorte du domaine des rapports exclusivement temporels pour faire appel au mouvement, à l'espace et à la vitesse (comme c'était d'ailleurs déjà le cas pour la

constitution des opérations temporelles qualitatives) ; 2° que les mouvements utilisés conservent leur vitesse, ce qui enferme la mesure dans un cercle, puisque la détermination d'une vitesse qui se conserve suppose la mesure du temps.

Ce cercle a été signalé par tous les auteurs qui ont analysé la mesure du temps.¹ On a invoqué deux sortes de circonstances qui permettent avec raison de ne pas le considérer comme vicieux. D'une part, le principe même de la causalité oblige à considérer qu'un mouvement se répétant dans les mêmes circonstances conservera la même vitesse et durera par conséquent le même temps. Mais comment sait-on que le même mouvement puisse se répéter dans les mêmes circonstances ? Ici intervient la seconde raison : les multiples mesures du temps fondées les unes sur l'astronomie, d'autres sur l'isochronisme des petites oscillations, d'autres sur la radioactivité, l'électricité, etc. convergent les unes avec les autres selon une cohérence croissante et fournissent ainsi des articulations toujours plus précises au cercle qui les englobe. Ces deux réponses reviennent d'ailleurs au même, car la causalité ne nous est point connue autrement que par la convergence interne des coordinations que nos opérations nous permettent d'établir entre les phénomènes.

Or, la nécessité de faire intervenir la vitesse, pour mesurer le temps, et par conséquent d'en appeler à des éléments empruntés à la réalité extérieure, présente une signification épistémologique qu'il convient de relever. Génétiquement déjà, le temps n'est pas autre chose, comme on vient de le voir, qu'une coordination des vitesses : ce sont les différences de vitesses qui font d'abord obstacle aux évaluations intuitives des simultanités et des durées et c'est la mise en correspondance des positions occupées par des mobiles de vitesses distinctes qui permet de constituer les relations temporelles qualitatives. Il est donc naturel que ce soient encore les vitesses susceptibles de conservation qui servent de mesure au temps : cette mesure n'est ainsi que le prolongement des correspondances déjà à l'œuvre dans les formes les plus élémentaires de la notion de temps. A proprement parler, il faut même dire que l'intervention de la conservation des vitesses dans la chronométrie ne nous fait pas sortir du temps et constitue la seule raison de son écoulement uniforme : or, la vitesse elle-même étant tou-

¹ Voir en particulier G. JUVET, *La structure des nouvelles théories physiques*, (Paris Alcan).

jours liée au mouvement d'un objet, doué d'une masse ou possédant une énergie (même si l'objet dont il s'agit perd ses caractères macroscopiques d'« objet » permanent), il en résulte que si le temps dépend des vitesses il dépend à travers elles de l'ensemble des autres notions physiques.

Mais il en est exactement de même pour la mesure des longueurs réelles. Lorsque le géomètre invoque le déplacement pour définir une métrique, il définit le déplacement ou mouvement purement géométrique comme une transformation qui conserve les congruences. Mais comment savons-nous physiquement qu'une longueur déplacée se conserve ? Ici encore il faut invoquer la causalité : « l'idée de longueur absolue dérive du principe de causalité », écrivait p. ex. Lucien Poincaré en 1911.¹ Ce qui est une manière de dire que la mesure d'une distance réelle suppose toute la physique, comme on s'en est mieux aperçu avec la théorie de la relativité.

Génétiqument, cette interdépendance de la mesure du temps et de la notion de vitesse uniforme apparaît nettement dans l'expérience suivante. On présente à des sujets de 4 à 10 ans un bocal pyriforme se vidant par étapes dans un récipient cylindrique, chaque nouvel écoulement aboutissant à un niveau d'eau que l'on marque sur le verre des deux bocaux à titre d'aide-mémoire : le problème est alors de comprendre, les relations entre ces différents niveaux descendants (bocal supérieur) et ascendants (bocal inférieur) et l'écoulement du temps. Or, une fois construits (grâce aux opérations 1 à 5) l'ordre de succession temporelle et l'emboîtement qualitatif des durées (non sans être obligé de vaincre toutes les difficultés signalées au § 2) le sujet en arrive spontanément vers 8 ans à juger de l'égalité des durées successives entre les états A, B, C, etc. (correspondances entre les niveaux du bocal supérieur et ceux du bocal inférieur) d'après l'égalité des différences de niveau dans le bocal cylindrique². Il justifie la chose en invoquant le fait qu'il s'agit de mêmes quantités d'eau s'écoulant aux mêmes vitesses (et cela quoique le changement de niveau soit beaucoup plus rapide dans le bocal cylindrique que dans le bocal pyriforme). L'isochronisme des durées successives est ainsi constitué, sur le terrain macroscopique, par la répétition d'un même « travail », donc par une opération de déplacement (ici l'écoulement de l'eau) jointe à une partition des espaces parcourus (découpés ici en étages superposés), ce qui est con-

¹ LUCIEN POINCARÉ, *La physique moderne*, Coll. Flammarion.

² Pour le détail, voir notre ouvrage *Le développement de la notion de temps chez l'enfant* (P. U. F. :), chap. I et II.

forme au principe de toute mesure (voir chap. II § 8). Autrement dit, l'itération de l'unité de temps étant due aux parcours, par un mouvement de vitesse uniforme, d'une suite d'intervalles spatiaux équivalents, ces unités représentent une fusion du déplacement et de la partition comme dans le cas de la mesure spatiale : seulement, tandis que le déplacement intervenant dans la mesure d'une grandeur géométrique est un mouvement sans vitesse, le déplacement constitutif de l'unité temporelle est un mouvement physiquement caractérisé par une vitesse.

Mais, du point de vue de la genèse des opérations, l'intérêt des observations que l'on peut faire au moyen de ce dispositif est surtout de mettre en évidence la condition *sine qua non* non seulement de la mesure du temps, mais même de la structuration qualitative de l'ordre temporel et de la durée : c'est la réversibilité nécessaire des opérations temporelles ! En effet, l'ordre des événements n'est compris qu'à partir du moment où il peut être déroulé dans les deux sens. On dit souvent que le temps est irréversible, mais ce sont les événements comme tels, c'est-à-dire le contenu du temps si l'on peut dire, qui sont impossibles à reproduire physiquement en sens inverse de leur sens d'orientation causale. Quant au temps, considéré à titre d'opérations reliant par la pensée ces événements entre eux il est asymétrique (c'est-à-dire que l'ordre $A \rightarrow B$ n'équivaut point à l'ordre $B \rightarrow A$), mais essentiellement réversible, c'est-à-dire que pour reconstituer l'ordre ($A \rightarrow B$) il faut d'abord remonter de B à A selon la relation ($B \leftarrow A$) : on s'en aperçoit en constatant combien les jeunes sujets, dont la pensée intuitive demeure irréversible, éprouvent de difficulté à reconstituer l'ordre des niveaux successifs dessinés sur des cartons que l'on fait sérier après les avoir mélangés. Il en est de même des emboîtements de durées, qui ne sont compris qu'à partir du moment où le déboîtement est possible, sous la forme de la soustraction d'une durée partielle par rapport à la durée totale. Mais c'est surtout à propos de la mesure que la nécessité absolue de la réversibilité opératoire est visible : pour comparer deux durées successives, il est en effet, indispensable de comprendre que la valeur de l'unité choisie reste la même selon qu'il s'agit d'un temps passé, présent, ou à venir encore. Or, c'est précisément ce retour au passé qui est la grande difficulté pour les jeunes enfants : lorsqu'on leur demande p. ex. s'il a fallu plus ou moins de temps pour faire couler l'eau du niveau 1 au niveau 2 ou du niveau 4 au niveau 5, ils répondent qu'on

n'en peut rien savoir, parce que, quand l'eau est en 5, elle a quitté depuis bien longtemps les niveaux 1-2, et qu'on ne peut pas la faire remonter pour comparer ! Et cependant les marques des niveaux successifs sont là à titre de témoins : la perception irréversible des événements successifs s'oppose ainsi à l'opération réversible, et c'est seulement une fois acquise la réversibilité des opérations intellectuelles que les groupements temporels de caractère opératoire (infralogique) et la mesure elle-même deviennent possibles. La construction du temps est donc un bel exemple de collaboration entre les opérations réversibles du sujet et les processus irréversibles de l'objet.

IV. *Le temps psychologique.* — Les opérations qualitatives et métriques que nous venons de décrire en ce qui concerne le temps physique se retrouvent toutes dans le temps psychologique ou durée intérieure, et c'est par un pur préjugé anti-intellectualiste que l'on a voulu opposer l'une à l'autre ces deux réalités temporelles étroitement solidaires. Cette solidarité n'a d'ailleurs rien de surprenant, puisque l'action propre est caractérisée, comme les modifications du temps physique, par des vitesses ou « puissances » et des travaux accomplis, et que le temps psychologique constitue donc une coordination des vitesses de l'action comme le temps physique est une coordination des vitesses extérieures.

On retrouve à cet égard, dans la constitution du temps psychologique comme dans celle du temps physique, les trois paliers de la pensée intuitive ou prélogique, des opérations logiques (ou infralogiques) et des opérations métriques elles-mêmes.

L'intuition préopératoire se manifeste dans les illusions des estimations auxquelles la durée psychologique donne lieu : une heure de travail lent et fastidieux paraît plus longue qu'une heure de travail rapide, parce que, à l'introspection, non seulement le temps est inversement proportionnel à la vitesse, mais encore ce rapport inverse est accentué conformément aux mécanismes de contrastes dûs à la loi des centrations relatives dans les domaines perceptif et intuitif. Inversement, dans le souvenir, le temps rempli paraît plus long parce qu'il est alors jugé au travail accompli indépendamment de la vitesse oubliée.

Mais si ces contractions ou dilatations de la durée intérieure sous l'effet combiné de la vitesse des actions et des centrations ou régulations perceptivo-intuitives sont d'observation banale

on a moins souvent insisté sur l'appareil opératoire (logique ou infralogique) indispensable à la construction du temps psychologique. Tout d'abord, en ce qui concerne l'ordre des événements, la mémoire réelle est loin de présenter cet enregistrement régulier, et spontanément ordonné, des souvenirs que postulent la mémoire bergsonienne comme d'ailleurs la mémoire freudienne : l'ordre des souvenirs se construit, au lieu d'être donné tout fait, et^[*] cette construction suppose les mêmes opérations de sériation que l'ordre propre au temps physique. Quant à l'emboîtement des durées, si nous appelons a la durée s'écoulant entre les événements intérieurs A et B, a' la durée entre B et C (selon l'ordre de succession ABC), il est aussi certain dans le temps psychologique que dans le temps physique que $a + a' = b$ et que $a < b$. Ces opérations sont transitives, associatives et réversibles pour la durée intérieure comme pour celle des phénomènes externes.

Enfin, qu'il existe une métrique du temps intérieur, c'est-à-dire une métrisation rendue possible par la répétition de certains mouvements (en particulier phoniques), effectués à une vitesse constante, (et cela indépendamment de toute spatialisation scientifique et en fonction de la seule « intuition » créatrice des poètes et des musiciens), c'est ce que la « métrique » de n'importe quel système de vers ou de n'importe quel chant suffit à elle seule à démontrer : la cadence des vers de l'Iliade et le rythme d'une cantilène constituent un tel système d'opérations temporelles impliquant l'itération d'une unité de mesure (syllabes « longues » et « brèves » ou « longueur » des notes) et un physicien contemporain est allé jusqu'à déterminer les « groupes » liés aux sons et au temps qui interviennent dans le langage musical¹.

V. *La métrique relativiste.* — Que le temps soit, dès l'origine et à tous les niveaux, sous sa forme psychologique aussi bien que physique, une coordination des vitesses soumise à l'intuition primitive de la vitesse elle-même, il s'ensuit que toutes les modifications survenant dans nos idées sur la vitesse ne peut qu'entraîner une transformation de notre notion de temps. Tant que les vitesses n'apparaissent pas comme bornées par un *maximum*, et que, aux vitesses mesurables, s'ajoutait l'existence supposée d'une vitesse infinie, celle de l'attraction universelle, le temps devait être considéré comme absolu. Les

1 A. MERCIER, *Sur les opérations de la composition musicale*, Arch. de Psychol., vol. XXVII, p. 186.

[*Note FJP : Nous avons substitué « et » à « à ».]

opérations logiques d'ordre et d'emboîtement des durées semblent, en effet, assurer au temps un caractère commun à tous les phénomènes, donc un caractère homogène, pour autant, du moins que l'action peut suivre les objets et sérier les événements qui s'y rapportent (ceci par opposition à l'échelle microphysique)¹. Quant à son écoulement uniforme, il résulte de l'emploi d'une métrique paraissant disposer de la gamme de toutes les vitesses possibles. Mais à partir du moment où les mesures de Michelson et Morley, ont montré le caractère privilégié de la vitesse de la lumière et son isotropie complète, les raisons génétiques elles-mêmes qui rattachent l'idée du temps à celle de la vitesse imposaient une modification solidaire de ces deux notions à la fois. C'est cette refonte des notions physiques essentielles, en fonction des idées de temps et de vitesse qu'Einstein a effectuée avec l'éclat que l'on sait².

Qu'un observateur immobile, par rapport à une source lumineuse, ou qu'un observateur s'avancant à une grande vitesse dans la direction de cette source trouvent, en mesurant tous les deux la vitesse de la lumière, la même valeur de 300.000 km. à la seconde, indépendamment de la différence de leurs points de vue, cela ne peut, en effet, s'interpréter que de trois manières : ou bien ils sont victimes d'une erreur de mesure (c'est-à-dire que le fait expérimental de la constance de la vitesse de la lumière est illusoire), ou bien il faut renoncer à toute composition des vitesses, ou enfin il faut admettre que l'horloge de l'observateur mobile marche plus lentement et qu'une seconde indiquée sur son cadran comporte une durée dilatée par rapport aux unités de temps marquées sur l'horloge de l'observateur immobile. Or, non seulement le fait de la constance de la vitesse de la lumière indépendamment des mouvements de l'observateur s'est vérifié de la manière la plus précise, mais encore, comme Poincaré y a insisté d'emblée, un tel résultat est dans la logique même du principe de la relativité de la mécanique classique : il signifie que l'éther demeure immobile par rapport à n'importe quel observateur, contrairement

¹ Pour le temps microphysique, voir le chap. VII § 2.

² Nous aimerions signaler, du point de vue génétique, que M. Einstein, président en 1928 les premiers cours internationaux de philosophie et de psychologie à Davos, avait soutenu l'antériorité psychologique de l'intuition de la vitesse sur celle du temps. Il nous avait conseillé à ce propos, d'entreprendre l'étude du développement de ces notions chez l'enfant et c'est en donnant suite à cette suggestion que nous avons poursuivi les recherches publiées en 1946 et résumées en ce chapitre.

aux propriétés qu'on lui prêtait par ailleurs. D'autre part, renoncer à toute composition des vitesses rend tout raisonnement impossible. Il ne restait ainsi qu'à admettre la dilatation de la durée, en fonction de la vitesse dont est animé le système de l'observateur,

Or, en quoi cette dilatation a-t-elle pu paraître gênante pour l'esprit ? Ce n'est donc pas qu'elle comporte un semblant de contradiction logique, puisque le raisonnement le plus simple l'impose, sitôt admise l'isotropie complète de la lumière. Le malaise vient uniquement de ce qu'elle contredit notre intuition courante. Mais c'est ici que le point de vue historique et génétique est de nature à nous renseigner sur le peu de confiance qu'il convient d'attribuer à l'intuition, laquelle demeure toujours relative à un niveau mental déterminé. C'est ainsi que la relativité même du mouvement, qui, depuis Galilée, nous empêche de décider, au moyen des seuls mouvements internes d'un système, si ce système est au repos ou en mouvement rectiligne et uniforme heurtait l'intuition de la même manière avant que l'on comprenne en quoi elle explique précisément que nous ne sentions pas les mouvements dont est animée la terre. La correction que la théorie de la relativité demande à notre intuition du temps n'est donc qu'une extension de cette correction déjà imposée par la cinématique galiléenne. D'autre part, l'effort de coordination que cette notion de la relativité de la durée exige de notre part pour ajuster les uns aux autres les points de vue des observateurs entraînés à des vitesses différentes n'est que le prolongement de l'effort de coordination qu'il a déjà fallu à l'enfant pour relier en un seul temps commun les durées hétérogènes qu'il attribuait à des mouvements de vitesses différentes. Si paradoxal que cela paraisse, la durée relative et les temps propres de la théorie einsteinienne sont ainsi au temps absolu ce qu'est celui-ci aux temps propres ou locaux de l'intuition enfantine (ainsi qu'au temps propre dont Aristote a fait l'hypothèse en des passages que l'on interprète parfois bien à tort comme annonçant la relativité moderne). Dans les deux cas, en effet, le temps apparaît comme une coordination des vitesses et le passage des vitesses incoordonnables aux vitesses coordonnées grâce à un temps commun homogène et uniforme est une première étape de la transformation des faux absolus égocentriques en relations objectives, qui caractérise également le passage du temps absolu (avec possibilité de vitesses infinies) au temps relatif lié à une coordination plus précise des vitesses.

Ceci nous conduit à la simultanéité. S'il existe une vitesse *maximum*, et qui se révèle constante quel que soit le point de vue d'où on la mesure, il est clair, pour les mêmes raisons, que la simultanéité à distance sera relative à la vitesse du système qui entraîne l'observateur. La simultanéité des événements ayant pour siège des lieux voisins n'en sera pas altérée, pas plus que l'ordre des événements : de deux événements A et B paraissant successifs d'un point de vue (I), B ne sera jamais déterminé comme ayant précédé A d'un point de vue (II), mais tout au plus comme lui étant simultané. Mais dans le cas de deux événements à localisations distantes, on ne pourra, plus parler de simultanéité absolue. Or, ici à nouveau, la genèse même de la notion de simultanéité rend cette correction de nos intuitions extrêmement naturelle. Du moment que, à quelques centimètres de distance déjà, l'enfant ne croit pas à la simultanéité des arrêts de deux mobiles de vitesses différentes, c'est donc que la notion de simultanéité est construite, en fonction des mouvements et des vitesses, et non pas donnée en elle-même. Elle se déduit d'un échange de signalisations, qui débute dès l'activité perceptive et aboutit, sur le plan opératoire, à caractériser deux événements localisés en A et C, tels qu'un observateur placé à mi-chemin, en B, puisse recevoir des signaux de A et de C à mêmes vitesses et dans le même temps. Seulement si, dans la composition de ces mouvements, intervient à nouveau la constance de la vitesse relative de la lumière, la notion de simultanéité devient relative aux vitesses ; mais c'est pour de nouvelles raisons, tenant cette fois au mouvement des systèmes qui entraînent l'observateur ou le laissent immobile, et non plus seulement à la vitesse des mobiles eux-mêmes.

L'explication générale des transformations de la notion de temps est donc à chercher dans la composition des vitesses. Au niveau intuitif de caractère préopératoire (p. ex. chez l'enfant d'avant 7-8 ans ou chez le primitif, etc.) le sujet n'a pas la notion de vitesse en tant que rapport entre l'espace parcouru et le temps, et ne possède que l'intuition du dépassement : d'où l'absence d'un temps commun aux mouvements de vitesses différentes. Au niveau des opérations concrètes, il parvient, par une mise en correspondance des points successifs des diverses trajectoires, à la notion d'un temps homogène et uniforme, et par cela même à une définition de la vitesse en tant que rapport ($v = e/t$), mais sans savoir encore ni mesurer la vitesse ni composer des vitesses relatives entre elles, d'où l'absence

de toute relativité du mouvement. Au niveau des opérations formelles, la composition additive des vitesses ($w = v + v'$) devient possible et rejoint ainsi (avec l'accélération du développement mental due à l'éducation) la cinématique galiléenne, laquelle aboutit elle-même à la relativité du mouvement et à la consolidation du temps absolu. Enfin, avec l'intervention de la constance de la vitesse de la lumière, la composition des vitesses de mouvements orientés dans le même sens devient $w = [v + v']/[1 + (v \cdot v'/c^2)]$ (où c = la vitesse de la lumière), et ce rapport implique la relativité des durées et des simultanités. D'une extrémité à l'autre de ce développement, la construction du temps à l'échelle des phénomènes macroscopiques est donc subordonnée à celle de la notion de vitesse.

Quant à ce que deviennent les notions temporelles à l'échelle microphysique (voir chap. VII), il est d'un grand intérêt de constater qu'avec la disparition des notions d'objet permanent, (donc de mobile au sens macrophysique), et de mouvements caractérisés simultanément par les positions et les vitesses, la notion du temps se transforme de façon bien plus fondamentale. Liée aux changements d'« états » ($d\psi$) et à leur rapport avec l'énergie totale ($\mathcal{H}\psi$), la durée semble ainsi se libérer de la vitesse : mais c'est que les notions de trajectoire et de vitesse perdent elles-mêmes leur signification macrophysique, et sont alors remplacées, dans leur fonction chronogène, si l'on peut dire, par les relations beaucoup plus générales de changement d'état et d'énergie totale. En microphysique encore plus qu'ailleurs, le temps ne saurait donc être atteint ni mesuré directement : il est construit, comme toujours, et consiste essentiellement en un rapport élaboré entre des termes eux aussi construits opératoirement. L'un des termes de ce rapport joue le rôle de ce que sont les espaces parcourus ou changements de position pour le temps macroscopiques : ce sont les changements d'état, lesquels constituent l'ordre des événements. Quant à l'écoulement du temps, il est assuré par l'autre terme du rapport $dt = d\psi/\mathcal{H}\psi$, c'est-à-dire par l'énergie totale qui détermine le rythme des changements d'état. Malgré le bouleversement profond des notions, dû, comme nous le verrons, au fait que les représentations microphysiques sont liées à la limite de notre action possible sur l'objet, le temps demeure donc, en ce domaine comme dans les précédents, un rapport conditionné à la fois par les opérations du sujet et par les changements inhérents à l'objet.

VI. *Conclusion : temps et espace.* — Les faits qui précèdent (I à V) montrent suffisamment pourquoi la mesure du temps, comme celle de l'espace réel, constitue une opération physique, c'est-à-dire relative à des objets différenciés, caractérisés par leurs qualités de vitesse, de masse, etc. ; elle s'oppose ainsi à la métrique propre à la géométrie pure (c'est-à-dire formalisée), qui est indépendante des objets particuliers et ne relève que de la coordination la plus générale des actions (et porte par conséquent sur des objets idéaux aussi bien que réels). La question qui se présente alors est de savoir pourquoi à l'espace réel, c'est-à-dire physique, correspond un espace entièrement déductif dont les progrès sont indépendants de l'expérience, tandis que cette ou ces « géométries » mathématiques ne sont pas doublées d'une « chronométrie » pure, au sens d'une théorie déductive du temps et que la seule chronométrie féconde demeure une science expérimentale et physique, c'est-à-dire un chapitre spécial de la cosmométrie.

Il semble cependant, au premier abord, que les relations temporelles de durée et surtout d'ordre de succession, appartiennent à la coordination générale des actions au moins autant que les relations spatiales de voisinage et d'ordre. Il n'est pas possible, en effet, de déplacer un objet de A en C par l'intermédiaire de la position B sans que les trois positions A, B et C soient conçues comme successives dans le temps autant que dans l'espace, ce qui faisait dire à Poincaré (à propos précisément du groupe des déplacements) que le temps est antérieur à l'espace. De même, la coordination des moyens et des buts au sein de tout acte d'intelligence suppose, à titre de coordinations réelles l'avant et l'après temporels en plus de la succession logique des prémisses et des conclusions. Il intervient donc un élément de temps dans la coordination même des actions.

Dira-t-on simplement que ces éléments temporels inhérents à la coordination des conduites ne peuvent se constituer en un système achevé sans l'intervention des vitesses, c'est-à-dire des mouvements physiques extérieurs et des objets servant de points d'application aux actions, tandis que la coordination spatiale donne lieu à la construction de « groupes » fermés indépendamment de leur application ? Mais ce n'est également qu'en manipulant des objets réels et non pas en s'exerçant dans le vide que les coordinations spatiales aboutissent à la construction d'un espace cohérent. C'est même pour cette raison essentielle que les notions physiques se construisent simulta-

nément avec les notions logico-mathématiques : les coordinations les plus générales des actions ne se constituent qu'en coordonnant des actions portant sur les objets eux-mêmes, donc des actions physiques, et c'est par un processus de différenciation graduelle que les coordinations sont réfléchies et formalisées comme telles, tandis que les actions particulières se spécialisent toujours plus en fonction des objets. C'est pourquoi l'enfant construit simultanément la géométrie expérimentale des objets réels et la géométrie de sa propre action (donc des coordinations de l'action, pendant que celle-ci s'applique aux objets) et ces deux géométries, d'abord indifférenciées, ne se dissocient que très lentement en une géométrie physique et une géométrie mathématique. Il serait donc absurde de prétendre que la coordination des actions aboutit à la construction mathématique indépendamment de son exercice au cours des actions particulières s'appliquant aux objets extérieurs, tandis que le temps résulterait d'emblée de ces dernières actions.

La différence entre le temps et l'espace est donc à chercher dans le processus même de cette application des actions ou des opérations aux objets extérieurs : dans le cas de l'espace, la coordination des actions suffit, par son exercice au cours des actions particulières, à assurer la construction des structures sans emprunter à titre de matériaux les propriétés des objets comme tels (même lorsque ces propriétés suggèrent à l'esprit de nouvelles constructions) ; au contraire, dans le cas du temps, l'abstraction à partir de la coordination des actions ne suffit pas à la construction des structures et celles-ci empruntent aux objets certains caractères que le sujet abstrait de ces objets eux-mêmes.

En effet, s'il est exact que la coordination des actions suppose un élément de succession temporelle, cet élément n'est pas dissociable sans plus de la succession spatiale des mouvements ou de la succession logique (ou de l'ordre des moyens et des buts), c'est-à-dire des facteurs qui, une fois abstraits des coordinations initiales et regroupés en opérations, engendreront la succession ou l'ordre logico-mathématiques : pour donner lieu à une succession spécifiquement temporelle, ces éléments abstraits de l'action devront être mis en relation avec des éléments abstraits de l'objet sur lequel cette action porte, c'est-à-dire avec les facteurs de vitesse.

Mais pourquoi la vitesse elle-même n'appartient-elle point à la coordination générale des actions et implique-t-elle l'intervention de l'expérience et de l'objet ? C'est qu'une vitesse

est ou bien inertielle ou bien sujette à des accélérations variées ; positives ou négatives : supposant ainsi l'intervention des notions de masse ou de force, la vitesse est solidaire de l'ensemble des relations physiques. Quant à l'expérience interne de la vitesse (mouvements du corps propre et régulations de freinage ou d'accélération), elle consiste précisément en une expérience comme une autre, comparable à l'expérience externe et revenant à considérer le corps propre et ses actions comme un objet parmi les autres ; en complète opposition avec les notions logico-mathématiques (classes, nombre, etc.) qui résultent de l'activité du sujet et non pas d'une expérience intérieure, la vitesse des actions propres ne constitue pas un résultat de l'activité du sujet, mais un caractère de ses actions elles-mêmes considérées comme objet. Bien entendu, l'expérience intérieure de la vitesse ou du temps n'est pas plus immédiate ni plus passive que l'expérience externe : elle suppose comme l'expérience extérieure une interprétation, donc une organisation ou une reconstruction. Mais elle est une expérience consistant à extraire un certain donné de son objet, par opposition aux activités logico-mathématiques qui se coordonnent elles-mêmes en s'exerçant sur l'objet.

C'est de ce point de vue que la différence entre l'espace et le temps apparaît clairement. Le voisinage de deux éléments spatiaux peut être imposé par l'objet, comme c'est le cas dans la perception, où le sujet prend acte du voisinage physique de deux parties d'une même figure. Mais outre le fait que ce voisinage physique est toujours relatif à une certaine échelle d'observation, donc à l'action du sujet, celui-ci parvient à construire la notion du voisinage de deux points ou emplacements vides d'objet, et ce voisinage opératoire et formalisé dérive alors directement des coordinations entre actions qui intervenaient déjà dans la construction du rapport de voisinage entre objets ou parties d'objets physiques. Quant au voisinage temporel entre deux événements, il est lui aussi relatif en partie à l'action du sujet qui les enregistre à une certaine échelle d'observation. Mais, peut-on abstraire de cette action la notion d'un voisinage entre les moments d'un temps qui serait vide de tout événement ? Non, car ce temps sans vitesses ni contenu irréversible se réduirait au déplacement spatial.

L'ordre spatial donne lieu aux mêmes réflexions par rapport à l'ordre temporel. Un ordre de succession physique est à la fois relatif aux objets parcourus et au sujet qui le parcourt, mais le sujet, étant capable de placer les objets dans un certain

ordre, et étant même obligé de coordonner ses propres actions selon un certain ordre pour engendrer celui des objets sur lesquels il agit, est également apte à ordonner les points idéaux d'une ligne construite par opérations formelles dans un espace vide d'objets. Or, si la succession temporelle d'une suite d'événements physiques suppose de même l'intervention des données objectives et celle du sujet qui les ordonne, celui-ci ne saurait ordonner les moments d'un temps vide : un espace vide d'objets réels peut, en effet, être peuplé de formes idéales représentant les actions ou les opérations possibles du sujet, tandis qu'un temps vide ne saurait être meublé d'événements idéaux susceptibles d'être ordonnés avec nécessité, faute de pouvoir déduire les vitesses (déterminant leurs interférences), autrement qu'en s'appuyant sur les lois expérimentales.

La géométrie projective est issue psychologiquement de la coordination des points de vue, mais, même en dehors de tout point de vue réel (c'est-à-dire physique), on peut déduire les projections et les sections par une suite de correspondances idéales (les « homologues » et les « réciprociétés ») qui expriment la coordination entre les opérations possibles du sujet. Or, le temps physique suppose, lui aussi, un ensemble de correspondances entre les mesures des divers observateurs situés à des points de vue distincts : mais la coordination entre ces points de vue ne peut être construite qu'en fonction des lois expérimentales concernant les vitesses et notamment l'invariance de celle de la lumière.

Enfin, c'est dans le domaine métrique que la différence est la plus frappante. L'espace réel ou physique est euclidien ou riemanien, ou même non-archimédien, etc., selon les domaines et les échelles d'observation considérés, ce qui suppose une interaction entre les propriétés de l'objet et les coordinations opératoires du sujet. Mais l'espace idéal, vide d'objets réels, construit par la géométrie, peut présenter toutes ces structures, et bien d'autres encore, reliées les unes, aux autres selon une hiérarchie de relations logiques. Or, le temps physique peut, de son côté, être absolu ou relatif selon les échelles d'observation, ce qui suppose également une collaboration entre les caractères de l'objet et les schèmes de coordination du sujet. A cet égard, on peut comparer le temps relatif aux géométries non-euclidiennes, comme le fait Gonsseth : « la construction des univers relativistes a définitivement brisé le caractère de tangible réalité qu'on attribuait à la cinématique classique — comme à l'espace euclidien avant la construction des espaces

non-euclidiens »¹. Mais il subsiste cette différence essentielle qu'un temps idéal, vide de tout contenu physique, ne serait ni absolu ni relatif sans une détermination de vitesses. Sans doute « il arrivera peut-être un jour où les mathématiciens — et peut-être aussi quelques physiciens — trouveront leur plaisir et leur profit à examiner toutes les mécaniques abstraites possibles et à les classer selon les règles de l'Axiomatique »². Seulement il demeurera sans doute ce fait (à moins de constructions chronométriques toutes nouvelles et contredisant ce que nous venons de dire au sujet de la science actuelle du temps) qu'il s'agira alors d'axiomatiques portant sur des notions extraites de l'objet autant qu'abstraites à partir de l'action, tandis que les axiomatiques géométriques peuvent être construites au moyen des seules opérations appliquées par le sujet aux objets.

§ 4. LE MOUVEMENT ET LA VITESSE. — Si la formation des notions de mouvement physique et de vitesse commande la constitution de l'idée de temps, elle fournit également la clef de l'évolution du concept de force. Il convient donc d'accorder à ces notions une attention particulière.

La notion de mouvement est de celles dont les racines plongent le plus profondément dans l'activité du sujet, puisque, dès le niveau sensori-moteur ce sont les mouvements propres et les mouvements imprimés aux choses qui engendrent simultanément la notion physique de l'objet et le groupe pratique des déplacements géométriques. Or, dès ses formes les plus élémentaires, le mouvement présente deux pôles, reliés bien entendu de façon continue, mais que l'analyse distingue aisément. Ces deux pôles correspondent à ce que nous avons appelé l'aspect général ou coordination des actions, source des opérations de caractère logique et mathématique, et l'aspect spécial, ou caractéristique d'actes particuliers, source des opérations physiques. Sous son aspect le plus général (celui qui est lié aux coordinations communes à toutes les actions), le mouvement est un déplacement, c'est-à-dire un changement de position ou de « placement ». Il est effectivement un grand nombre d'actions dans lesquelles l'enfant ne s'intéresse qu'au fait d'un certain changement d'ordre, la trajectoire elle-même n'étant considérée qu'en fonction de ce changement de place : c'est,

¹ *Fondements*, p. 148.

² *Ibid.*, p. 149.

ainsi qu'il sortira un objet d'une boîte pour le mettre en une autre, ce qui consiste à « placer » l'objet d'une certaine manière puis à le « déplacer » pour le replacer ailleurs. D'autre part, il est des actions dans lesquelles le mouvement n'est pas un simple déplacement, mais un acte plus complet, supposant l'effort (donc la vitesse sous la forme d'une accélération) et la durée, en plus du changement de position et de la trajectoire suivie : déplacer un objet lourd ou imprimer un mouvement rapide à une balle sont des exemples de ces actes spécialisés. C'est ce second aspect du mouvement qui nous intéresse ici et qui en constitue les caractères physiques.

Au point de départ de la notion de mouvement (de la notion, par opposition à l'organisation sensori-motrice antérieure à la représentation conceptuelle), c'est-à-dire durant toute la période de la pensée intuitive et préopératoire, le mouvement physique et le mouvement géométrique ne sont pas différenciés l'un de l'autre. Cela ne signifie nullement que l'un dérive de l'autre, mais que les deux pôles de l'action, que nous venons de distinguer par l'analyse, sont encore trop proches l'un de l'autre pour que le sujet lui-même les différencie. Une expérience cruciale permet de le mettre en évidence : il suffit de demander à l'enfant si un chemin rectiligne en pente comporte, en tant qu'espace parcouru et indépendamment du temps et de la vitesse, une longueur plus grande à la montée ou à la descente. Jusque vers 6-7 ans la solution ne comporte aucun doute : le chemin est plus long à la montée, et, lorsque l'enfant accepte la mesure avec une bande de papier, il est étonné de trouver la même valeur dans les deux sens¹. Nous avons constaté de même que la distance est considérée comme plus grande entre le sommet d'un petit arbre et celui d'un arbre plus élevé, que dans l'autre sens. C'est au niveau des opérations concrètes seulement (après 7 ans) que la distance ou la longueur deviennent symétriques. Répétons-le, cela ne prouve nullement que ces notions mathématiques soient extraites du monde physique par une simple abstraction : les notions mathématiques sont déjà données dans l'action exercée par le sujet sur les objets, et l'action les ajoute aux propriétés du monde physique qui s'accordent d'ailleurs toujours avec elles. De même toute notion physique suppose une action qui ajoute également quelque élément aux données de la réalité, mais en les combinant avec d'autres éléments, qui sont extraits de cette réalité. C'est donc à l'intérieur de l'action que s'effectue la différenciation progressive entre ce qui est opération géométrique et opéra-

¹ Voir PIAGET, *Les notions de mouvement et de vitesse chez l'enfant*, Paris (P. U. P.), chap. IV.

tion physique, sans qu'aucune de ces deux sortes d'opérations dérive de l'autre ; les actions ou opérations physiques sont simplement reliées les unes aux autres par les coordinations générales qui engendrent les opérations logico-mathématiques, mais les actions physiques ne dérivent pas de ces coordinations, pas plus que l'inverse, malgré leur indifférenciation relative de départ.

Une fois cette différenciation effectuée, le principal aspect physique du mouvement est constitué par son caractère de vitesse, et le problème, dont nous avons à traiter ici est donc essentiellement celui de la formation de l'idée de vitesse, en subordonnant à cette analyse celle des autres aspects du mouvement réel.

Or, chose importante à noter, la notion de vitesse n'est intervenue que tardivement dans l'histoire de la pensée scientifique. Aristote, écrit H. Carteron ¹, définit simplement la vitesse en disant « que le plus rapide est celui qui parcourt un espace égal en un plus petit temps, ou un plus grand espace en un temps moindre. Il connaît donc notre fonction vitesse, mais il est loin de la considérer comme autonome ; il aime mieux définir le *tâton* (*ταττον*) que le *tâxos* (*ταχος*) ; l'expression *ταχος* est souvent liée à un sujet dont elle est considérée comme une qualité ; à ce titre, la rapidité doit être distinguée de la lenteur et n'est pas susceptible de plus ou de moins ; ces deux caractères définissent le régime d'un mouvement, et le régime n'est autre chose que le temps, le lieu et le terme. Toutefois on peut reconnaître en certains passages un effort pour dégager une notion générale de la vitesse : la rapidité et la lenteur se retrouvent dans toutes les espèces de mouvement ; par suite, elles ne constituent des différences spécifiques ni entre les mouvements, ni en un même corps ; de même il y a une vitesse de ce qui est lent... Néanmoins, cette idée de vitesse reste très peu consistante dans l'esprit d'Aristote, et elle ne lui rend aucun service ; on en a une preuve très nette, quand il ne reconnaît plus aux mouvements qu'une dimension, par où ils sont comparables, le temps. Il n'a donc pas formé la notion de vitesse rectiligne uniforme, qu'il utilise implicitement ».

Comment expliquer cet extraordinaire embarras de la physique aristotélicienne et ce caractère tardif de la notion de vitesse ? C'est assurément que le mouvement, lié d'abord à

¹ H. CARTERON, *La notion de force dans le système d'Aristote*, Paris (Vrin), p. 4-5.

l'effort, est par cela même conçu comme orienté nécessairement vers un but. Cette finalité psychologique a même constitué une notion physique essentielle jusqu'à l'avènement du mécanisme : il n'est pas besoin de rappeler comment, pour Aristote, tout mouvement sublunaire (par opposition aux mouvements circulaires ou « parfaits » des corps célestes) est dirigé vers une fin, qui est l'état de repos assigné par le lieu propre du mobile. Or, il est évident que si la nature initiale du mouvement physique tient à un effort dirigé vers un but, la considération de la vitesse demeure englobée dans celle de l'effort : celui-ci consiste psychologiquement, comme nous-y insisterons à propos de la notion de force, en une accélération de l'action et il implique ainsi un élément de vitesse, mais soumis à un réglage intentionnel, donc à la finalité de l'acte.

Mais il y a plus. Si nous sommes mal renseignés sur l'histoire primitive de la notion de vitesse, nous pouvons suivre sa formation chez l'enfant, et constater alors que la considération du but ou du terme des mouvements conditionne précisément l'intuition élémentaire de leurs vitesses. Le mouvement, tout d'abord, est conçu essentiellement comme un élan intentionnel, tendu vers une fin qui est son point d'arrivée. Mathématiquement, d'autre part, c'est aussi son point d'arrivée qui le détermine d'abord, indépendamment de sa trajectoire. P. ex. les jeunes sujets, en présence de deux chemins rectilignes et parallèles, mais dont le point de départ de l'un est décalé par rapport à celui de l'autre, estiment que les mobiles ont parcouru le « même long chemin » lorsqu'ils s'arrêtent l'un en regard de l'autre : c'est donc la coïncidence des points d'arrivée indépendamment de l'ordre de succession spatiale des points de départ et de la longueur des trajets, qui détermine l'égalité des déplacements. Autrement dit, l'intuition de l'ordre prime d'abord celle des trajectoires, et cet ordre de succession ne s'applique d'abord qu'aux points d'arrivée étant donné le caractère finaliste de la notion initiale du mouvement : plus précisément l'aspect mathématique et l'aspect physique du mouvement sont initialement indifférenciés, comme nous l'avons vu tout à l'heure, et cela parce que l'intuition de l'ordre, qui suffit aux petits pour caractériser les placements et déplacements géométriques, s'applique également à la succession des moyens et des fins, c'est-à-dire aux buts des élans intentionnels qui caractérisent d'abord l'aspect physique des mouvements. — Or, chose intéressante, il en est exactement de même des vitesses, et c'est ce qui permet de suivre pas à pas comment la notion physique de vitesse se différencie peu à peu de la notion géométrique du déplacement.

L'intuition élémentaire de la vitesse repose, en effet, aussi sur une notion d'ordre : c'est, au début, l'intuition du dépassement, le plus rapide de deux mobiles étant simplement celui qui parvient à dépasser l'autre¹. Or, si la notion de dépassement impliquera, tôt ou tard, une coordination temporelle et se meublera ainsi d'un contenu physique en plus de l'idée d'élan, ou d'effort, propre à tout mouvement, il est à noter que, sous sa forme là plus fruste, cette notion commence par s'appuyer sur les seules coordinations générales (donc logico-mathématique) d'ordre spatial : p. ex. si un mobile parti de plus loin qu'un second arrive presque à le rattraper, le second est quand même censé être plus rapide et le dépasser ; ou encore, lorsque deux mobiles parcourent l'un en regard de l'autre deux pistes circulaires concentriques de longueurs très inégales, les jeunes sujets prétendent que les deux mobiles ont la même vitesse, parce qu'aucun des deux ne dépasse l'autre, (ou que celui parcourant la petite piste est plus rapide parce qu'il pourrait arriver plus vite, c'est-à-dire dépasser l'autre). Bref, l'intuition du dépassement qui est à la source de la notion de vitesse, commence par ne reposer que sur l'ordre spatial des points d'arrivée, c'est-à-dire sur une coordination générale semblable à celle qui constitue l'idée de déplacement.

Mais, tôt ou tard, l'intuition du dépassement s'articule, et cette articulation fait appel à un contenu plus différencié de l'ordre spatial que les simples notions d'élan dirigé vers un but, communes à tous les mouvements. Il y a articulation de l'intuition sitôt que, à la pure constatation de l'ordre des points d'arrivée s'ajoute une mise en relation de ceux-ci avec les points de départ et surtout une anticipation ou une reconstitution intuitives permettant soit de prévoir ce qu'aurait été la suite des deux mouvements en cas de prolongement au delà de leur arrêt, soit de comparer les mouvements en cas de directions contraires sur des trajectoires parallèles ou des trajectoires non parallèles. En effet, on constate que, avant d'être capable de concevoir la vitesse comme un simple rapport entre le temps et l'espace parcouru, l'enfant se borne à généraliser l'idée du dépassement en reportant en pensée l'un des trajets comparés sur l'autre ou en prolongeant en pensée les mouvements perçus : il en arrive ainsi à des jugements exacts fondés sur ce que l'on pourrait appeler des dépassements virtuels². Or, il est clair que le dépassement, ainsi généralisé, implique alors un élément physique, emprunté aux objets eux-mêmes et non plus simplement une coordination générale portant sur l'ordre spatial des points d'arrivée envisagés à titre

¹ Voir *Les notions de mouvement et de vitesse chez l'enfant*, chap. VI.

² *Ibid.* chap. VII.

de but ou d'état de repos final. D'une part, en effet, si deux mobiles A et B se trouvent, d'abord, dans l'ordre AB et, ensuite, dans l'ordre BA, c'est que l'un avait plus d'« élan » que l'autre, etc. D'autre part, l'inversion de l'ordre spatial n'implique pas seulement une différence dynamique, mais une coordination temporelle.

A cet égard, le progrès décisif dans la direction d'une mise en relation entre l'espace parcouru et le temps (donc dans la direction de la vitesse conçue comme un rapport spatio-temporel et non plus simplement comme un rapport d'ordre ou de dépassement) est dû à une correspondance établie entre points toujours plus nombreux des itinéraires suivis par deux mouvements distincts. En généralisant l'idée de dépassement, le sujet en vient, pour comparer deux vitesses, à ne plus considérer seulement les points mêmes de dépassement, mais à mettre en correspondance n'importe lequel des points successivement parcourus par l'un des mobiles avec les points synchronisés du chemin parcouru par l'autre. C'est cette mise en correspondance qui constitue à la fois les « états » temporels et leur succession chronologique (dont nous parlions au § 3 sous 1), c'est-à-dire le temps, lequel est donc au sens propre une coordination des vitesses, et la notion de vitesse en tant que rapport entre l'espace parcouru et la durée. Nous rejoignons ainsi le niveau atteint par les opérations qualitatives constitutives du temps (voir § 3), c'est-à-dire le niveau des opérations concrètes (7-8 ans).

Mais, si la vitesse devient de la sorte un rapport entre le temps et l'espace parcouru, par le fait même que le temps achève à ce niveau son élaboration à titre de coordination des vitesses, il faut bien comprendre qu'il ne s'agit encore que d'un rapport qualitatif, c'est-à-dire à quantités simplement intensives. En d'autres termes, il n'y a pas encore de mesure des vitesses, faute de pouvoir comparer entre elles les vitesses des mouvements successifs ; les seules déterminations exactes sont celles qui portent sur des mouvements partiellement ou totalement synchrones, et dans les quatre seuls cas suivants : 1° de deux mobiles se déplaçant durant des temps égaux, celui qui fait le plus long chemin est le plus rapide ; 2° de deux mobiles parcourant les mêmes chemins celui qui met le moins de temps va plus vite ; 3° celui qui fait plus de chemin en moins de temps va plus vite ; 4° celui qui fait moins de chemin en plus de temps va plus lentement. Mais le cas dans lequel un mobile fait plus de chemin en plus de temps (ou moins de chemin en moins de temps) reste indéterminé s'il n'y a pas dépassement, faute d'un calcul possible des proportions appliqué simultanément à l'espace et au temps. Notons qu'Aristote, qui connaissait cependant les proportions géométriques, semble en

être resté à cette notion qualitative de la vitesse (ainsi qu'on l'a vu par le texte de Carteron).

C'est seulement une fois achevée cette élaboration qualitative de la vitesse, que la mesure du temps et la conservation de la vitesse deviennent possibles simultanément en s'appuyant l'une sur l'autre. D'une part, la conservation d'un mouvement rectiligne et uniforme s'acquiert par itération d'une unité de distance parcourue A ; $A + A$; $A + A + A$; etc. et par la constatation (en référence avec un autre mouvement parcourant le même espace total dans le même temps) que la permutation des segments A_1 ; A_2 ; A_3 ; etc. ne modifie pas le rapport entre l'espace parcouru et le temps : le parcours de l'unité A devient ainsi à la fois unité de temps et principe de quantification de la vitesse uniforme¹. Quant à la mesure de la vitesse des mouvements en général (successifs aussi bien que simultanés), elle repose à la fois sur cette mesure du temps et sur l'intervention des proportions sous la forme $e_1/e_2 = t_1/t_2$.

Enfin, au niveau des opérations formelles (11-12 ans), une découverte essentielle pour l'évolution des notions de vitesse et de mouvement est faite par l'enfant normal : celle de la composition des vitesses relatives. On place, p. ex., une coquille d'escargot sur une planchette et à partir d'un point de repère A on fait avancer la planchette jusqu'en B tandis que l'escargot fait lui-même sur la planche un trajet égal à la même vitesse. Les sujets de 11-12 ans, tout en ne voyant pas simultanément les deux trajets, réussissent fort bien à comprendre que l'escargot parcourra ainsi $2 AB$ s'il marche dans le même sens et demeurera sur place s'il marche en sens inverse : d'où $w = v + v'$ et $w = v - v'$ selon les directions. Ils comprendront en outre diverses combinaisons des mouvements possibles, tandis que les jeunes sujets ne parviennent à aucune composition, faute de pouvoir donner au mouvement relatif un système de référence lui-même en mouvement.

Or, il arrive souvent en de telles expériences que le sujet découvre spontanément la relativité du mouvement : « c'est comme si la route s'en allait en arrière quand il avance », etc.². À ce niveau, le sujet cesse donc de penser avec Aristote qu'un voyageur assis sur un navire est immobile en soi³, parce qu'il cesse de lier le mouvement à la seule activité du sujet pour en faire un rapport eu égard aux points de repère et aux axes de référence.

Telle est, dans les grandes lignes, l'évolution des concepts

¹ Voir pour le détail, *Les notions de mouvement et de vitesse chez l'enfant*, chap. X.

² Voir *Les notions de mouvement et de vitesse chez l'enfant*, chap. V § 4 et chap. VIII § 4.

³ Voir CARTERON, *loc. cit.*, p. 2.

de vitesse et de mouvement physique. Or, elle témoigne, comme l'évolution de la notion de temps, de l'existence de deux processus dont l'importance est à souligner du point de vue épistémologique. En premier lieu, si ces notions supposent dès le départ quelque élément lié à l'expérience des actions propres et aux propriétés physiques des objets sur lesquels s'exercent ces actions (effort et résistance, élan et finalité, continuation de l'action, etc.), elles sont néanmoins dominées dès l'abord par les coordinations générales de l'action sous leur forme en particulier spatiale : c'est l'intuition de l'ordre qui commande d'abord le temps et le mouvement, sous la forme d'une sériation des événements et des positions, et la vitesse elle-même, sous la forme du dépassement. Ce n'est que peu à peu que les coordinations spécifiques, spéciales au mouvement physique, à la vitesse et au temps, se différencient des coordinations générales de caractère spatial, mais tout en leur demeurant sans cesse subordonnées. Nous sommes ainsi en présence d'un premier exemple d'un processus de différenciation entre les coordinations logico-mathématiques et les actions physiques coordonnées par elles, réciproque de ce que nous avons vu à propos des notions mathématiques. Nous avons constaté, en effet (chap. III § 7), que les notions mathématiques commencent par être indifférenciées des notions physiques (p. ex. le groupe des déplacements porte d'abord sur des déplacements réels, à vitesses finies et se succédant dans le temps), par le fait que les premières résultent des coordinations générales de l'action et les secondes des actions particulières ou spécialisées, coordonnées par les premières. Il en résulte que les notions mathématiques procèdent d'une abstraction à partir de l'action, abstraction due à une prise de conscience progressive des coordinations comme telles et que provoque la différenciation croissante entre elles et les actions physiques particulières qu'elles coordonnent. Réciproquement, nous voyons maintenant cette même différenciation aboutir à dissocier graduellement les notions physiques de vitesse et de temps des coordinations spatiales qui les dominent d'abord avec excès et de façon déformante, puis les coordonnent simplement dans la suite.

Quant aux intuitions et notions physiques ainsi différenciées des coordinations initiales de l'action, elles obéissent à un second processus de développement, corrélatif à leur différenciation même : la comparaison et la composition des mouvements sont peu à peu décentrées, eu égard aux termes finaux de ces mouvements, pour donner lieu à une correspondance

entre les divers points de leurs trajets respectifs. Autrement dit, cette évolution procède d'un finalisme initial et égocentrique à la continuité rationnelle impliquée dans la composition opératoire : d'où les trois étapes de la constitution de la notion de mouvement, celui-ci étant caractérisé d'abord par son point d'arrivée avec la vitesse conçue comme un simple dépassement, puis par sa trajectoire, avec la vitesse conçue comme une relation (qualitative, puis métrique) entre le temps et l'espace parcouru, et enfin par l'existence des mouvements relatifs composables entre eux, avec composition métrique des vitesses.

C'est en fait le passage du dynamisme finaliste au mécanisme de structure opératoire, qui détermine ainsi cette évolution, en parallèle avec le développement historique qui va de la physique antique à Galilée. La correspondance entre les points des trajectoires avait pourtant été explicitée de la manière la plus précise par les apories de Zénon d'Élée, eu égard auxquelles Aristote marque un recul évident par son retour aux concepts du sens commun. Quant à l'idée d'un mouvement relatif, elle était en germe dans l'hypothèse des atomistes sur la possibilité d'un mouvement local dans le vide. Qu'a-t-il donc manqué à l'Antiquité pour constituer une cinématique et une mécanique rationnelle ? Sans doute une analyse suffisante de l'idée de force. Le caractère primitif de l'idée de vitesse, chez Aristote, ne tient pas seulement à son défaut d'élaboration opératoire et quantitative : il tient aussi, et peut-être surtout, au fait que, dans sa physique comme dans celle de l'enfant, la vitesse est toujours l'expression directe d'une force : le mouvement tend vers un but et procède d'une sorte d'élan. D'où le principe fondamental de la physique d'Aristote, selon lequel la vitesse est directement proportionnelle à la force et inversement proportionnelle à la résistance (résistance due à la masse du mobile ou au milieu environnant : l'air, etc., ce qui implique le plein). Sans résistance, le mobile parviendrait immédiatement à son terme, mais sans force il n'entrerait pas en mouvement ni ne conserverait celui-ci. La force est donc, pour lui, la cause, non pas de l'accélération seulement, mais de toute vitesse, et apparaît elle-même comme le produit de la vitesse par la résistance. Les obstacles au développement de l'idée de vitesse ne dérivent donc pas uniquement du finalisme des mouvements, comme nous l'avons vu en ce § : ils résultent aussi, et sans doute même en majeure partie, de l'idée insuffisamment analysée de force, conçue comme la cause de tout mouvement. Mais, à cet égard comme dans le cas du temps et des vitesses,

il y a cercle, car la constitution de l'idée scientifique de la force est due, comme on le sait, à la notion de l'accélération, c'est-à-dire à nouveau à une notion de vitesse.

§ 5. LA GENÈSE ET LES FORMES PRÉSCIENTIFIQUES DE LA NOTION DE FORCE. — L'élimination du finalisme, au profit de la composition opératoire des mouvements et des vitesses, trouve son exact parallèle dans l'élimination des facteurs subjectifs inhérents aux idées primitives de la force, au profit d'une conception opératoire fondée sur la notion de l'accélération.

Chacun s'accorde à chercher le point de départ de l'idée de la force dans l'expérience que nous avons de notre effort musculaire, composante essentielle de l'action. Mais, par ailleurs, l'histoire des sciences semble montrer que cette analogie entre la force physique et l'effort musculaire était trompeuse, puisque la notion objective de la force s'est toujours davantage détachée de la force active et substantielle imaginée par Aristote sur le modèle de notre intuition subjective. Faut-il donc admettre que l'action propre a fourni, avec les concepts de mouvement et de vitesse, deux notions que l'histoire a révélées rationnelles, tandis qu'avec l'idée de force elle nous a égarés ?

Cette question a donné lieu aux plus graves malentendus, et il importe de chercher à les dissiper par une comparaison étroite entre les développements divergents ou convergents de ces trois notions et surtout, pour commencer, par une analyse précise de leur psychogenèse respective. En effet, si les notions de mouvement et de vitesse se sont montrées rationnelles tout en émanant de notre action, c'est comme on vient de le voir, parce qu'elles se sont pliées aux conditions d'une dissociation rigoureuse entre ce qui, dans l'action, est opératoire ou source d'opérations possibles (caractérisées par leur composition réversible) et ce qui, dans la même action, est prise de conscience égocentrique, donc inadéquate de la part du sujet : dans le cas du mouvement et de la vitesse, l'élément opératoire est fourni par les coordinations spatio-temporelles, c'est-à-dire par les opérations logico-mathématiques et physiques assurant la mise en relation des déplacements et de la durée, etc., tandis que l'élément de déformation égocentrique est constitué par la finalité et les intuitions qui s'y rapportent, c'est-à-dire par une centration privilégiée et illégitime de la pensée sur le terme final des mouvements. Or, dans le cas de la notion de force, il en va exactement de même et il importe d'effectuer la même

dissociation entre les éléments opératoires de l'action et sa prise de conscience subjective et déformante.

Il n'est donc nullement question de nier que la notion de force soit issue de notre expérience de l'effort musculaire ou de l'effort en général. Mais il est épistémologiquement indispensable de distinguer à son sujet le point de vue de l'action objective, source d'opérations possibles, et celui de sa prise de conscience égocentrique, car ces deux points de vue ont effectivement joué chacun leur rôle dans l'histoire de la notion de force, mais des rôles de valeurs respectives opposées. Objectivement, l'effort est une conduite, comme l'a bien montré P. Janet, en se fondant sur les analyses de J. M. Baldwin et de J. Philippe, et c'est précisément une conduite ou une régulation d'accélération : continuer sans plus une action (telle qu'une course à bicyclette) n'est pas un effort, tant que cette action se poursuit toute seule, et cela quelle que soit la vitesse des mouvements en jeu, tandis que faire effort, c'est rajouter un élan à l'action défaillante ou passer d'un rythme donné à un rythme supérieur. Or, c'est précisément cet élément d'accélération de l'action qui correspond à la notion physique de la force.

Par contre, en plus de la « conduite de l'effort », il existe un « sentiment de l'effort », c'est-à-dire une prise de conscience plus ou moins adéquate de la conduite de l'accélération. Or, le rôle qu'a joué le sentiment de l'effort dans la psychologie moderne est extrêmement instructif au point de vue d'une épistémologie de l'action ou de l'opération. Maine de Biran a interprété le sentiment de l'effort (par opposition à la conduite correspondante) comme étant la source, non seulement de la notion de force, mais encore de l'idée de causalité elle-même : le sentiment de l'effort, pensait-il, est lié au courant nerveux efférent, qui va du cerveau aux muscles, et il traduit ainsi directement l'action de notre volonté, c'est-à-dire de la « force » psychique immédiatement appréhendée comme une cause, et même comme la seule cause donnée dans l'expérience pure. Mais William James et les psycho-physiologistes contemporains ont été conduits à inverser les termes du rapport : le sentiment de l'effort est centripète et périphérique, et non pas central ou centrifuge. Il est l'expression de la résistance sentie par les organes en contact avec l'objet, et c'est par une élaboration dérivée de cette impression périphérique que nous attribuons l'effort à notre moi et à la volonté. Ainsi la prise de conscience attachée à la conduite de l'accélération n'en traduit pas le mé-

canisme intime, mais seulement le résultat, et cela conformément à une loi générale, selon laquelle la prise de conscience procède de l'extérieur à l'intérieur, c'est-à-dire des aboutissements de l'acte à ses coordinations préalables.

Il y a donc dans l'expérience de la force liée à nos actions, une dualité très comparable à celle que l'on trouve dans l'expérience active du mouvement et de la vitesse : d'une part, l'action comme telle, source d'opérations objectives, et, d'autre part, la prise de conscience subjective, égocentrique et déformante, de l'action. Or, l'action elle-même est ici une conduite d'accélération, source de l'idée rationnelle de la force et liée de près à la notion de vitesse, tandis que la prise de conscience de la force, source de l'idée préscientifique d'une force créatrice et substantielle, est analogue à la prise de conscience initiale du mouvement et de la vitesse, c'est-à-dire à la notion de finalité.

Le parallélisme est donc complet. Et effectivement le sort historique de l'idée initiale de la force substantielle a été semblable à celui de la notion de cause finale en physique, tandis que la permanence des idées de force, fondée sur l'accélération, et d'énergie, fondée sur les transformations de la force, s'est révélée aussi durable, sinon davantage, que celle des idées simples de mouvement et de vitesse. C'est ce qu'il convient de rappeler en deux mots.

Après être née d'une prise de conscience inadéquate de l'effort musculaire, sur le plan sensori-moteur, la notion de force s'est immédiatement liée, sur celui de la pensée intuitive et prélogique, à l'animisme et à l'artificialisme. D'une part, en effet, dans la mesure où le moi, conscient et intentionné, est senti comme cause directe des mouvements propres, toutes les activités et tous les mouvements perçus dans le monde extérieur, sont d'abord assimilés à ce même schème : d'où l'animisme enfantin, qui commence par prêter la vie et la conscience à toute action matérielle externe, puis qui les réserve aux mouvements proprement dits, puis aux mouvements paraissant autonomes (le vent et les astres) et enfin seulement aux animaux et aux hommes. D'autre part, parmi les êtres auxquels le sujet accorde ainsi la vie et la conscience, il en est de particulièrement puissants et forts, qui ont fabriqué tous les autres et leur ont imposé les règles constituant les lois de la nature : ce sont les parents et les adultes, ou les Dieux. Cet artificialisme n'a rien de contradictoire avec l'animisme, puisque les bébés, le soleil et la lune, les montagnes, etc., sont conçues comme étant à la fois fabriqués et vivants, comme « nés » et cependant

susceptibles de croissance. C'est à ce même niveau mental que la force est, dans les sociétés primitives, considérée comme un « mana » répandu dans la nature et dans la société, émanant de la contrainte du groupe, c'est-à-dire à la fois de la volonté des ancêtres et de la vie des êtres et des hommes.

La force primitive est donc essentiellement cause des mouvements et de tous les mouvements, du simple mouvement de translation à la croissance et au changement en général (ces *motus ad formam, ad calorem*, etc. que Descartes déclarait inintelligibles). Comme telle, elle procède d'une causalité tour à tour biomorphique ou sociomorphique et morale, c'est-à-dire égocentrique à des degrés divers et née de la prise de conscience inadéquate de l'action propre. Les êtres, mobiles ou même immobiles, ne sont donc pas déterminés mécaniquement, mais à la fois du dedans, grâce à leur force vivante, et du dehors grâce à la force des volontés créatrices. Ainsi la lune se meut parce qu'elle est vivante, mais elle vient nous éclairer la nuit et non pas le jour « parce que ce n'est pas elle qui commande », etc.¹ C'est sans doute cette bipolarité initiale qui est au point de départ du schème des deux moteurs, que nous allons retrouver au niveau suivant, celui de la force au sens aristotélien du terme. Notons encore combien cette force primitive va de pair avec le finalisme des mouvements (§ 4) également lié à l'animisme : tout mouvement est ainsi encadré entre une cause, qui est une force vivante, et une fin, qui est le point d'arrivée fixé par une double intention à la fois interne et externe.

Cette notion animiste et artificialiste de la force disparaît en moyenne au terme de la période intuitive ou préopératoire. Avec la période des opérations concrètes (début des coordinations spatio-temporelles), par contre, nous assistons, dans la pensée de l'enfant, à un développement de la notion de force intéressant au point de vue de ses analogies avec le dynamisme de la physique d'Aristote. La vitesse étant définie comme une relation qualitative entre la durée et l'espace parcouru, sans métrique suffisante et surtout sans composition des vitesses relatives, le principe d'inertie demeure inconcevable et tout mouvement requiert encore une cause particulière, qui sera précisément la force. Mais cette force sera alors substantielle c'est-à-dire émanant des corps eux-mêmes, sans transfert possible ; et elle sera surtout active, en un sens créateur étant la manifestation d'une activité spontanée et ne prenant fin qu'une fois son résultat atteint. Héritière de l'animisme et de l'artificialisme du niveau précédent, elle sera une vie, mais sans conscience, et une activité productrice, mais devenue immanente à la nature et aux corps.

¹ Voir PIAGET, *La causalité physique chez l'enfant*, Paris (Alcan).

Une conséquence fondamentale de cette absence de cinématique ou de relativité du mouvement est alors la suivante : lorsqu'un corps agit sur un autre, il ne saurait y avoir simple mouvement transitif, ni transfert d'une énergie ; la force de l'un des mobiles se bornera donc à exciter celle de l'autre, c'est-à-dire que le mouvement supposera un double moteur, un moteur interne qui est la force propre du mobile, et un moteur externe qui déclenche le premier. Un mouvement aussi simple en apparence que celui de l'eau d'une rivière en pente s'explique par exemple par l'union de deux causes : l'eau a « son élan », qui est le moteur interne ; mais, d'autre part, il faut que quelque force extérieure l'excite, et ce peut être le vent, l'air, etc. mais surtout les cailloux, autour desquels l'eau tourbillonne parce qu'elle « prend son élan » pour les dépasser et franchir cet obstacle. Le rapport du vent et des nuages est un autre exemple remarquable de ce genre d'explication : les nuages avancent à cause du vent qui les pousse, mais ils font eux-mêmes du vent en se déplaçant !

Cette explication, dont la fréquence nous a frappé, nous a incité à poser à nos sujets la célèbre question du mouvement des projectiles, dont on sait qu'Aristote a été conduit à la soulever en fonction précisément des difficultés que rencontre en ce cas la théorie des deux moteurs : le lieu propre des corps graves étant le bas, comment se fait-il que la flèche quittant l'arc, ne tombe pas directement sur le sol, puisqu'elle n'est plus accompagnée par son moteur externe ? Cette question a d'autant plus d'intérêt qu'elle constitue comme un indice de la réaction au mouvement inertial : selon la notion péripatéticienne de la force, il n'est, en effet, pas question que la flèche conserve simplement l'impulsion reçue, comme il semblerait cependant que cela fût évident pour le sens commun. Mais c'est ici que l'analyse génétique se révèle nécessaire, car le sens commun n'est que le résidu des idées ambiantes d'une époque, en particulier de celles qui sont attachées aux techniques de la société considérée. Notre sens commun peut donc être influencé par la mécanique classique à travers le machinisme, et n'importe quel automobiliste sait que l'air soulevé par sa machine ne la pousse pas mais la retarde, sauf à lui donner une forme permettant d'utiliser les tourbillons. Qu'en est-il donc de l'enfant ? Nous avons posé la question en invoquant soit le lancer d'une balle, soit le trajet d'une allumette projetée d'un mouvement brusque de l'index et glissant jusqu'au bord du plateau d'une table pour continuer ensuite dans l'air. Or les réactions ont été très nettes : au niveau préopératoire le sujet se borne à dire que la balle ou l'allumette décrit sa trajectoire « parce que vous la lancez » ; mais, au niveau des opérations concrètes (en particulier vers 9-10 ans), l'enfant fournit exactement les deux explications complémentaires invoquées par Aristote lui-même.

D'une part, le projectile est poussé par l'air qu'il déplace lui-même en avançant (« réaction environnante » ou *αντιπεριστασις*) et d'autre part, il est accompagné par l'air que la main ébranle en poussant l'objet. Dans le vide, selon l'enfant, la balle ou l'allumette tomberaient aussitôt.

Enfin, au niveau des opérations formelles, la notion de force, tout en conservant naturellement un certain nombre des caractères élaborés durant les périodes précédentes, évolue cependant du fait que le sujet devient capable de composer des vitesses et de saisir la relativité du mouvement. La réaction environnante est donc éliminée et le mouvement des projectiles s'explique par une simple conservation de l'élan reçu, en analogie avec la théorie de l'*impetus*, que certains auteurs du Moyen Age avaient empruntée à Hipparque pour l'opposer à celle d'Aristote. Par contre, et en opposition avec ce début de conservation du mouvement tendant à éliminer le rôle des forces, on voit poindre, grâce au progrès de la métrique et de la composition des vitesses, une notion relativement exacte de l'accélération, dans le cas p. ex. du mouvement de chute sur un plan incliné : ¹ or, c'est cette notion même qui est au point de départ de la notion scientifique de la force.

Nous constatons au total que, en analogie avec la constitution des notions de temps, de mouvement et de vitesse, le développement de l'idée de force résulte d'une décentration progressive des rapports, à partir de l'égoïsme initial et dans le sens de la mise en relation opératoire. D'abord liée à une prise de conscience inadéquate de l'effort inhérent à l'activité propre, la force fournit une apparence d'explication pour les mouvements dont le déclenchement et le ralentissement final demeurent mystérieux. Mais, ainsi interprétés en fonction de l'action intentionnelle, puis simplement d'un dynamisme biomorphique, ces mouvements finissent par se scinder en deux catégories, ceux qui conservent plus ou moins leur élan inertial, et sont simplement freinés par le milieu environnant, et ceux dont l'accélération soulève le vrai problème de la force. Ici s'arrête l'analyse pour ainsi dire embryologique de la notion de force et s'impose par le fait même le recours à l'histoire des sciences. Il n'en est que plus intéressant de noter que, si les représentations préscientifiques de la force sont donc dues à une assimilation déformante des phénomènes aux schèmes tirés du sentiment de l'effort, la notion scientifique de la force débute lorsque les mouvements observés dans le monde extérieur ré-

¹ *Les notions de mouvement et de vitesse chez l'enfant*, chap. XI.

vèlent cette accélération dont la conduite de l'effort (en tant que comportement objectif et non plus en tant qu'introspection subjective) fournit précisément l'équivalent biologique. Ainsi, comme bien souvent, la décentration de l'action permet d'atteindre simultanément le donné objectif externe et les racines internes elles-mêmes de l'action décentrée : ce qui revient à dire que, une fois éliminées les adhérences subjectives qui faussent la prise de conscience initiale de la force, le sujet découvre l'accélération à la fois dans l'expérience extérieure du mouvement des objets et dans l'expérience intérieure des mouvements propres. Mais, bien entendu, ici comme partout, la découverte d'un fait d'expérience (interne aussi bien qu'externe) suppose une coordination opératoire rendant possible la lecture de ce fait. Dans le cas particulier, cette coordination porte sur l'élaboration spatio-temporelle des vitesses. En conclusion, de même que les notions de temps, de mouvement et de vitesses ne deviennent rationnelles qu'en éliminant, par un processus continu de décentration, la finalité initiale résultant de leur prise de conscience incomplète, et en constituant un système de coordinations opératoires, de même la notion de force acquiert ce même caractère en se détachant, par une décentration analogue, du sentiment de l'effort, pour insérer l'expérience de l'accélération dans les coordinations spatio-temporelles et cinématiques.

§ 6. L'ÉVOLUTION DES CONCEPTS MÉCANIQUES ET DES SYSTÈMES DU MONDE : DE L'ABSOLU ÉGOCENTRIQUE À LA DÉCENTRATION RELATIVISTE. — Le processus d'évolution que nous venons d'analyser, sous la forme d'une décentration graduelle des notions de temps, de mouvement, de vitesse et de force, présente cet intérêt de converger avec ce qui paraît être la principale loi de développement des notions mécaniques et des systèmes du monde au cours de l'histoire des sciences. Il ne saurait être question de résumer ici en quelques pages l'histoire des cosmologies, qui a été écrite par tant de bons auteurs et même par des physiciens de la valeur de P. Duhem. Mais il est indispensable, si l'on veut essayer d'expliquer les concepts scientifiques par leur genèse psychologique, de dégager, là où ils existent, les mécanismes communs au développement individuel et au développement historique : or, on ne saurait trouver un terrain plus propice à une telle recherche que celui de l'élimination des facteurs subjectifs.

La grande leçon que comporte l'examen de la genèse des

notions cinématiques et mécaniques est, en effet, la dualité de valeur et de destinée des apports du sujet dans la construction de tels concepts : toutes nées de l'activité propre, ces notions sont, d'abord, subjectives en tant que conditionnées par l'égo-centrisme initial de cette activité, mais elles ne parviennent à se décentrer et à devenir objectives que grâce à un système d'opérations coordonnées, constituant une seconde forme de l'action du sujet. Il existe donc deux manifestations de l'activité du sujet : l'une est subjective en tant qu'égocentrique et diminue d'importance au cours du développement, tandis que l'autre est opératoire et se manifeste par la décentration et la coordination, augmentant ainsi d'importance au cours de l'évolution. À l'égo-centrisme appartiennent le temps propre initial, qui empêche la constitution d'un ordre temporel commun, des simultanités et des synchronisations entre durées lorsque les mouvements considérés sont de vitesses différentes ; à l'égo-centrisme appartiennent également le finalisme inhérent aux mouvements déterminés par leur seul point d'arrivée et aux vitesses caractérisées par le seul dépassement, finalisme faisant ainsi obstacle à leur coordination et à leur mesure, ainsi que l'animisme de la force liée à l'effort intentionnel. À la décentration opératoire appartiennent par contre la constitution d'un temps homogène (à notre échelle) la mesure et la composition des mouvements et des vitesses et le rattachement de la force aux accélérations distinctes des mouvements inertiels : or, la formation de chacune de ces notions suppose la participation du sujet opérant, dans l'exacte mesure où leur objectivité n'est plus le fait de l'intuition immédiate d'une chose — intuition demeurant précisément toujours égocentrique, parce que phénoméniste ! — mais de l'élaboration d'une relation par rapport à laquelle l'observateur est obligé de se situer en même temps qu'il la construit.

Or, chacun voit que ce problème de la décentration est étroitement apparenté à celui que soulève l'évolution des théories mécaniques et des cosmologies : il converge ainsi avec ce que l'on pourrait appeler la question du déplacement graduel de l'absolu. En parallélisme frappant avec ce que nous venons de rappeler du développement individuel des notions, les faux absolus liés à l'anthropocentrisme des cosmologies primitives sont progressivement remplacés par de nouveaux absolus, mais dont le caractère paradoxal consiste en ce qu'ils sont atteints au travers seulement d'un système de coordinations rendant relatifs les points de vue de l'observateur, mais

assurant l'objectivité de l'ensemble grâce à leur réciprocité même. Le développement des cosmologies comme celui de la représentation physique individuelle est ainsi caractérisé par le passage de l'égoïsme à la décentration et à la coordination opératoire, donc de l'égoïsme à la mise en relation et au relativisme. De possesseur immédiat d'un absolu, mais égoïste, le sujet devient donc le constructeur médiat de nouveaux absolus, et d'autant mieux assuré de ses conquêtes qu'il sort davantage de lui-même et considère son point de vue comme plus relatif. En d'autres termes, le sujet est un centre de rapports, et, dans la mesure où il s'appuie sur le centre, il déforme la réalité de la manière communément appelée « subjective », tandis que dans la mesure où il le décentre, c'est-à-dire le coordonne avec tous ceux dont peuvent émaner d'autres rapports, il construit des relations de relations, ces relations de degrés croissants constituant alors les opérations dont la composition serre de toujours plus près l'objet. C'est donc dans cette décentration coordinatrice que le sujet est le plus actif, tandis que son égoïsme initial est soumission passive au point de vue spontanément lié à l'activité propre. Quant à l'objet, il semble ainsi reculer constamment, mais c'est de ce recul que dépend sa détermination « objective » ; d'autre part, qui dit recul dit par cela même distance toujours plus grande à parcourir jusqu'à lui et par conséquent solidarité entre cette objectivité et les démarches du sujet.

Tel est le processus qui, après s'être esquissé dans la psychogenèse des notions, caractérise les grandes lignes de l'histoire des conceptions mécaniques et cosmologiques. Le principe de l'épistémologie génétique est, en effet, de chercher à déterminer le rôle du sujet et de l'objet en les envisageant non pas en soi, mais dans le processus même de l'accroissement des connaissances. À cet égard, ce n'est qu'en reliant les extrêmes par des lois du développement que l'on peut espérer saisir la portée des notions les plus évoluées. On a, p. ex., voulu utiliser la théorie de la relativité dans les fins les plus diverses, de l'idéalisme au réalisme caractéristiques de toutes les nuances métaphysiques et positivistes. La question se simplifie peut-être si l'on cherche sans plus à relier les démarches de l'esprit dans la construction d'une telle conception aux attitudes qui, à tous les niveaux du développement mental, aboutissent à un progrès de l'objectivité grâce à une conquête de la mise en relations. Or, s'il est vrai que l'objectivité est fonction du recul

de l'objet, et par conséquent de l'accroissement, en nombre et en complexité, des démarches du sujet, la question est alors de savoir jusqu'à quel point l'on peut dissocier l'objet de l'objectivité comme telle. Pour le réalisme, l'objectivité est une attitude du sujet qui se met en état d'atteindre l'objet. Pour l'idéalisme, l'objet est constitué par l'objectivité elle-même, laquelle devient donc objectivation, ou création de l'objet. Du point de vue d'une épistémologie génétique, par contre, qui ne connaît pas de sujet en soi, mais seulement les étapes de formation du sujet, ni d'objet en soi, mais seulement les objets successifs reconnus par le sujet au cours de ces étapes, il y a évidemment relation entre l'objectivité et les objets, mais il s'agit de déterminer ce rapport par le développement lui-même. À cet égard, l'histoire des conceptions cosmologiques est, plus que toute autre, apte à préciser une telle relation, car ces conceptions consistent essentiellement en recherches de l'absolu : or, il se pourrait que les types d'objets reconnus comme tels à chaque niveau mental et lors de chaque nouveau système du monde fussent solidaires des coordinations qui assurent l'objectivité, tout en se rapprochant chaque fois davantage de cette limite constituée par l'objet en soi. Que cette limite existe ou non, nous ne saurions naturellement pas l'affirmer d'avance, ni, et encore moins, déterminer en quoi elle consiste : mais, à étudier la série même des types d'objets qui se succèdent dans la poursuite d'un tel état limite, et en nous bornant à connaître les termes de la série déjà réalisés, nous pouvons espérer que l'on parviendra tôt ou tard à reconnaître si cette série est divergente ou convergente, et, au cas où elle converge vers une limite, à discerner l'orientation de celle-ci. En attendant, et sans spéculer en rien sur les termes à venir dont on ne saurait anticiper la structure, il s'agit donc de chercher à établir la loi de transformation qui commande la série, car seule la possession d'une telle loi permet de parler de série.

La méthode à suivre consiste ainsi à distinguer, lors de chacune des étapes de l'évolution des notions mécaniques et des systèmes du monde, ce qui constitue l'absolu atteint au cours de cette période, et ce qui est relatif. En chaque conception de l'univers, il existe, en effet, un absolu, et chacun sait que la théorie de la relativité a abouti, plus qu'aucune autre, à mettre en évidence le caractère absolu de certaines lois de la nature, indépendamment de tout système de référence. En un tel état de choses, le relatif révélera alors le rôle des opérations dont est obligé d'user le sujet, observant le réel

des points de vue particuliers liés à sa condition d'observateur, pour mettre en évidence les caractères de l'objet. Quant aux absolus successifs, leur succession même et la destruction corrélatrice des absolus précédents nous renseigneront sur les caractères propres à l'objet de la connaissance et sur son indépendance ou sa solidarité par rapport aux opérations du sujet.

C'est ainsi que, au cours des § 2 à 5 de ce chapitre, l'étude de la genèse même des notions de temps, de mouvement, de vitesse et de force nous a déjà montré comment les faux absolus égo-centriques du temps propre, de la finalité des mouvements et de la force vivante liée à l'effort musculaire ont dû être remplacés par des absolus spatio-temporels décentrés par rapport au moi, mais accessibles au travers seulement des opérations du sujet. C'est donc, en un tel cas, la mise en relations actives, et, par conséquent, la découverte de la relativité des points de vue liés à l'activité propre, qui seules ont permis l'objectivation de l'objet. Le problème est alors de savoir s'il s'agit d'un accident spécial à la genèse des notions, ou d'un processus qui se retrouve dans la fabrication de toutes les cosmologies.

§ 7. DE L'UNIVERS DES « PRIMITIFS » AU SYSTÈME DU MONDE D'ARISTOTE. — Pour autant que la genèse des notions est à chercher dans l'action, au cours du développement mental individuel, il est à supposer que sur le terrain collectif qu'est celui de l'histoire des systèmes du monde et de la pensée scientifique, il existe une relation étroite entre l'évolution de la pensée et celle des techniques. Ce n'est naturellement pas à dire que le progrès des sciences s'explique par les nécessités de leurs applications, et c'est bien souvent en se désintéressant de tout but utilitaire que la science a fait ses conquêtes. C'est le cas en particulier des mathématiques, que les Grecs ont détachées avec un soin jaloux des préoccupations empiriques (calcul concret, arpentage, etc.) dont s'étaient inspiré les découvertes des Egyptiens. Il est vrai que, liées aux coordinations générales de l'action et non pas aux actions spécialisées, les structures logico-mathématiques sont assurément plus indépendantes des techniques que les notions physico-chimiques, encore que ces coordinations s'affinent fréquemment à l'occasion des conquêtes physiques. Mais le rapport entre les systèmes du monde et les techniques, pour moins simple qu'il soit, ne s'en impose pas moins, en ce sens que les premiers constituent la philosophie des techniques (en leurs lacunes et limi-

tations, comme en leur extension) acquises par la société correspondante, qu'il s'agisse de techniques utilitaires ou, dans la suite, des techniques propres aux recherches physiques elles-mêmes. Même la « mentalité primitive » doit être envisagée sous cet angle, comme constituant précisément le système du monde propre à des sociétés dont les techniques naturelles demeurent rudimentaires et dont les suppléances magiques et surnaturelles jouent un rôle d'autant plus important. Il est frappant, de ce point de vue, de constater combien l'un des principaux partisans de L. Lévy-Bruhl, Ch. Blondel, en est venu à réagir contre l'insuffisance des investigations à cet égard en fondant finalement sa psychologie et sa sociologie de l'intelligence sur le rôle des techniques ¹,

Mais un tel point de vue est loin d'être admis par chacun, et Essertier a écrit tout un livre ² (reposant d'ailleurs sur des vues de l'esprit plus que sur une enquête inductive systématique) pour montrer que l'homme a longtemps été « un mécanicien ignorant la mécanique » et que la réflexion scientifique est donc indépendante des actions effectives. Mais si la formule est heureuse, elle montre précisément que les actes précèdent la pensée, et elle se borne à poser le problème des rapports entre eux. Or, pour résoudre ce problème, il s'agirait, d'une part, de dégager les connexions psychologiques exactes entre les schèmes sensori-moteurs, les schèmes intuitifs, les opérations concrètes et les opérations formelles, et, d'autre part, des connexions sociologiques entre les techniques et les mentalités collectives. Malheureusement si la première de ces études est relativement aisée, la seconde n'est pas faite et demeurera sans doute toujours incomplète, faute de pouvoir reconstituer avec précision l'histoire de la pensée corrélatrice à la succession des découvertes techniques de l'homme fossile.

Quant à la « mentalité primitive » actuelle, seule base de départ dont nous disposons, elle présente ce grand intérêt de fournir l'exemple d'un système du monde correspondant à des techniques insuffisantes : son caractère prélogique, excellemment étudié par L. Lévy-Bruhl, tient sans doute justement à ces insuffisances ou aux causes mêmes qui les expliquent. Il est d'abord à noter que, si « consacrées » par un ritualisme mystique et si accompagnées de magie que soient les techni-

¹ Ch. BLONDEL, *Intelligence et techniques*, Journ. de Psychol., 1938, p. 325.

² D. ESSERTIER, *Les formes inférieures de l'explication*, Alcan 1927.

ques des « primitifs », elles n'en constituent pas moins, en tant qu'actions, un système d'actes adaptés : leurs huttes résistent aux intempéries, leurs canots tiennent l'eau, et leurs flèches atteignent le gibier. Il serait donc d'une importance évidente de connaître dans le détail l'intelligence pratique et les diverses techniques en usage dans une société « primitive » pour pouvoir situer avec fruit l'intelligence réflexive ou verbale et les représentations collectives portant sur l'univers correspondant. De ce point de vue, le problème de la pensée prélogique est commun au primitif et à l'enfant.

Certes, il existe de grandes différences entre la mentalité primitive et celle de l'enfant. Les principales sont que la première est collective et que la seconde est seulement en voie de socialisation ; que le primitif est un adulte travaillant pour vivre, tandis que l'enfant agit en fonction d'intérêts momentanés ; le primitif vit dans l'inquiétude que lui causent les puissances malfaisantes alors que l'enfant est confiant dans celles qui l'entourent ; etc. Néanmoins, les rapports entre la pensée et l'action sont comparables jusqu'à un certain point dans les deux cas. Malgré une élaboration sensori-motrice des conduites déjà appréciable mais non consciente de ses mécanismes, la pensée symbolique, une fois constituée chez l'enfant, dépasse aussitôt la zone des vérités contrôlables par les actions : dans la mesure où celles-ci demeurent courtes et insuffisamment coordonnées, la pensée à ses débuts s'évade en effet dans le jeu, le mythe et le domaine des explications verbales, oscillant entre l'égoïsme et l'invocation de la toute puissance adulte. Chez le primitif, de même, l'insuffisance des techniques matérielles et le caractère non réflexif de leurs coordinations naissantes est compensé par un foisonnement de techniques surnaturelles (actions exercées par le geste, l'image et le mot) et laisse une marge largement ouverte à l'imagination mythologique et prélogique. Pour ce qui est, en particulier, des opérations logico-arithmétiques, on ne saurait nier la ressemblance entre les participations prélogiques ou les nombres intuitifs adhérant aux collections elles-mêmes, que l'on trouve chez le primitif, et les structures préconceptuelles ou prénumériques de l'enfant de 2 à 6-7 ans. Du point de vue du temps, la même absence d'un temps commun et homogène s'observe dans les deux cas. Le finalisme animiste du mouvement constitue également un trait de parenté (le chef Indien, cité par Mach d'après Powell,¹ et attribuant le vertige à une pierre qu'on ne parvient pas à lancer de l'autre côté d'une gorge, donne une explication typiquement enfantine), etc.

Or, du point de vue du système du monde et des rapports,

¹ Voir MACH, *La Connaissance de l'erreur* (trad. Dufour), Flammarion, p. 125-6.

qui nous intéressent seuls ici, entre le relatif et l'absolu, ou entre le sujet et l'objet, le caractère le plus remarquable de l'univers des primitifs est que rien n'y est conçu comme relatif à la position d'observateur ou de sujet (sauf naturellement en ce qui concerne la perception, p. ex. de la perspective ou des effets de profondeur, etc., par opposition aux notions correspondantes). Les rêves eux-mêmes ne sont pas conçus comme relatifs au sujet et font partie de la réalité physique ; les noms également, etc. Les astres (et ceci est essentiel pour la comparaison avec les niveaux ultérieurs) sont considérés comme de petits objets, situés à la hauteur des nuages et dont le mouvement n'est ni autonome ni assuré de régularité. De même que l'enfant se considère longtemps comme suivi dans ses allées et venues par la lune, dont il commande ainsi les mouvements, de même les anciens Chinois encore considéraient que le Fils du Ciel réglait la marche des astres et des saisons en faisant le tour de son royaume (puis simplement de son palais). Bref, il n'y a pas de distinction essentielle entre l'apparence et la réalité, entre l'indice ou le signe et les choses signifiées : tout est réalité directement appréhendée, même le monde occulte qui se révèle sans cesse par des manifestations visibles, et l'absolu se confond avec cette réalité entière sans aucune espèce de relativité intellectuelle.

Or, comparé à ce que les niveaux ultérieurs nous ont appris du réel, cet absolu global de départ présente deux caractères extrêmement instructifs par leur liaison même : il est simultanément et indissociablement égocentrique et phénoméniste.

Il est égocentrique, mais sous une forme qui n'est pas celle de la pensée de l'enfant, puisque celle-ci est seulement en voie de socialisation et reste donc centré sur l'individu et sur les rapports avec ses proches (d'où l'artificialisme dû au pouvoir de l'adulte, etc.). L'égocentrisme intellectuel du primitif est donc sociocentrisme ou « sociomorphisme » comme l'a bien dit Durkheim. Mais la société consistant en petites tribus, confinées sur de petits territoires, la différence d'échelle entre l'égocentrisme enfantin et le sociomorphisme du primitif est négligeable du point de vue de la formation des idées physiques et des systèmes du monde : dans le sociomorphisme comme dans l'égocentrisme, le fait essentiel est que l'univers a un centre et que ce centre absolu est le petit ensemble inter-individuel auquel appartient le sujet. L'espace a ainsi un centre, qui est le territoire du village. Le temps est commandé par le calendrier social et les séquences temporelles sont subordonnées aux liaisons magiques et mystiques qui font fi de l'ordre et de la durée opératoires au profit de quelques intuitions élémentaires

de succession et de vitesse. La force est le « mana » du clan. La causalité est l'expression des volontés qui commandent au groupe social. Comme I. Meyerson l'a remarqué¹, l'assimilation du monde physique au monde social aboutit à la notion d'un équilibre instable, dont la conservation est liée à celle des usages, et ceux-ci prennent, de ce fait même, un aspect rationnel (« nous observons nos vieilles coutumes afin que l'Univers se maintienne », a dit à Rasmussen un vieil Esquimau) ; il n'en reste pas moins que ce besoin de conservation, d'ailleurs affectif plus qu'intellectuel, est dérivé par rapport à une indifférenciation primaire entre le physique et l'humain, c'est-à-dire à nouveau par rapport à une attitude égocentrique.

Mais, en même temps qu'il est égo- ou sociocentrique, ou, plus précisément, parce qu'il est égocentrique l'univers absolu du primitif est phénoméniste, c'est-à-dire que la surface du réel n'est pas distinguée d'une réalité physique qui serait déduite sous les apparences. C'est ainsi que les phénomènes sont liés les uns aux autres selon leurs simples séquences empiriques : le portrait de la reine Victoria peut déclencher une épidémie comme des ombres chinoises faites sur la toile de sa tente par un voyageur aboutissent le lendemain à une pêche exceptionnellement fructueuse. Mais pourquoi l'apparence et la réalité ne sont-elles pas différenciées ? C'est qu'une telle dissociation suppose une continuelle décentration de la pensée, c'est-à-dire une séparation possible de l'objectif et du subjectif, et que cette décentration est précisément l'inverse de l'égo-centrisme intellectuel qui la tient en échec. Dans son intéressant examen critique des thèses de L. Lévy-Bruhl, I. Meyerson attribue ces liaisons phénoménistes à de « faux raisonnements » ; sans doute, mais il ne saurait y avoir de raisonnement correct sans la décentration nécessaire à toute mise en relations objectives.

Ce n'est pas le lieu de rechercher ici les raisons, essentiellement sociales, qui ont pu provoquer le déclin de la mentalité « primitive » et son passage à la mentalité caractéristique du niveau des opérations concrètes. Deux facteurs ont été en particulier invoqués et il est d'un certain intérêt épistémologique de souligner leur étroite interdépendance, et leur action convergente dans le sens de la décentration de la pensée. Le premier est le mélange des unités sociales initiales en totalités plus vastes et plus denses, d'où résulte à la fois une division du travail économique et une différenciation psychologique des individus. L'autre

¹ I. MEYERSON, *Année Psychol.*, t. XXIII (1922), p. 214.

est le progrès même des techniques, lié à cette division du travail et à cette différenciation mentale.

Ce progrès aboutit tôt ou tard à une intériorisation des actions en opérations concrètes et par conséquent à la constitution d'une logique pratique (comparable à celle des enfants civilisés entre 7 et 11 ans). Il ne s'agit, bien entendu alors que d'opérations concrètes et non pas formelles, c'est-à-dire conduisant à une science empirique et non pas théorique. Seulement ces opérations concrètes suffisent à modifier en certains points essentiels le système du monde.

Prenons comme exemple celui des Chaldéens. Encore pénétrés de mythologie primitive dans leur représentation de l'univers, et rattachant en particulier leurs observations sur le ciel étoilé à toute une astrologie sociomorphique, ils n'en ont pas moins été conduits, par la technique propre à un peuple de bergers, adorateurs des astres, à des mesures du temps et à des déterminations de mouvements célestes qui toutes deux marquent un progrès essentiel dans la distinction de l'absolu et du relatif et par conséquent dans la décentration du monde eu égard au sujet. Perfectionnant le gnomon simple en un « polos » hémisphérique divisé en parties égales¹, ils sont ainsi parvenus à déterminer l'heure en fonction de la trajectoire du soleil, en mesurant la direction et la longueur des ombres. Que le « polos » ait été inventé, comme le veut Sageret, pour des raisons mystiques tenant au culte de Samas, le soleil, ou pour des raisons pratiques, il n'en constitue pas moins un instrument, et même « d'une importance capitale, l'ancêtre de tout l'appareillage astronomique »². Or, l'usage de cette technique, sans conduire à la constitution d'une géométrie ni d'une astronomie théoriques (malgré la connaissance chaldéenne des éclipses, etc.) a abouti néanmoins à cette découverte fondamentale dans l'histoire des systèmes du monde : que les astres ont une trajectoire indépendante ou autonome, dont dépend le groupe social (matériellement et sans doute longtemps encore mystiquement) mais qui n'est plus réglée par les fêtes saisonnières ni par les marches et contremarches des humains vivants ou décédés.

Un seul fait suffira à illustrer la différence des points de vue : tandis que les premiers astronomes chaldéens cherchaient à déterminer des trajectoires objectives, la croyance populaire attribuait toujours aux étoiles le pouvoir d'accompagner les hommes, comme en témoigne la légende biblique des trois rois

¹ Voir sa description dans J. SAGERET, *Le Système du Monde des Chaldéens à Newton*, Alcan (2^e éd.), p. 106.

² *Ibid.*, p. 111.

mages guidés par le luminaire céleste. Nous constatons ainsi qu'au lieu d'une mentalité encore profondément sociomorphique, et malgré toutes les survivances « primitives », l'élaboration d'opérations concrètes portant sur le mouvement, la vitesse et le temps se traduit par un début de décentration intéressant l'ensemble de l'univers, donc par une diminution simultanée d'égoцентризм et de phénoménisme.

Seulement, si un tel début de décentration ou d'objectivité marque bien une première dissociation entre l'absolu et le relatif (dans le cas particulier, entre la trajectoire réelle de certains astres et les mouvements apparents liés à l'observation immédiate des observateurs en marche), cet absolu demeure, et pour une part toujours considérable, centré sur le sujet : la terre est encore conçue comme plate (elle est il est vrai déjà hémisphérique chez les Chaldéens) ; elle est limitée (le traité mathématique chinois Tscheou-Peï en calcule même l'étendue en se fondant sur un principe gnomonique)¹ ; elle flotte sur un liquide ou demeure sans support, etc. ; mais dans tous ces cas, elle constitue le centre du monde et est simplement surmontée d'une croûte solide formée par le firmament. Les verticales, en particulier, sont absolues, étant toutes perpendiculaires au sol horizontal.

C'est seulement avec le début des opérations formelles, chez les Grecs, que la distinction entre l'absolu et le relatif prend une valeur de principe réflexif. Les présocratiques déjà opposaient la vérité à l'opinion et aux apparences illusives, et cherchaient une explication de la nature par elle-même, en réaction contre l'imagination mythologique des causes. C'est en se libérant à la fois de l'égoцентризм et du phénoménisme des explications courantes, qu'Empédocle découvre ainsi que l'air est une substance, et que l'ombre ou la nuit n'en sont pas, contrairement aux apparences et aux interprétations animistes et finalistes du sens commun d'alors. Du point de vue du système du monde cette inversion de sens à l'égard de l'égoцентризм et du phénoménisme spontanés donne d'emblée lieu à un ensemble de conceptions, très diverses et souvent incompatibles entre elles, mais dont le trait commun est la décentration décisive qu'elles entraînent par rapport à la cosmologie du niveau des opérations concrètes. C'est ainsi que la sphéricité de la terre est admise, peut-être dès Pythagore, (alors que les Babyloniens n'étaient parvenus qu'à la demi-sphéricité), doit le non-parallélisme des verticales. Les astres sont pourvus

¹ SAGERET, *loc. cit.*, p. 55-6.

de dimensions contredisant leur apparence sensible, et leurs mouvements sont interprétés en fonction de modèles géométriques débordant largement la constatation empirique. Ces conquêtes dans la direction d'une extension des échelles supérieures trouvent leur symétrie à l'échelle de l'invisible, dans les théories de l'atomisme du vide, et de l'attraction des éléments, avec un début de décentration eu égard aux notions du « haut » et du « bas ». Bref, les opérations formelles, nées d'une articulation à la fois constructive et réflexive des opérations concrètes font aussitôt craquer le cadre et la réalité sensible, au profit d'une décentration à toutes les échelles et d'une élaboration de coordinations nouvelles.

Or, malgré ce foisonnement d'idées audacieuses, dont les plus proches de la science moderne ont d'ailleurs souvent été utilisées dans un sens négatif et non pas constructif¹, le système d'Aristote marque un retour systématique au sens commun, en réaction contre la physique des présocratiques (notamment l'atomisme), ainsi que contre le mathématisme platonicien. Mais précisément à cause de sa position de « juste milieu » le système péripatéticien du monde fournit une image précieuse de ce qu'a pu demeurer, pour la physique grecque, l'absolu de la réalité malgré le relativisme naissant.

Du point de vue où nous nous plaçons ici, le fait dominant de la cosmologie des Grecs, comparée à celle de Copernic et de Galilée, est que l'univers a un centre. Selon l'une des conceptions les plus hardies dont Aristote se sépare, celle de Philolaos, le centre n'est pas la terre, mais le feu central, autour duquel tournent circulairement l'antiterre, la terre, la lune, le soleil et les cinq planètes (ces dix corps étant eux-mêmes entourés par la sphère des fixes et le feu extérieur). Mais Aristote objecte que la terre, étant lourde, doit occuper elle-même le centre de tout. Sphérique parce que sa surface est partout perpendiculaire aux rayons du monde, c'est-à-dire aux lignes de force selon lesquelles les corps lourds sont attirés vers le centre, et immobile parce qu'occupant ce centre, la terre constitue ainsi le noyau de l'univers. La verticale est donc relative au centre de la terre, mais il y a toujours un « haut » et un « bas » absolus, puisque déterminés par le fait que le centre de la terre se confond avec celui du monde. D'où cette conséquence capitale que l'espace n'est pas homogène ni isotrope, qu'il n'admet

¹ Cf. (outre les arguments de Zénon qui frôlent le calcul infinitésimal) la relativité du mouvement de Sextus Empiricus : deux mouvements de sens inverse peuvent aboutir à une immobilité réelle ; p. ex. un homme sur un navire et marchant en sens contraire de celui-ci peut être en réalité immobile par rapport à la rive.

pas les similitudes et qu'il est fini. Il en résulte un dualisme de principe, très caractéristique de la pensée antique : celle-ci oppose, en effet, à l'espace géométrique d'Euclide, qui est homogène, isotrope, insensible à l'échelle de grandeur des figures et infini, un espace physique contraire à ces propriétés !¹ Mais surtout l'espace physique d'Aristote agit sur les corps, en vertu de ce fait même qu'il est centré : il assigne à tous les objets matériels un « lieu propre », à titre de qualité inhérente à leur nature ou de condition de la réalisation de celle-ci : d'où le mouvement des graves vers le bas et des corps légers vers le haut, mouvements « naturels » puisque dus à une tendance immanente à chaque corps et faisant partie de ses attributs essentiels.

Il s'ensuit une série de conséquences fondamentales quant à l'interprétation du monde physique et de la mécanique. Tout d'abord, ce monde n'étant pas homogène, il implique une hiérarchie des êtres, selon leur degré de perfection, c'est-à-dire une différence essentielle de comportement selon leur position dans l'espace. C'est ainsi que dans le monde céleste, où les corps n'ont plus de poids, étant formés de l'éther divin, leur mouvement est circulaire, parce que conforme à la trajectoire la plus parfaite, et de vitesse constante². Dans le monde sublunaire, par contre, les corps se séparent selon qu'ils tendent vers le haut ou vers le bas. En second lieu, les mouvements circulaires ou rectilignes sont seuls « naturels », en tant que dus à la tendance de chaque corps à la réalisation de sa nature ; mais il existe alors toute une catégorie de mouvements « contre nature, ou « violents » parce qu'imposés au mobile sans qu'ils résultent entièrement de sa tendance interne (tel est en particulier le mouvement des projectiles rappelé au § 4).

La finalité et la notion de force substantielle sont donc impliquées à un haut degré dans l'ensemble du système. Ce n'est pas le moindre intérêt de ce mode de pensée, à la fois formel, mais en réaction contre la formalisation mathématique, et régressant dans la direction des opérations concrètes, que de converger, à l'échelle d'un système intégral du monde, avec ce que nous montre la psychogenèse des notions au niveau situé à mi-hauteur entre les opérations concrètes et les opérations formelles : que le finalisme et le biomorphisme sont liés nécessairement à l'hypothèse d'une centration de l'univers, celle-ci émanant en réalité d'une centration sur l'activité humaine elle-même, c'est-à-dire de cet égocentrisme intellectuel inhérent à

¹ Voir R. WAVRE, *À propos de Copernic*, Rev. de théol. et de philos. (Lausanne), 1944.

² Cette constance de la vitesse, sans rapport avec le principe d'inertie, est sans doute un des seuls cas où une notion de conservation relève sans plus de l'identité meyerssonienne et non pas d'une construction opératoire.

la pensée spontanée (comme celle de l'enfant ou du sens commun). Les mobiles sont ainsi conçus par Aristote comme des sortes d'êtres vivants, moins la conscience : tendant vers des buts assignés par leur nature, ils ont par conséquent la capacité interne de les atteindre ; certes les corps inanimés n'ont pas comme les vivants le pouvoir de se déplacer d'eux-mêmes, mais ils possèdent le mouvement en puissance, en tant que celui-ci tend à réaliser leur forme, et c'est cette tendance qui constitue leur force interne et substantielle.

Carteron a excellemment montré¹ comment cette notion de la force s'oppose à ce que l'on parle d'une mécanique d'Aristote, malgré P. Duhem. En particulier, dans la théorie des deux moteurs, la force extérieure agit sur la force interne comme une sorte de processus chimique dans lequel une réaction est déclenchée par le contact sans en résulter directement. Nous parlerions plutôt d'un processus biologique, malgré la distinction d'Aristote entre l'animé et l'inanimé : la force externe ne se combine pas, à s'exprimer strictement, avec la force interne, mais elle en déclenche simplement l'activation, selon une sorte de relation « stimulus × réponse » ; et cela en fonction de la nature propre de cette force intérieure, comparable à un instinct élémentaire ou à un « tropisme ».

Restent le hasard et l'accident, irréductibles à la téléologie, et auxquels par conséquent Aristote refuse, comme aux mouvements « violents », le rôle essentiel dans l'économie de la nature que la physique moderne a été conduite à leur attribuer. La nature agit comme l'art et un texte particulièrement instructif, cité par L. Brunschvicg, nous montre comment, si le grammairien peut commettre des fautes et le médecin se tromper de potion, la nature aussi est susceptible d'erreurs et de productions fortuites².

Ainsi deux aspects fondamentaux semblent caractériser la physique d'Aristote. En premier lieu, l'absence de composition opératoire des mouvements, des vitesses ou des forces, malgré ses connaissances géométriques : c'est la qualité, et non par la quantité, qui est essentielle à ces réalités mécaniques, et une qualité donnant lieu à de simples descriptions, sans encore de composition effective. Aussi Carteron insiste avec raison sur le fait que, quand Aristote passe des principes aux explications de détail, il se contente en général de décrire les rapports empiriques au lieu de les déduire : ce qui manifeste un phénoménisme toujours très résistant, tenant en

¹ H. CARTERON, *La notion de force dans le système d'Aristote*, Vrin.

² L. BRUNSCHVICG, *L'expérience humaine et la causalité physique*, p. 150.

échec la construction opératoire. En second lieu l'univers est centré et les êtres sont hiérarchisés en fonction de cette centration. La nature entière et les corps physiques dans leur diversité demeurent ainsi à mi-chemin entre ce que nous concevons comme mécanique ou inanimé et ce que nous concevons comme vivant : d'où le finalisme des mouvements, le biomorphisme des forces et les rapports éminemment biomorphiques, eux aussi, entre la forme et la matière, entre les quatre types de causalité et entre la puissance et l'acte.

Que les divers aspects de la physique aristotélicienne forment psychologiquement un tout, c'est ce qui est bien évident. Le biocentrisme d'Aristote est à la fois la clef de son système du monde et le dernier aboutissement de cet égocentrisme préopératoire qui, sur des paliers successifs et dont chacun est mieux décentré par rapport aux précédents, réapparaît sans cesse sous des formes de plus en plus raffinées comme la cause essentielle des difficultés à dissocier le relatif de l'absolu. Aussi bien, chaque être étant, dans le système, centré sur lui-même par analogie avec l'organisme vivant, et tout ce qui, dans notre mécanique, constituerait la mise en relation des corps étant conçu soit comme finalité interne, soit comme mouvement contre nature, l'absolu formé par l'ensemble du monde réel est lui-même centré selon un principe hiérarchique qui se traduit en un simple phénoménisme dans le détail des explications.

Ainsi, étape par étape, et malgré les conquêtes lentes et graduelles de la décentration relativiste qui a conduit la physique presque au seuil de la composition rationnelle, l'égocentrisme intellectuel et son corrélatif le phénoménisme réapparaissent sous des formes toujours plus élargies, mais n'en obéissant pas moins aux mêmes lois constantes, communes à la psychogénèse des notions et à leur évolution historique.

§ 8. LA MÉCANIQUE CLASSIQUE ET LA DÉCENTRATION DE L'UNIVERS ; L'ÉVOLUTION DES FORMES SCIENTIFIQUES DE LA NOTION DE FORCE ET LE PROBLÈME DU VIRTUEL. — En enlevant à la terre son caractère privilégié de centre du monde, et en montrant que les directions des étoiles ne varient pas durant les déplacements de notre planète autour du soleil, Copernic a mis l'esprit en présence d'une obligation toute nouvelle de distinguer les mouvements apparents des mouvements réels : d'où la nécessité d'une composition objective des mouvements et

des vitesses. Que le soleil soit conçu comme ne tournant pas autour du globe terrestre, malgré l'expérience immédiate, et que son mouvement apparent soit attribué au déplacement de l'objet sur lequel nous sommes placés à titre d'observateur, il y a là une troisième étape des raisonnements cinématiques comparable à celle au début de laquelle l'homme a découvert que les astres ne le suivaient pas, mais possédaient des trajectoires indépendantes de lui : l'objectivité est ainsi subordonnée à une décentration systématique de l'intelligence prolongeant toutes celles qui, de la perception aux opérations concrètes, ont déjà marqué les progrès de la connaissance. Mais il y a plus. Pourquoi ne sent-on pas le mouvement de la terre ? Pourquoi un projectile lancé d'un point A dans la direction de l'un des mouvements de la terre ne retombe-t-il pas bien loin en arrière, puisque, avant qu'il ne rejoigne le sol, la terre s'est déplacée elle-même à une vitesse considérable ? La dissociation du mouvement et de l'espace, ainsi amorcée, a abouti à la relativité de ce mouvement, systématisée par Galilée et Descartes : le mouvement rectiligne et uniforme se conserve de lui-même, sans l'intervention d'une force, et les mouvements intérieurs à un système ne permettent pas de décider si celui-ci est entraîné ou en repos. L'espace devient donc indifférent au mouvement et tant pour cette raison qu'à cause de la disparition corrélative de tout « centre » de l'univers, il retrouve l'homogénéité, l'isotropie, l'infinité, et la similitude entre échelles différentes, c'est-à-dire, les caractères propres à l'espace géométrique. La mécanique concilie ou réconcilie ainsi l'univers avec l'espace euclidien ¹ : or cela signifie que le passage de la subjectivité à l'objectivité, dont tout ce qui précède montre qu'il procède de l'égoïsme à la décentration, consiste également en une subordination croissante des actions physiques aux coordinations logico-mathématiques en tant que produits de cette décentration elle-même.

Quelle est la signification de cette relativité du mouvement, eu égard aux interactions entre le sujet et l'objet ? Dans le système d'Aristote, l'observateur occupe une position absolue dans l'espace, et les mouvements qu'il constate sont également réels parce que leurs lieux de départ et d'arrivée consistent eux aussi en positions absolues du même espace. Selon la relativité galiléenne, il n'existe au contraire plus de mouvement par rapport à l'espace, mais seulement relative-

¹ Cf. R. WAVRE, *loc. cit.*

ment à des systèmes de référence constitués par des objets, immobiles les uns à l'égard des autres (mais non pas par rapport à l'extérieur du système) : le sujet ne possède donc plus de position absolue, mais seulement une position relative à ces mêmes objets. Le mouvement dont il est conduit à admettre l'existence n'est alors plus le résultat d'une simple constatation, mais bien le produit d'une composition opératoire : c'est ainsi que le déplacement du soleil enregistré par un observateur de sa position sur la terre n'est qu'une donnée à partir de laquelle il s'agit de construire la représentation du mouvement de la terre en inversant les rapports apparents ; quant aux mouvements des étoiles ou à ceux du soleil par rapport aux étoiles fixes, etc., leur connaissance exige une composition déductive s'éloignant bien davantage encore de la constatation empirique. Or ces truismes comportent une leçon dont la portée n'a point été épuisée malgré les trois bons siècles écoulés depuis qu'ils ont cessés d'être des paradoxes : c'est que la coordination des rapports objectifs et la décentration de l'objet par rapport au sujet constituent une seule et même démarche de l'esprit.

A partir de la relativité galiléenne, effectivement, les actions au moyen desquelles l'observateur compose opératoirement les mouvements en jeu constituent une partie intégrante du phénomène à observer. Dans le système d'Aristote déjà, l'observateur est dans l'espace et fait donc partie du système des positions qu'il met en relations pour déterminer un mouvement : mais l'espace est immobile et la déduction des positions correspond à une constatation empirique possible. Il est vrai que les constatations ont elles-mêmes besoin d'être interprétées et que la sphéricité de la terre, en particulier, a supposé un effort considérable de décentration par rapport à la perception immédiate, même dans le cas des observations faites sur mer. Il n'en reste pas moins que l'observateur demeure en un sens extérieur aux phénomènes à observer, puisque, étant supposé immobile, il relie simplement du dehors, à la sienne, les autres positions de l'espace : c'est pourquoi son effort coordinateur ne suppose qu'un faible degré de décentration. Dans la cinématique galiléenne, au contraire, les actions de l'observateur (c'est-à-dire l'ensemble des constatations liées à son activité sensori-motrice, à son intuition imagée et aux opérations concrètes ou formelles qui le lient aux objets, sans compter les instruments de mesure employés

pour renforcer ces actions) sont parties intégrantes du phénomène total, puisque l'observateur est lui-même sans cesse en mouvement. Dire que son corps seul se déplace parmi les mouvements du système, tandis que son esprit demeurerait spectateur et extérieur au phénomène, serait inopérant puisque c'est exclusivement grâce à des compositions opératoires réversibles que le sujet parvient à dominer le temps et l'espace, donc par le moyen d'une série complexe d'actions intériorisées qui coordonnent les observations et remontent leur marche empirique. L'observateur est par conséquent, au cours même de la déduction opératoire, entraîné dans le déplacement général dont il doit reconstituer le système : tel est le fait nouveau et capital, imputé dans la relativité du mouvement.

De ce point de vue, il est donc exact de dire, comme nous le soutenions au § 6, que le relatif, dans un système du monde, est la mesure des opérations auxquelles est astreint le sujet connaissant. Dans la conception d'Aristote, cette relativité consiste à corriger certaines intuitions (sphéricité de la terre, etc.), mais, au total, sa physique demeure une simple traduction phénoméniste de l'apparence sensible, en conséquence du caractère égocentrique et d'absolu auquel il s'attache. Dans la décentration galiléenne et copernicienne, une part essentielle de ce faux-absolu bio- et géocentrique est donc transformée en relatif, grâce à la relativité du mouvement, et cette relativité devient pour le sujet nécessité de nouvelles coordinations opératoires. Bref, la relativité est la mesure de la décentration et celle-ci n'est que l'envers (ou l'aspect intérieur, c'est-à-dire rapporté au sujet) de la coordination opératoire.

Mais le prix ainsi payé en obligation de composition déductive est compensé par la détermination de nouveaux absolus autrement plus résistants que les absolus biocentriques d'Aristote. En premier lieu, la relativité même du mouvement, et la composition opératoire qu'elle suppose, entraînent la constitution d'un invariant : le principe de la conservation du mouvement rectiligne ou uniforme (inertie) n'affirme pas, comme nous y insisterons au chap. V, l'identité d'une chose, mais constitue un invariant de groupe, c'est-à-dire l'affirmation d'une cohérence nécessaire au sein des transformations relatives. En second lieu, si les mouvements sont relatifs, leur somme, non pas arithmétique comme l'affirmait par erreur Descartes dans son principe de la conservation de la quan-

tité totale des mouvements, mais géométrique (les mouvements étant des vecteurs affectés d'un signe) demeure également constante, ce qui constitue cette fois un absolu supérieur aux transformations, mais résultant de leur composition même.

En troisième lieu, et surtout, si les mouvements sont relatifs, ils permettent de déceler, dans les vitesses elles-mêmes, un absolu constitué par l'accélération. En effet, une accélération peut être mesurée en n'importe quel système en mouvement (inertial ou autre), aussi bien qu'au repos, puisque l'observateur situé sur un objet en mouvement accéléré peut déterminer sa propre accélération. Galilée découvre ainsi l'accélération constante du mouvement de chute d'un corps. Sans doute, cette accélération aurait-elle pu être découverte au sein de l'absolu aristotélicien, mais seulement dans certains cas particuliers : la généralisation que lui donne Newton, en définissant la force par le produit de la masse et de l'accélération, suppose la dissociation de la force, et notamment de la gravitation, par rapport à l'espace, et fait de la verticale et de l'horizontale des propriétés de l'espace physique et non plus géométrique, ce qui est contradictoire avec l'idée d'une pesanteur conçue comme la tendance à se diriger vers le centre de l'univers. L'absolu de l'accélération est donc bien une conquête de la relativité du mouvement, et ne peut se déduire de l'absolu d'un univers centré, à la manière péripatéticienne.

Or, le problème de l'accélération a conduit à poser à nouveau celui de la notion de force elle-même. Nous touchons ici à une phase particulièrement suggestive de l'histoire de cette notion, dont les ambiguïtés sont dues, nous l'avons vu au § 5, au double sens, subjectif et objectif, de l'expérience de l'effort musculaire. En réaction contre l'égoïsme intellectuel qui poussait encore Aristote à concevoir la force comme une sorte d'activité vitale sans conscience, Descartes bannit de la physique les idées de force et de finalité dont il a parfaitement saisi la parenté épistémologique sous la double forme anthropomorphique que leur avait conservée le Stagirite. Seuls la figure et le mouvement constituent l'univers et les mouvements se conservent d'eux-mêmes, en leur somme arithmétique. Mais Leibniz relève l'« erreur mémorable » de Descartes, et substitue à son équation de l'univers une « équivalence de la cause et de l'effet » qui aboutit à la conservation de la force mv^2 ou plus précisément $1/2 mv^2$: l'accélération de la chute des corps devient ainsi occasion à la réintroduction de la notion de

force. La découverte de la gravitation universelle par Newton aboutit à la réintroduire également, et cela aussi en fonction de l'accélération, mais en élargissant considérablement le domaine de cette dernière. « Galilée, écrit L. Brunschvicg, avait déterminé le mouvement des projectiles en composant, comme éléments indépendants, les déterminations résultant de la loi de la chute des corps avec les déterminations de la loi de l'inertie. Newton, pour rendre compte du mouvement des astres, cherche de même à calculer deux composantes : un mouvement du même ordre que la loi d'inertie, le mouvement centrifuge, dont Huyghens avait déjà étudié les conditions, et un autre mouvement, représentant cette attraction, dont Gilbert et Képler, et plus d'un savant après eux, avaient soupçonné l'existence »¹. La force devient ainsi une réalité : $f = mg$. La célèbre formule de prudence « tout se passe comme si » montre assez que Newton distinguait la réalité observable, c'est-à-dire la masse et l'accélération, de la force elle-même, conçue comme cause de cette dernière. Mais il laisse Roger Cotes imprimer, dans la préface à la seconde édition des Principes, l'affirmation de l'existence d'une force d'attraction, cause de la loi observée. Malheureusement cette attraction devait, pour atteindre son effet, agir instantanément avec une vitesse infinie sur l'univers entier. La force d'attraction devenait ainsi le scandale de la physique moderne, jusqu'à la théorie de la relativité, et le scandale est déjà dénoncé par les leibniziens eux-mêmes, accusant Newton de revenir aux entités scolastiques.

Si curieuse qu'elle soit au point de vue épistémologique, ce n'est pas le lieu de récrire l'histoire, tant de fois et si bien faite, des avatars de la notion de force au cours des XVIII^e et XIX^e siècles. Tout le monde s'est accordé sur le contenu cinématique de cette notion, c'est-à-dire sur le fait de l'accélération. Les discussions ont, par contre, repris sans fin dès qu'il s'agissait d'attribuer une cause à l'accélération, c'est-à-dire de donner à la notion de force un contenu substantiel. Nous nous bornerons à cet égard à examiner deux points, l'un étant la signification épistémologique des notions du « potentiel » et du « virtuel » qui interviennent dans la composition des forces, l'autre concernant le rôle de l'expérience interne dans la détermination de la notion de force.

Le problème essentiel que soulève cette histoire est, en effet, de comprendre pourquoi l'on maintient et ressuscite sans cesse une notion aussi controversée. Est-ce en fonction d'un besoin

¹ L. BRUNSCHVICG, *L'expérience humaine et la causalité physique*, p. 229.

causal, au sens d'Aristote qui rattache le mouvement à l'activité d'une substance, d'un besoin d'explication au sens de Meyerson, tel que la force serait la cause de la loi, ou d'un besoin de composition opératoire ? La réponse ne fait pas de doute : malgré la répugnance des physiciens à invoquer ce qui de près ou de loin peut ressembler à des entités anthropomorphiques, l'idée de force s'est maintenue dans la mesure où elle s'est avérée indispensable aux compositions opératoires. Il existe, en effet, une composition des forces, qui ne se réduit pas à la composition des vitesses, parce que, à ne composer que des accélérations réelles, comme Mach l'a tenté au sujet du principe newtonien d'action et de réaction, on ne rend pas compte de toutes les données de la gravitation (dans ses rapports avec le poids, p. ex.). C'est donc par son aspect opératoire, c'est-à-dire en tant que susceptible de composition réversible, que l'idée de force s'impose : deux ou plusieurs forces équivalent à une force unique bien déterminée, leur « résultante », et ces substitutions sont non seulement commutatives, mais associatives et réversibles, c'est-à-dire forment un « groupe » défini.

De plus, cette composition des forces implique des principes d'équivalence, tels que les principes de symétrie statique (symétrie des forces en équilibre) et le fameux principe dynamique de l'égalité de l'action et de la réaction, déjà énoncé par Newton. La forme initiale du principe de la conservation de l'énergie, d'autre part, a été la conservation, établie par Leibniz, de la « force vive » mv^2 , d'où Lazare Carnot a tiré l'idée de « force vive latente », analogue à notre « énergie potentielle ». La notion si importante de l'équilibre des forces, enfin, a été généralisée grâce à des considérations dynamiques jusqu'à donner lieu à un principe dont Lagrange a fait la base de sa « mécanique analytique » : le principe des travaux (ou vitesses) virtuels. On sait que Lagrange a constitué une mécanique purement analytique (sans figures ni constructions mécaniques empiriques) sur le modèle de la géométrie analytique de Descartes. Or, le principe fondamental en est le suivant : la condition nécessaire et suffisante pour qu'un système, soumis à des forces quelconques, soit en équilibre est que les travaux exécutés par ces forces, suivant les déplacements virtuels conformes aux liaisons du système, soient nuls.

Ces divers principes de composition nous apprennent donc deux choses : qu'en plus des vitesses ou accélérations réelles, la notion de force fait appel à des vitesses « virtuelles » (et c'est ce qui constitue son apport propre) et que les forces ainsi

conçues à titre d'accélération réelles et virtuelles se laissent assimiler aux schèmes généraux de coordination logico-mathématiques, tout comme le temps, les mouvements et les vitesses : d'où leur maintien sur le terrain de la physique positive.

Mais alors se pose un premier problème épistémologique : si les compositions opératoires de la force font ainsi appel aux notions de « potentiel » ou de « virtuel », est-ce là un retour déguisé à la « puissance » qu'Aristote opposait à l'« acte », ce qui assurerait la continuité de la notion de force, du péripatétisme à la physique moderne ? D'autre part, tant la notion aristotélicienne de la « puissance » que les notions modernes du virtuel ou du potentiel sont, si on les réduit les unes aux autres, des formes d'identification : est-ce donc à dire que la vraie raison de la résistance de l'idée de force au cours de l'histoire entière des sciences soit à chercher dans l'identité meyerssonienne ?

Or, la grande différence entre la « puissance » d'Aristote et les travaux « virtuels » est l'absence de toute composition opératoire reliant la puissance à l'acte, et par conséquent de tout critère réglant de façon objective l'intervention de la première. En effet, la condition nécessaire pour que la notion du virtuel prenne une signification rationnelle est qu'elle soit invoquée au sein d'un système opératoire fermé, de telle sorte que l'on puisse être certain de l'appartenance des mouvements virtuels à l'ensemble des transformations impliquées par le système. Les notions du virtuel et du potentiel sont donc des rapports d'équivalence opératoire dont le critère de légitimité est d'être intérieurs à un ensemble de compositions bien déterminées et d'être indispensables à la réversibilité de ce système. Aussi quand le physicien R. Pictet « a osé », comme dit Couturat, assimiler la liberté de l'âme à un potentiel du cerveau, son affirmation est demeurée purement verbale, faute d'un système de transformations permettant de composer ces énergies potentielles. Or, la « puissance » d'Aristote consiste précisément en une telle imagination d'un virtuel sans compositions déterminées : dire que B était contenu en puissance dans A signifierait que A et B sont intérieurs à un même système fermé, ce que l'on ne sait précisément pas sans composition opératoire définie. Toute la notion aristotélicienne de la force repose ainsi sur l'hypothèse gratuite que les corps constituent de tels systèmes fermés. Notons d'ailleurs que si les notions des physiciens modernes n'ont donc plus rien à voir avec la

« puissance » péripatéticienne, on n'en saurait pas dire toujours autant des biologistes : lorsqu'un caractère héréditaire saute d'un grand-père à son petit-fils, on peut certes soutenir qu'il est resté « latent », c'est-à-dire virtuel, chez le père, mais quand un caractère nouveau apparaît dans une lignée pure, en un milieu déterminé, et que le biologiste nous dit que le milieu a simplement actualisé ce qui était virtuellement contenu dans la structure génétique de la lignée, il postule, sans pouvoir le composer, le caractère fermé du système, et fait de l'aristotélisme.

Quant à l'identité meyersonienne, on peut certes affirmer que le virtuel et le potentiel sont des identifications comme la « puissance », mais il reste que cette dernière demeure verbale, tandis que les premières doivent leur valeur à une composition opératoire précise. Nous touchons ici la difficulté centrale de l'interprétation par l'identification : c'est que cette dernière conduit à l'erreur aussi bien qu'à la vérité. Il y a dans l'histoire des sciences un nombre sans doute bien plus grand d'identifications fausses (depuis celles de Thalès) que de vraies. Meyerson le reconnaît bien, puisqu'il tire ses arguments pêle-mêle de tous les niveaux du développement des sciences et des théories erronées aussi bien que des autres ; mais il n'en maintient pas moins que l'identification est le seul acte possible de la raison : l'expérience seule nous renseigne sur la validité ou la fausseté des identifications, mais celles-ci sont toutes rationnelles au même titre les unes que les autres. Seulement, dans le cas de la puissance aristotélienne et du virtuel des physiciens modernes, ce n'est précisément pas l'expérience seule qui a décidé : l'expérience est radicalement incapable de nous montrer qu'une propriété constatée « en acte » n'existait pas « en puissance » auparavant, car il est toujours possible de s'arranger pour trouver les définitions susceptibles de satisfaire les données. Que l'opium fasse dormir parce qu'il a une vertu dormitive, c'est là une identification inattaquable du point de vue de l'expérience. Ce qui a mis fin à ce genre de raisonnements, c'est simplement leur stérilité, tandis que l'identité en œuvre dans la composition opératoire est liée au jeu des opérations directes et inverses et que le propre de la raison est de construire ou de « composer » et non pas d'identifier.

Si nous en venons maintenant au problème général que soulève l'épistémologie de la notion de force, il semble donc évident que sa survie tient aux compositions opératoires auxquelles elle se prête, et que ce sont ces compositions qui cons-

tituent les vraies « causes » des lois constatées sous la forme de rapports d'accéléérations.

Or, on sait que E. Mach, dans sa célèbre Histoire de la Mécanique, propose de s'en tenir à l'accélération seule, et de reconstruire sur cette base la mécanique céleste, au moyen des rapports entre les accélérations et les masses. À quoi F. Enriques, dans le bel ouvrage que nous avons déjà eu l'occasion de discuter (*Introd.*, § 3), répond ce qui suit, en se fondant sur les préoccupations génétiques qui lui font relier sans plus les opérations de la pensée aux données de la perception : « l'existence d'une *force* est un fait *physique* défini par des *sensations musculaires d'effort et de pression*. À ce point de vue, la notion de force n'a rien de mystérieux ni de métaphysique, pas plus que le mouvement ou tout autre phénomène quelconque, dont la définition réelle se réduit toujours, en dernière analyse, à un groupe de sensations qui se produisent dans certaines conditions volontairement provoquées »¹. Ce passage nous paraît extrêmement révélateur des difficultés auxquelles on s'expose à vouloir fonder l'épistémologie sur la sensation et non pas sur l'action. D'une part, en effet, une sensation est un fait psychique et non pas physique, et il s'agirait, par conséquent de déterminer avec soin les rapports entre ce fait mental et le fait physique correspondant : à s'en tenir au fait sensoriel seul, sous son aspect immédiat, on justifierait aussi bien le finalisme d'Aristote que la notion de force, puisque tout mouvement perçu sur soi-même grâce à des sensations kinesthésiques s'accompagne d'intentionnalité ! D'autre part, psychologiquement parlant (puisque l'on se place sur ce terrain), la sensation fait partie d'une action et Enriques semble bien le reconnaître, puisqu'il ajoute la précision restrictive « sensations qui se produisent dans certaines conditions volontairement provoquées », ce qui implique toute l'action ! C'est donc le développement de cette action, du plan sensori-moteur au plan opératoire, qui intéresse la physique et l'épistémologie scientifique, et non pas la sensation dont le rôle est uniquement signalisateur. Or, dès le plan sensori-moteur, comme nous l'avons vu (§ 5), la conduite de l'effort est précisément une conduite d'accélération : invoquer la sensation d'effort musculaire, c'est tout simplement nous ramener à l'accélération ! Ce que la notion de force ajoute à celle de pure accélération, ce sont donc les compositions opératoires auxquelles elle donne lieu, et notamment l'emploi qui y est fait des vitesses ou des travaux virtuels, c'est-à-dire de mouvements déterminés en tant que devenant nécessaires si certaines situations possibles se réalisent, mais non pas en tant qu'actuels.

¹ *Les Concepts fondamentaux de la Science*, p. 114.

Bref, en tant que relation opératoire entre les accélérations et les masses, etc., la force constitue le modèle des notions qui ne sauraient donner lieu à une perception ou à une intuition représentative directes. Elle fournit par conséquent l'exemple le plus clair de la construction des notions mécaniques et physiques essentielles par leur décentration à partir d'intuitions égocentriques initiales. D'abord simple assimilation des mouvements perçus au schème de l'effort musculaire — schème résultant, nous l'avons vu, d'une prise de conscience incomplète des conduites d'accélération — la force est peu à peu décentrée de l'activité propre en fonction même de la décentration générale inhérente à l'élaboration des systèmes du monde : or, dans la mesure même où elle se dissocie ainsi des éléments égocentriques de l'action, la force donne lieu à des compositions réversibles entre opérations portant sur les vitesses et les accélérations des objets de différentes masses ; et cette décentration par rapport au sujet se traduit par une coordination opératoire susceptible de rejoindre les coordinations logico-mathématiques les plus générales, comme en témoigne la nature déductive et formalisable de la mécanique rationnelle. Ainsi l'assimilation égocentrique à l'activité propre, une fois décentrée, devient assimilation aux coordinations générales de l'action, et c'est ce passage ou plus précisément cette inversion progressive de sens qu'illustre l'histoire de la force, à partir de ses formes biocentriques initiales jusqu'à sa mathématisation finale.

D'ailleurs la mécanique classique ne marque pas le stade ultime de cette évolution. Il reste, en effet, à examiner le sort de la « force d'attraction », et la manière dont la théorie de la relativité a soulevé un coin du voile qui la recouvrait : or, nous allons constater que c'est par un nouvel et puissant effort de décentration générale que la relativité einsteinienne a obtenu ce résultat, quant à la force gravifique, faisant ainsi cesser le « scandale » attaché à sa représentation substantialiste, dernier refuge des intuitions égocentriques de la force.

§ 9. LA THÉORIE DE LA RELATIVITÉ ET LES NOUVEAUX « ABSOLUS ». — L'un des progrès essentiels de la mécanique classique et spécialement de la théorie newtonienne de la gravitation, comparées à la physique d'Aristote, a été de dissocier de l'espace et du temps les phénomènes inhérents au mouvement, à la vitesse et à la force. L'espace et le temps sont ainsi devenus des absolus du système newtonien, vastes contenant au sein

desquels se déroulent les phénomènes physiques, mais indifférents à leur contenu. Or, du point de vue génétique, il y a là quelque chose de surprenant, car l'espace est la coordination des mouvements et le temps la coordination des vitesses. Sans doute, comme nous l'avons vu, si l'on conçoit le mouvement à titre de simple déplacement, c'est-à-dire de changement de position indépendamment des vitesses, il s'agit alors d'un aspect assez général de l'action pour être détaché des objets auxquels elle s'applique, d'où l'indépendance de la géométrie mathématique à l'égard de l'espace physique. Mais quand il s'agit de coordonner les mouvements de ces objets eux-mêmes, en tant que spécialisés selon leurs vitesses, l'action que constitue cette coordination semble inséparable des actions proprement physiques, telles que de pousser, soulever, accélérer, etc.

Newton s'est tiré de cette difficulté psychologique d'une manière fort intéressante, en attribuant à Dieu lui-même les sensations constitutives de l'espace et du temps (toujours les sensations et non pas les actions !) : l'espace et le temps deviennent donc le *sensorium Dei* (en attendant que Kant en fasse un *sensorium hominis*, mais propre au sujet transcendantal). Seulement, on retrouve immédiatement, en cet absolu théologique, le caractère égocentrique des absolus aristotéliens. À faire de Dieu le centre de l'espace et du temps, il y a certes un progrès de la décentration par rapport à la conception d'un espace centré sur la terre elle-même, et Newton pourrait répondre, en paraphrasant Pascal, que le centre de ce cercle divin est partout et sa circonférence nulle part ; mais, il y a tout de même quelque anthropomorphisme à charger ainsi l'auteur du monde du contrôle permanent des mouvements et des vitesses, puisque le seul but de cette coordination surnaturelle est, en fin de compte, de régler nos propres mètres et nos propres horloges, érigés en reflets directs de la sensation divine ! Et puis, la différenciation même du temps et de l'espace est aisément réalisable aux faibles vitesses auxquelles nous vivons, qui nous permettent de déplacer un caillou dans notre jardin sans avoir à compter avec une croissance accélérée des arbres, une érosion immédiate des montagnes ou un soulèvement prochain de l'écorce terrestre. Mais nous ne pouvons déjà plus situer une étoile par rapport à une autre sans nous demander si son apparence perceptive correspond à sa position actuelle ou a été expédiée il y a quelques milliers d'années. Or, en vivant à une autre échelle, nous serions sans cesse embarrassés par des problèmes de ce genre, ayant à coordonner dans

l'espace des objets dont la perception correspondrait à des moments différents du temps.

De plus, si les absolus newtoniens pouvaient s'appuyer sur les coordinations rationnelles constituées par la relativité du mouvement et la composition des vitesses, ils requéraient, par ailleurs, l'existence d'une action à distance de la force gravifique et d'une vitesse infinie, attribuée à cette action : sur ces deux derniers points, il est clair que le théocentrisme du *sensorium* spatio-temporel était seul à pouvoir masquer le caractère presque magico-phénoméniste de l'hypothèse, dernier héritage des origines subjectives de la notion substantialiste de la force. Or, du jour où ont été découvertes la constance de la vitesse relative de la lumière, et l'impossibilité de réaliser une vitesse supérieure à ce maximum, non seulement une action à distance de vitesse infinie devenait impossible, mais l'ensemble des compositions spatio-temporelles s'est trouvé modifié : dilatation des durées et contraction des longueurs en fonction de la vitesse du système de référence, nouvelle forme de composition des vitesses, solidarité étroite entre l'espace, le temps et les mouvements physiques, etc. (voir § 3, sous V). De plus, dès le moment où la composition des vitesses dépend de leur rapport avec celle de la lumière, la masse elle-même (du moins sous certaines de ses formes, dépendant de l'accélération : p. ex. rapport de la force à l'accélération, capacité d'impulsion, etc.) doit être conçue comme variant avec la vitesse. La masse aussi cesse donc de conserver une valeur absolue, sauf sous sa seule forme de quantité de matière, évaluée au nombre des électrons. L'énergie, de son côté est entraînée dans ce mouvement de relativation, mais elle acquiert un rapport d'équivalence avec la masse, avec laquelle elle devient donc interchangeable (à un coefficient de proportionnalité près, qui est l'inverse du carré de la vitesse de la lumière).

Ces résultats déjà atteints par la théorie de la relativité restreinte, qui accordait encore un privilège aux systèmes de référence galiléens, ont ensuite trouvé une généralisation étonnante par l'assimilation de la gravitation elle-même aux forces d'inertie (c'est-à-dire à ces forces telles que la force centrifuge ou que la force dont nous sentons l'effet sur un véhicule en mouvement rectiligne qui change brusquement de vitesse). Le poids, ou expression de la gravitation, devient ainsi assimilable à la masse inertielle et, de même que le poids varie selon les points d'un champ de gravitation, de même la force d'inertie, qui équivaut désormais à une force gravifique, peut être liée à un « point d'univers » déterminé, c'est-à-dire à un point du continu spatio-temporel qui constitue ce que les relativistes appellent un « univers ». Dès lors, il suffira, pour rendre compte de ces « forces » d'inertie ou de gravitation,

d'admettre que le continu formé par l'espace-temps n'est pas euclidien, mais présente des « courbures » : la gravitation reçoit dès lors de la façon la plus directe, une explication géométrique et traduit simplement la structure de l'espace-temps. Mais inversement, si ce continu présente de telles courbures, c'est qu'il est modifié au contact des masses, la force devenant de la sorte l'expression des structures spatio-temporelles influencées par leur contenu de masse. Il n'est donc plus besoin d'actions à distance, la gravitation se transmettant de proche en proche le long des « lignes d'univers ». La mesure des courbures peut se faire directement, comme l'avait déjà montré Gauss pour une surface, par l'emploi des coordonnées qui portent son nom : généralisées au continu spatio-temporel, elles permettent alors le calcul du fameux ds^2 ou application du théorème de Pythagore au système de coordonnées ainsi conçu.

Or, le résultat stupéfiant d'un tel ébranlement des notions paraissant le mieux établies s'est trouvé, indépendamment de la signification intellectuelle considérable apportée à la solution du problème de la gravitation, de permettre l'attribution d'une forme invariante aux lois de la nature quels que soient les systèmes de référence adoptés : « les lois de la nature sont indépendantes du système de référence choisi pour les représenter », telle est la signification dernière du principe de relativité. On constate ainsi l'extension considérable réalisée par la théorie d'Einstein à partir de la relativité galiléenne, mais selon un même sens d'orientation épistémologique. Tant que le mouvement seul était considéré comme relatif, seuls les mouvements internes d'un système entraîné par un mouvement rectiligne et uniforme pouvaient être étudiés en faisant abstraction du mouvement d'entraînement. Avec l'assimilation de la gravitation aux forces d'inertie, c'est indépendamment de tous les systèmes de référence que les lois de la nature peuvent être retrouvées identiques à elles-mêmes.

La première question qui se pose, au point de vue épistémologique, est donc de déterminer le rapport entre l'absolu et le relatif, condition préalable de la compréhension des relations qui existent entre l'objet et le sujet connaissant, dans la physique de la relativité. À cet égard, on a pu dire de la théorie de la relativité qu'elle constituait un grand pas dans la direction de l'absolu. Dans un chapitre extrêmement intéressant, et d'une remarquable objectivité, de ses « Initiations à la Physique », intitulé « Du relatif à l'absolu », Max Planck conclut : « la théorie de la relativité, si souvent mal comprise, non seulement n'a pas supprimé l'absolu, mais encore a fait ressortir mieux que jamais combien la physique est liée à un monde

extérieur absolu »¹. Et E. Meyerson insiste sur le fait que la relativité est une « théorie du réel »². Qu'il en soit ainsi, cela tombe sous le sens, et ne peut être contesté que par ces positivistes de nuance solipsiste pour lesquels « l'absolu » ne se trouve que dans nos impressions personnelles », comme le dit Planck en pensant sans doute aux disciples de Mach. Quant à l'épistémologie génétique, dont nous défendons ici le principe et qui est relativiste par méthode et en tous les domaines, il va de soi qu'elle ne saurait nier *a priori* l'existence d'un absolu ; mais elle voudrait aussi, pour avoir le droit d'en parler, qu'on puisse l'atteindre indépendamment des systèmes de référence constitués par les mentalités historiques successives. Dès lors, et pour demeurer fidèle à ses méthodes psychologique et historico-critique, l'épistémologie génétique demande simplement si cet absolu mis en évidence par la théorie de la relativité est définitif, et s'il est au moins de même nature que ceux auxquels sont parvenues les interprétations des niveaux historiques précédents.

Or, sur le premier point, l'autorité de Planck, qui parle de l'absolu en technicien de la science et non pas en théoricien, est un témoignage de valeur exceptionnelle : « Qui pourrait nous garantir qu'un concept auquel nous attribuons aujourd'hui un caractère absolu, ne devra pas être considéré plus tard comme relatif, en se plaçant à un point de vue nouveau, et céder la place à un autre absolu de caractère plus élevé ? À cette question il n'y a qu'une réponse : d'après tout ce que nous savons personnellement et que nous avons appris, il n'y a personne au monde qui puisse nous donner une telle assurance. Bien plus, nous devons tenir pour très certain que jamais nous ne parviendrons à être véritablement l'absolu. Ce dernier n'est bien plutôt, pour nous, qu'un but idéal : nous l'avons toujours devant les yeux mais ne l'atteindrons jamais » (p. 143). Quant au « réel » d'E. Meyerson, il est fait en partie comme on le sait, de concepts « déduits » puis « hypostasiés » dans le monde extérieur, et, en partie, de diversité irrationnelle tenant à ce monde lui-même : il s'agit donc d'un réel pour ainsi dire vicariant, dont E. Meyerson nous montre lui-même qu'il change d'aspect au fur et à mesure de l'élaboration des théories. Le fidèle commentateur du grand épistémologiste, A. Metz, se demande comment L. Brunschvicg (dont il a d'ailleurs bien mal

¹ P. 142.

² E. MEYERSON, *La déduction relativiste*, chap. V.

saisi la pensée) « a pu s'y tromper ? C'est que la *réalité*, *l'ontologie* que postule la nouvelle théorie [la relativité] n'est pas celle du sens commun, et que même elle s'en écarte plus que les *ontologies* construites par les théories scientifiques. antérieures »¹. Or, cette variation des « ontologies » qu'avoue ainsi A. Metz, est précisément le principal argument sur lequel s'appuie la thèse de Brunschvicg dont A. Metz se croit aux antipodes en la réduisant à ceci « que le concept de causalité a beaucoup varié depuis les origines de la pensée scientifique » !

A constater les choses sans parti-pris il faut donc reconnaître que chaque théorie scientifique, d'Aristote à Einstein, cherche à dégager un absolu au travers des systèmes de référence considérés comme relatifs, mais que cet absolu se transforme notablement lui-même d'une théorie à l'autre. Rien n'est plus instructif, à cet égard, que la comparaison des absolus einsteiniens avec ceux de la mécanique classique. Tous les grands principes sont sauvés, nous dit Planck, et cela est vrai. Mais ils sont en même temps tous transformés ! Le principe d'inertie n'est plus celui de Galilée : il embrasse la gravitation et non plus seulement le mouvement rectiligne et uniforme au sens galiléen. Il devient ainsi conservation d'une « impulsion d'univers » et non plus seulement d'un mouvement dans l'espace. La conservation de l'énergie est maintenue, mais il ne s'agit plus du même principe, puisqu'il y est englobée une « énergie de repos » intérieure aux masses et que l'énergie acquiert une inertie. La conservation de la masse est maintenue elle aussi en un sens, mais sous une forme fusionnée avec l'énergie elle-même et en dissociant les différents aspects de la notion de masse : la conservation de la quantité de matière se réduit alors à celle du nombre des électrons (jusqu'au jour où l'on verra quelque électron se dissocier). Bref, tout est conservé, mais sous une forme nouvelle, qui eût plongé dans la stupéfaction un physicien des environs de 1880 ; dès lors, certains absolus anciens sont devenus relatifs et inversement certaines réalités essentiellement relatives sont devenues des absolus comme la vitesse relative de la lumière, qui prend même le rang de vitesse *maximum* (en un sens comparable au zéro absolu de température).

L'invariance des lois de la nature indépendamment des systèmes de références, qui devient beaucoup plus grande dans

¹ A. METZ, *Une nouvelle philosophie des Sciences : le causalisme*, p. 175.

la théorie de la relativité que dans la physique classique, prend alors un sens nouveau, d'une évidente portée épistémologique. Les termes intervenant dans les rapports qui constituent ces lois varient d'un système à l'autre de référence, en tant qu'ils expriment un espace, une durée, une masse, une forme, etc. Mais ces variations sont solidaires les unes des autres et constituent donc un système de *covariances* : c'est cette covariation des termes qui assure alors la fixité des rapports comme tels, c'est-à-dire des lois de la nature, dont l'invariance résulte ainsi d'une covariance et non pas d'une fixité statique (et illusoire parce que relative à un seul système considéré de références).

Affirmer que les lois de la nature sont devenues indépendantes de tout système de référence, c'est-à-dire qu'il existe un absolu distinct du relatif au moyen duquel on l'atteint, c'est donc exprimer la vérité épistémologique suivante : que l'invariance de cet absolu dépend du système des transformations opératoires utilisées pour coordonner entre eux les systèmes de référence. Autrement dit, que l'on rende à l'espace, au temps, à la masse, etc., leur absoluté antérieure, et les lois de la nature cesseront d'être invariantes, mais que l'on relativise ces anciens absolus spatio-temporels et l'on rend invariants de nouveaux absolus ... Cela ne signifie naturellement pas que le système des transformations opératoires utilisé pour coordonner les systèmes de références soit arbitraire et non pas conforme aux données de l'expérience : mais, si intimes que soient les rapports entre l'expérience et les nouvelles transformations opératoires, ou plutôt précisément parce que ces rapports sont de plus en plus intimes, il y a solidarité nécessaire entre les nouveaux absolus et les nouvelles relativations adoptées.

Quelle est alors la part du sujet et la part de l'objet dans la connaissance constituée par une telle physique ? En premier lieu, bien plus encore que dans la relativité galiléenne, les actions du sujet font partie intégrante du système des transformations objectives qu'il s'agit pour lui de connaître. Dans l'univers d'Aristote, le sujet contemple du dehors un monde immobile et tout l'effort de décentration qui lui est demandé consiste à se situer spatialement comme une partie dans le tout : les autres parties du tout lui sont alors données telles quelles par intuition directe. Dans l'univers de Copernic, de Galilée et de Newton, le sujet est en mouvement et ses actions font donc déjà partie intégrante d'un système cinématique et mécanique qu'il ne parviendra ainsi à dominer que par une décentration opératoire consistant à mettre les mouvements en

réciprocité les uns par rapport aux autres. De ce point de vue, il n'y a plus intuition immédiate des mouvements : c'est par la déduction et le calcul, donc par une construction opératoire, que le sujet se situe. Mais, par ailleurs, en possession d'un espace et d'un temps absolus, il croit atteindre directement un vaste domaine du réel soustrait à toute relativité. Dans la mécanique relativiste, au contraire, ses estimations spatiales et temporelles, avec tout ce qu'elles entraînent, sont elles-mêmes relatives, c'est-à-dire qu'elles sont partie intégrante d'un système de transformations objectives dont elles demeurent solidaires : le mètre et l'horloge que construit le sujet ne sont ainsi plus extérieurs aux longueurs ou aux durées à mesurer, mais ils sont modifiés par des transformations qu'ils ne suffisent plus à constater simplement et qu'il s'agit de reconstituer déductivement. Le mesuré et le mesurant, comme l'a profondément exprimé L. Brunschvicg, sont devenus interdépendants et c'est de leur réciprocity qu'il s'agit de tirer l'invariance des lois à établir.

Or, que cela signifie-t-il du point de vue de la nature du réel (du réel considéré à ce niveau, cela s'entend) et de celle de l'activité du sujet ? Sur ce point délicat, les plus graves méprises se sont parfois produites et les discussions sont, à coup sûr, devenues enchevêtrées à un degré tel que l'on n'est plus certain du sens des mots qu'emploient les auteurs. Les uns parlent du sujet dans le sens exclusif de la perception et des sensations, tandis que les autres entendent par sujet le sujet jugeant et mesurant, c'est-à-dire lisant les indications de son mètre et de son horloge et déduisant le réel de la coordination de ses lectures. Mais, de ce second point de vue encore, il y a équivoque dans le vocabulaire : E. Meyerson appelle « objet » le produit de la mesure et de la déduction, tandis que L. Brunschvicg rattache au sujet l'activité de mesurer (d'où les méprises d'A. Metz à son endroit). Ces malentendus démontrent d'ailleurs à eux seuls combien l'on se trouve dans la théorie de la relativité, en présence d'un nouveau type d'interaction entre le sujet et l'objet.

Pour chercher à se dégager, il convient avant tout d'écarter la déplorable psychologie qui a fait croire à tant de bons esprits que la source des connaissances était la sensation seule, alors que la sensation est elle-même relative à l'action. Il s'ensuit que Mach, suivi par Enriques et bien d'autres, croit atteindre à la fois le sujet et l'objet en faisant l'« analyse des sensations ». D'où l'interprétation de la relativité de son disciple

Petzoldt, qui compare Einstein à Protagoras et réduit le relatif à la subjectivité sensible. Mais inversement E. Meyerson, faute d'une théorie suffisante de la perception (voir chap. III § 4), se facilite un peu la tâche, dans sa réfutation de l'idéalisme, en déclarant que « le retour vers un idéalisme prenant son point de départ dans la sensation sera d'autant plus malaisé que la théorie physique se sera éloignée davantage du moi sentant »¹. En effet, si l'on fonde avec Brunschvicg l'idéalisme sur le jugement, c'est-à-dire justement sur cette « déduction » qui, selon Meyerson, conduit au réel, on peut voir dans la relativité un courant favorable à l'interprétation idéaliste. Quant à la psychologie que nous défendrons, elle consiste précisément à soutenir que l'activité du sujet consiste à l'affranchir de son égocentrisme, c'est-à-dire entre autres à l'éloigner de l'intuition sensible au profit d'un système d'opérations reliant indissociablement le sujet et l'objet. Ni le vocabulaire réaliste ni le langage idéaliste ne conviennent donc à l'expression du relativisme einsteinien, qui est, par excellence, une manifestation de cette décentration.

En effet, la théorie de la relativité réserve une part infiniment plus grande à l'activité du sujet, ainsi entendue, que la mécanique classique et *a fortiori*, que la physique d'Aristote. Et, non seulement elle accroît la nécessité de son intervention, mais encore elle prolonge, avec une singulière netteté, sur le plan de la pensée scientifique, toute la série des étapes qui orientent cette activité, de l'égocentrisme perceptif à la décentration opératoire, et, dans le domaine du développement historique des opérations, de l'égocentrisme ontologique d'Aristote à la décentration copernicienne et cartésienne.

Dès la perception elle-même, l'activité du sujet se marque par une décentration qui corrige, en les coordonnant, les centrations successives à effets respectifs déformants (voir chap. II § 4). Or, dès ce travail initial de l'activité perceptive et de l'intelligence, lequel constitue donc déjà en un sens une mise en réciprocité des systèmes de références, se pose (comme nous l'avons vu plus haut, § 2 et 3 du présent chapitre) le problème de la correction des fausses impressions de simultanéité et de succession, des dilatations ou des contractions de la durée, et même, comme nous l'avons montré antérieurement (chap. II § 4 et 7), de la correction des contractions et dilatations des

¹ *Déduction relativiste*, p. 75. Voir p. 74-5, l'allusion à Platon : « et cette circonstance suffirait, semble-t-il, à montrer qu'une conception idéaliste ne se trouve point exclue ».

longueurs apparentes. Bien entendu, ces faits n'ont rien de directement commun avec les mesures scientifiques du temps et de l'espace en physique de la relativité ¹ mais ils démontrent de la manière la plus évidente (et c'est tout ce que nous voulons en tirer ici) que l'activité du sujet se manifeste dès le niveau sensori-moteur le plus élémentaires par une « décentration » (nous avons appelé ainsi, en théorie des perceptions, la coordination des centrations successives), c'est-à-dire par une mise en réciprocity des points de vue. Au niveau de la représentation intuitive et préopératoire, également, nous avons vu que les difficultés essentielles de l'intuition tenaient à une « centration », due non plus aux fixations du regard ou des organes sensoriels, mais à l'assimilation des objets à l'activité propre momentanée, cet « égocentrisme » étant peu à peu corrigé par les articulations progressives de l'intuition, dont la mobilité et la réversibilité croissantes aboutissent aux opérations concrètes. La naissance des opérations rationnelles, est donc due essentiellement à une décentration et à une coordination corrélatives des points de vue ou des différents systèmes de référence attachés aux actions ou aux intuitions successives ; elle l'est surtout à une décentration et à une coordination des points de vue ou systèmes de référence liés aux différents individus (observateurs) obligés de mettre leurs perspectives en réciprocity. À cet égard, nous avons constaté que les premières mesures spatiales ou temporelles supposaient un mécanisme opératoire déjà fort complexe, donc toute une activité du sujet décentrant ses actions et intuitions immédiates au profit de la coordination et du mouvement. Le rôle du sujet dans la connaissance ne se réduit donc pas à la sensation, mais consiste

¹ Mais il se pourrait qu'un jour la relativité intervienne en physiologie de la perception, lorsque seront mieux connus les courants électriques du système nerveux et les « champs » polysynaptiques. Il est frappant, p. ex., de constater que la centration d'un objet dilate l'espace perçu, comme si l'attention perceptive modifiait sa structure : il y a là une interaction entre l'énergétique du champ et sa structure spatio-temporelle qui pourrait présenter quelqu'analogie avec la manière dont la masse introduit des courbures dans l'espace physique. Quand Petzolt, dans un texte cité par E. Meyerson déclare qu'il est « inévitable que, par la théorie de la relativité, la physique se trouve rapprochée de la physiologie des sensations. (cf. *Déd. relativiste* ; p. 121), il énonce une vérité possible, que nous formulierions, pour notre part, en sens inverse et sans accepter pour autant l'interprétation de la relativité que nous donne cet auteur. Meyerson, ne distinguant pas ces deux questions de l'interprétation de la mécanique relativiste donnée par Petzolt et des analogies possibles entre les mécanismes perceptifs et les faits physiques, nous paraît avoir traité bien légèrement ce problème, en opposant une fois pour toutes les sciences de l'esprit et les sciences physiques, et en affirmant même « que le gouffre qui sépare ces deux branches du savoir humain, s'est, tout au contraire, encore considérablement élargi » (*Ibid.*, p 122).

en compositions opératoires, et c'est la confusion de ces deux termes opposés, et même situés aux véritables antipodes l'un de l'autre, qui seule explique les malentendus compliquant les discussions sur le rôle du sujet dans la connaissance relativiste.

Lorsque le capitaine Metz, avec le réalisme d'un officier d'artillerie, nous avertit : « Qu'on ne s'y trompe pas, en effet, chaque fois que nous parlons d'un observateur opposé à un autre observateur, il ne s'agit nullement d'une opposition plus ou moins philosophique de deux conceptions ou de deux images mentales, mais d'une différence réellement enregistrée par les appareils de mesure »¹, il a l'air de croire que le temps relatif s'impose à nous grâce aux simples constatations que pourrait faire, sur une horloge, le plus passif des sujets inventés par la philosophie empiriste. Or, nous venons de rappeler que déjà la lecture du temps et de l'espace absolus sur une horloge ou un mètre supposent un mécanisme opératoire singulièrement moins simple qu'on ne l'imagine avant d'avoir examiné de près sa formation chez l'enfant. Lorsqu'il s'agira maintenant de coordonner les lectures faites sur deux horloges à distance, situées sur des mobiles de vitesses très différentes, que signifiera la constatation du fait ? Les observateurs (nous parlons bien de physiciens qui lisent leurs appareils, et non pas de « philosophes » réduits à leurs « images mentales ») étant eux-mêmes entraînés avec leurs systèmes de références, et les mesurants étant donc modifiés par le processus même qu'il s'agit de mesurer, la constatation de la relativité du temps ne consiste donc plus en une simple perception de la position des aiguilles : il s'agit au contraire d'interpréter cette donnée au moyen d'un groupe d'opérations, qui coordonnent l'ensemble des rapports en jeu, c'est-à-dire l'ensemble des relations établies entre les lectures perceptives². L'activité du sujet n'est donc plus assimilable à une « sensation » qui appréhende un ou plusieurs objets sensibles, mais à une intelligence obligée de se décentrer de tout ce qui constitue son absolu habituel pour mettre en réciprocity son système de référence avec les autres et en dégager la co-variation. Quel est alors le mode de « réalité » que saisit cette intelligence ? Ce n'est plus une

¹ A. METZ, *Temps, espace, relativité*, p. 66.

² Ces opérations sont exprimées par la formule :

$$t' = [t - (v/c) x] / \sqrt{1 - (v^2/c^2)}$$

où t' est le temps mesuré dans le système en mouvement, v la vitesse de ce système, t le temps dans le système immobile, x la distance à l'origine et c la vitesse de la lumière.

réalité sensible, telle que la qualité propre à un objet, ni une qualité générale caractéristique d'une classe d'objets, ni un rapport simple, mais c'est un certain rapport de rapports, c'est-à-dire une réalité si difficile à apercevoir qu'il a fallu plus de 25 siècles à la science occidentale pour se douter de son existence. Nous ne nions nullement que ce système de rapports soit « réel », encore qu'il faille nous mettre à chercher ce que ce terme signifie en l'espèce, mais nous devons bien constater que, pour le saisir, le sujet est dorénavant astreint à un travail incomparablement plus actif que celui du péripatéticien, qui synchronisait avec l'ombre lunaire de son « polos » le passage d'une étoile localisée par rapport à la terre, ou que celui du newtonien, qui tenait compte des mouvements relatifs mais se fiait au temps absolu.

L'activité opératoire du sujet, constructive de rapports et coordinatrice d'actions, est donc proportionnelle à l'importance des éléments « relatifs » qu'il s'agit de composer entre eux, et cela parce qu'ils exigent une décentration d'autant plus grande par rapport au moi percevant. Jusqu'à ce point, nous croyons demeurer dans l'évidence pure.

Cela posé, le problème est de caractériser le mode de réalité qui s'attache, d'une part, aux éléments covariants qui définissent donc le « relatif » du système, et, d'autre part, aux éléments invariants qui constituent les absolus propres à la théorie de la relativité. L'épistémologie génétique n'ayant pas à choisir en bloc entre l'idéalisme et le réalisme, mais uniquement à dégager les « directions » de pensée, il s'agit donc essentiellement de chercher à déterminer dans quelle direction s'est orientée à ce double point de vue la physique relativiste par rapport à la mécanique classique ou à la physique d'Aristote.

Or, dans la mesure où la succession de ces trois grandes étapes de la pensée physique est caractérisée par une suite de décentrations toujours plus grandes, exigées du sujet, donc par une activité opératoire toujours plus nécessaire pour assurer le contact avec les « faits », on peut soutenir réciproquement que l'objet physique recule à une distance croissante à partir de l'expérience directe. L'expérience est, en effet, d'autant plus phénoméniste que le sujet demeure plus égocentrique : le phénoménisme exprimant la surface du réel tel qu'il apparaît au sujet, et l'égocentrisme exprimant l'aspect le plus immédiat ou le plus local, donc aussi le plus superficiel, de l'activité propre, on peut dire que l'union initiale du phénoménisme et de l'égocentrisme exprime ainsi la limite

commune à l'objet et au sujet, la plus extérieure à tous deux à la fois. Mais, inversement, plus le sujet est actif dans le sens de la décentration coordinatrice, et plus s'ensuivra un double mouvement corrélatif : mouvement d'intériorisation chez le sujet qui, en multipliant ses compositions opératoires, les subordonne toujours davantage aux coordinations générales de son action, et qui élabore ces coordinations en systèmes d'autant plus généraux qu'ils s'approfondissent davantage par analyse réflexive (c'est-à-dire par remaniement des principes) ; mouvement d'extériorisation, d'autre part, dans l'objet qui, au fur et à mesure de la décentration opératoire, est davantage construit ou « déduit », et s'éloigne d'autant plus des objets immédiats ou proches conçus, durant les stades antérieurs, comme indépendants de l'observateur (mais reconnus après coup comme relatifs à lui). Seulement, il est clair que ce double processus ne peut présenter de signification que dans l'hypothèse d'une activité déductive ne se bornant pas à la seule identification. Si l'on considère la raison comme demeurant toujours semblable à elle-même, et son unique fonction comme se réduisant à l'identification, l'affirmation précédente revient à la tautologie que voici : plus le sujet déduit et plus l'objet est déduit. Dans l'hypothèse, au contraire, où la raison s'élabore paliers par paliers et en fonction de ses décentrations successives à partir de l'action perceptive immédiate, ses compositions opératoires se développeront selon un processus à la fois constructif et réflexif : elles auront alors pour effet de reculer sans cesse l'objet, en le détachant toujours davantage de ses adhérences subjectives initiales, et de l'extérioriser en fonction même des coordinations reliant les uns aux autres les systèmes de référence » et leurs transformations « relatives » ^[*]. En d'autres termes, c'est dans la mesure où la raison se construit que l'objet s'extériorise, car il ne saurait s'objectiver qu'en s'appuyant sur les compositions opératoires du sujet, en vertu (une fois de plus) de ce fait que les processus de décentration constituent une condition nécessaire de la coordination.

A cet égard, la comparaison entre la formation des instruments deductifs et les divers modes de l'expérience, aux trois niveaux de la physique d'Aristote, de la mécanique classique et de la mécanique relativiste, est extrêmement frappante. Dans la physique d'Aristote, l'expérience demeure phénoméniste et la déduction, purement qualitative, la suit presque servilement. La mécanique classique est au contraire

[*Note FJP : nous avons substitué « reliant les uns aux autres les systèmes » à « reliant les uns aux systèmes », la phrase originale étant à l'évidence incomplète.]

résultée de la constitution simultanée d'un type nouveau d'expérience, systématique et objective, ainsi que des formes de déduction mathématiques nécessaires à sa lecture et à son interprétation : la géométrie analytique et le calcul infinitésimal. Or, dans le cas de la théorie de la relativité la situation est renversée de façon véritablement saisissante : ce sont les instruments géométriques et analytiques de la déduction dont la construction a ici précédé, et de beaucoup, leur application à l'expérience. La géométrie riemannienne, qui exprime les courbures du champ gravifique, est née d'une généralisation de l'espace faisant abstraction d'un postulat d'évidence intuitive, mais que sa non-démonstrabilité avait montré non-nécessaire. Quant au calcul tensoriel dû à Ricci et à Lévi-Civita, dont l'emploi s'est révélé également indispensable à la mécanique relativiste, il est né lui aussi d'une généralisation toute théorique, rendant absolu le calcul différentiel en le détachant de tout système de références. Ce sont les produits de la généralisation mathématique formelle qui se sont ainsi trouvés, bien après leur élaboration, servir de cadre aux expériences de la physique relativiste. En d'autres termes, c'est (comme nous l'avons vu au chap. III) en tournant le dos, si l'on ose dire, à la réalité immédiate que l'on a construit les instruments déductifs adaptés à l'expérience plus profonde (parce que d'échelles sans rapport avec celle de l'expérience quotidienne) et cela des années avant d'imaginer la possibilité même de ces nouveaux contacts avec le réel.

Il existe donc une relation évidente entre l'extériorisation progressive de l'objet, qui recule à une distance toujours plus grande de l'expérience immédiate, et l'intériorisation graduelle des opérations du sujet, qui s'éloignent corrélativement de l'action effective pour se transformer en actions virtuelles et toujours plus irréalisables, mais dont la formalisation traduit leurs coordinations de plus en plus générales. Le point de jonction initial entre l'objet et le sujet est l'espace, dont nous avons vu la double nature mathématique et physique selon qu'il exprime simplement les coordinations générales de l'action ou qu'il y englobe les actions spécialisées portant sur les objets. Au départ, ces deux espaces, celui de l'action comme telle et celui des objets sur lesquels elle procède, sont indifférenciés, bien que dissociables par l'analyse. Mais ils se différencient ensuite de plus en plus et cette différenciation constitue précisément l'expression la plus directe du processus plus étendu que nous étudions maintenant : dans la mesure

où le sujet décentre son point de vue par rapport à l'objet, il extériorise celui-ci, d'une part, mais il s'oblige réciproquement à des coordinations opératoires qui ont pour double effet d'intérioriser sa pensée et d'enrichir l'objet des cadres nouveaux auxquels il l'assimile. Il s'ensuit que plus le sujet affinera ses schèmes mathématiques et plus la nature de l'objet décentré et extériorisé s'avèrera distincte de ce réel du sens commun qui est encore imprégné d'éléments subjectifs au sens d'égocentriques, parce que demeurant phénoméniste. Mais en s'extériorisant graduellement, l'objet ne perd nullement contact avec le sujet, puisque ce sont les coordinations opératoires de celui-ci qui seules permettent cette décentration et cette extériorisation.

En quoi consistent alors ces modes de réalité toujours plus extériorisés, parce que toujours moins anthropomorphiques qu'atteint la pensée physique ? D'une part, le « relatif », c'est-à-dire l'ensemble des covariations inhérentes aux systèmes de référence, traduit les coordinations opératoires elles-mêmes que le sujet élabore du seul fait de sa décentration. D'autre part, les « absolus », c'est-à-dire les invariants découverts au travers de ces transformations covariantes, ne sont déduits que grâce à la relativation croissante de celles-ci. Il y a donc cercle et c'est pourquoi jamais ces absolus ne sont atteints en eux-mêmes.

Dans le cas particulier de la théorie de la relativité, ce contact permanent du sujet et de l'objet se traduit, avec une netteté jamais égalée jusque là (malgré le rêve cartésien), par une géométrisation du réel lui-même. Celle-ci résulte effectivement, en partie, des progrès réflexifs réalisés par la géométrie abstraite due aux coordinations mentales du sujet. Mais cette géométrisation de l'objet physique s'engage par ailleurs dans une direction que ni Descartes ni la mécanique classique n'auraient pu prévoir, et qui est précisément conforme au schéma de décentration et de coordination combinées exprimant l'ensemble du développement : elle s'oriente dans le sens d'une différenciation accrue entre l'espace physique et l'espace géométrique, bien que celui-ci serve d'instrument nécessaire de coordination à celui-là.

En effet, l'espace physique, selon la théorie de la relativité, fait corps avec son contenu même, au lieu de constituer un simple contenant. L'espace qui, pour Aristote, dirigeait les mobiles en leur assignant comme but un lieu propre, était devenu indifférent aux mouvements, dans la mécanique classique.

Dans la mécanique de la relativité, il y a bien isotropie de la lumière et il subsiste bien des mouvements inertiels, mais ce sont les courbures de l'espace qui déterminent les trajectoires, d'où la géométrisation de la gravitation. Il y a plus : la matière se résorbe partiellement dans l'espace, dont les « rides » expriment les qualités physiques elles-mêmes. La physique fusionne ainsi en partie avec la géométrie des objets, en ce sens que l'espace n'est plus un contenant qui agit sur son contenu, comme chez Aristote, ou indifférent à son contenu comme chez Descartes : il n'y a plus ni contenant ni contenu, mais un seul tout dont les divers aspects se tiennent indissolublement, et un tout quadrimensionnel, c'est-à-dire incorporant le temps aux dimensions de l'espace. Ainsi le mode d'existence auquel tend la réalité matérielle sous son aspect relatif n'est autre qu'un système de coordinations spatiales englobant les covariations physiques elles-mêmes, tandis que les absolus sont les singularités des champs spatio-temporel, décelable de façon invariante au travers de tous les systèmes de références.

Il s'ensuit alors deux conséquences d'une importance épistémologique considérable. La première, sur laquelle nous aurons à revenir, tient à la nature de l'explication physique. À rattacher la physique au spatial, on n'identifie pas sans plus le supérieur à l'inférieur, au sens du complexe au simple, d'où les résistances irréductibles du « divers » à l'identification (telles que, selon Meyerson, « la science, en progressant, inclut plus d'irrationnel dans ses explications »¹). Il se trouve, au contraire, que l'assimilation est réciproque : si la courbure d'univers explique le fait physique, elle dépend elle-même de la quantité des particules matérielles présentes. Autrement dit, l'explication n'est une réduction ni dans un sens ni dans l'autre, mais une composition englobant le supérieur et l'inférieur dans un même système de transformations. Expliquer une propriété matérielle par une courbure de l'espace, ce n'est donc ni supprimer la première au profit de la seconde, ni l'inverse, ni toutes les deux au profit d'un troisième terme : c'est réunir les caractères de l'une et de l'autre en un système opératoire qui rende compte à la fois de leurs transformations respectives et de leurs échanges, c'est-à-dire qui explique à la fois le divers et l'identique. Bien entendu, les notions invoquées (masse, énergie, mouvement, espace, etc.) prennent par cela même un sens

¹ *Déduction relativiste*, p. 368.

différent de celui qu'elles avaient dans le système antérieur, dans lequel leur assimilation réciproque n'était pas possible ; c'est en cela que consiste la décentration qui les désubjectivise et les extériorise par rapport à l'action ordinaire ; mais ce sens nouveau qu'elles acquièrent n'anéantit pas leur diversité : il permet simplement de la composer en un seul tout organisé de transformations solidaires. Ce processus de composition, qui constitue proprement la causalité, n'est donc ni la simple inclusion logique des lois les unes dans les autres, dont le positivisme déclare se contenter, ni l'identification qui échoue par définition, puisqu'elle provoque la résistance du non-identique : il est essentiellement opératoire, c'est-à-dire qu'il reconstruit la variation en même temps que l'invariant, conformément à ce qu'est l'effort constant de toute pensée physique (et mathématique).

En second lieu, par le fait que la composition ainsi obtenue dans l'explication einsteinienne de la gravitation rejoint l'espace lui-même, c'est-à-dire précisément le point de départ commun à l'extériorisation de l'objet et à l'intériorisation des opérations déductives du sujet, la théorie de la relativité fournit une indication particulièrement suggestive sur ce que pourrait être la direction propre de la pensée physique. Que l'extériorisation toujours plus décentrée de l'objet aboutisse en fin de compte à une géométrisation, n'est-ce pas le meilleur indice que cette extériorisation est solidaire de l'intériorisation du sujet, et que, à dissoudre le réel anthropomorphique pour vouloir atteindre la réalité en elle-même, pendant que le moi se dégage de son égocentrisme pour construire des systèmes opératoires de plus en plus intériorisés, on aboutit en définitive à un même résultat d'ensemble, qui est l'assimilation des choses aux opérations et à leurs coordinations ? Quand Eddington, dans un passage célèbre, déclare « regarder la matière et l'énergie, non pas comme des facteurs produisant les différents degrés de courbure de l'univers, mais comme des éléments de perception de cette courbure » et ajoute que la matière « est un indice et non une cause »² pour conclure enfin « nous n'avons nullement l'intention de construire une théorie géométrique de l'univers, mais c'est au cours de la recherche d'une réalité physique » et par les « méthodes éprouvées du

¹ EDDINGTON, *Espace, temps, gravitation*, p. 234.

² *Ibid.*, p. 223 ; cf. aussi dans MEYERSON (*Déduction relativiste*), la citation de Weyl, p. 192 et les remarques de la p. 193. [=note p. 109/FJP]

physicien que cette théorie géométrique prit naissance »¹, il exprime en des termes fort suggestifs à la fois la décentration du réel par rapport au moi et l'assimilation de l'univers aux opérations du sujet. Nous avons vu au chap. III qu'après une période au cours de laquelle les mathématiciens attribuaient leurs opérations à une simple synthèse subjective, ils en étaient venus à admettre une sorte d'« objectivité intrinsèque », Nous voyons maintenant les physiciens, après une longue période de simple réalisme, en venir à ce que l'on pourrait presque appeler une « subjectivité extrinsèque ». Finiront-ils tous deux par se rencontrer ?

§ 10. CONCLUSION. — La première conclusion à tirer de ce qui précède est la convergence des données génétiques et des données tirées de l'histoire des sciences en ce qui concerne les notions cinématiques et mécaniques. Qu'il existe un rapport étroit entre l'évolution historique des notions de nombre ou d'espace et le processus génétique qui a présidé à leur formation, cela est naturel puisque l'un et l'autre sont le produit de notre activité. Mais que des notions physiques, empruntant un élément essentiel aux objets eux-mêmes, se trouvent évoluer, au cours du développement des sciences, d'une manière qu'il est possible de mettre en liaison avec leur psychogenèse, cela est plus intéressant et montre l'unité des lois de l'adaptation intellectuelle à l'objet. Or, la connexion du temps et de la vitesse s'affirme dès le début de la construction de ces notions, chez l'enfant, pour se retrouver jusque dans la mécanique relativiste. Le double aspect objectif (accélération) et subjectif (effort) de la notion de force a conditionné en deux sens contraires l'évolution de ce concept comme ses phases initiales elles-mêmes ; il en va également ainsi du couple finalité \times déplacement en ce qui concerne le mouvement. Mais surtout, la décentration progressive qui a conduit les notions mécaniques du réalisme anthropomorphique à l'objectivité relativiste procède d'un passage analogue de l'égoïsme à la mise en relations, processus que l'on observe dès les stades les plus primitifs et infantiles de constitution de la pensée physique.

D'où la seconde conclusion. Tant l'examen des stades de la genèse des notions mécaniques que celui de leur histoire au sein même des sciences mettent en évidence une loi essentielle d'évolution : d'abord indifférenciées, les connaissances logico-mathématiques et physiques se séparent ensuite toujours da-

vantage selon un double mouvement d'intériorisation et d'extériorisation, mais c'est dans la mesure où elles se différencient en s'engageant ainsi en des directions contraires qu'elles s'accordent le mieux entre elles. Si banale qu'elle soit, cette constatation n'en recouvre pas moins un mystère surprenant. Nous en avons vu (chap. III) l'aspect mathématique : c'est en s'éloignant du concret, donc de l'objet immédiat et en s'approfondissant réflexivement par une formalisation toujours plus abstraite que la connaissance logico-mathématique parvient à anticiper le mieux les expériences ultérieures faites sur le réel. Mais le paradoxe n'en est pas moins grand quant à la réciproque physique de ce processus logico-mathématique de déconcrétisation ou d'intériorisation : c'est en s'éloignant du subjectif par une extériorisation qui les décentrent toujours plus que les notions mécaniques se soumettent le mieux aux coordinations opératoires générales, lesquelles résultent pourtant de l'activité effective du sujet. Il n'y aurait là aucun mystère si les êtres logico-mathématiques étaient tirés de l'expérience et si la connaissance physique n'était en retour que de la « mathématique appliquée ». Mais, bien que l'une et l'autre de ces deux thèses aient été soutenues, elles sont aussi superficielles l'une que l'autre, parce qu'elles négligent l'effort complémentaire d'une abstraction tirée, dans un cas, de l'action du sujet et non pas de l'objet, et d'une expérimentation portant, dans l'autre cas, sur l'objet en tant que décentré et se comportant de façon imprévisible pour le sujet. L'invention de la géométrie riemannienne et la découverte de Michelson et Morley sont à cet égard deux symboles dont il est difficile de ne pas voir à la fois l'opposition et l'harmonie : le caractère non-expérimental de cette invention est aussi clair que le caractère imprévisible, donc non-déductible d'avance, de cette découverte, et pourtant la première a ensuite rejoint l'expérience et la seconde s'est laissée intégrer, une fois assimilée, dans les cadres d'une déduction. Tout le paradoxe de la physique mathématique tient à cette correspondance, réétablie à chaque nouveau palier du développement, entre les phases successives de l'intériorisation et celles de l'extériorisation. Il ne suffit plus, à ce point de vue, de parler d'accord entre la déduction et l'expérience, comme au temps où la déduction, quoique déjà formelle, portait sur des évidences intuitives et où l'expérience, quoique déjà systématique, portait sur des objets accessibles à l'action directe du sujet : dès le moment où la déduction, devenue axiomatique, tourne pour ainsi dire le dos au réel et

où l'expérience, sortant de notre échelle d'action, dépasse l'horizon du sujet, il s'agit vraiment de deux activités orientées en sens inverse et c'est cette double décentration à partir du phénoménisme et de l'égoïsme, puis de l'expérimentation et de la déduction concrètes, qui constitue le caractère surprenant de l'harmonie actuelle entre le sujet logico-mathématique et l'objet physique.

Troisième conclusion : si le contact ne se perd jamais entre le sujet et l'objet, il se présente cependant sous trois formes distinctes, correspondant aux étapes successives de cette décentration. La première phase est celle d'une indifférenciation (de degrés divers) entre les données extérieures, qui restent phénoménistes et les notions du sujet demeurant égocentriques : d'une part, le réel est ainsi déformé en fonction du moi, les éléments subjectifs de^[*] finalité, d'effort, de temps vécu, etc. étant projetés dans les choses ; mais d'autre part, les raisonnements du sujet, encore voisins de l'intuition sensible, ne comportent aucune dissociation stricte entre les coordinations logico-mathématiques et les actions ou opérations physiques. C'est ce mélange d'éléments subjectifs et d'éléments objectifs déformés les uns en fonction des autres qui caractérise les phases de genèse, y compris cette systématisation de la cinématique et de la mécanique de sens commun que constitue la physique d'Aristote. La seconde phase est celle d'un parallèle entre la déduction et l'expérience et elle trouve son apogée dans la mécanique classique : l'expérience physique une fois conduite systématiquement, et décentrée par rapport aux éléments égocentriques, trouve son instrument de coordination en une logique et une mathématique devenues opératoires et détachées du phénoménisme : d'où un parallélisme si étroit que la déduction prévoit toute l'expérience et que celle-ci s'intègre entièrement dans celle-là, si bien que l'on a pu considérer tour à tour la mécanique rationnelle, comme un modèle *a priori* ou comme un modèle de parfaite adéquation empirique. Puis vient une troisième phase où l'expérience dépasse notre échelle d'observation spatio-temporelle et où la déduction se libère de ses résidus intuitifs : cette dernière conquête sur l'égoïsme des échelles humaines et sur le phénoménisme des intuitions initiales se traduit alors par une extériorisation plus poussée de l'objet et par une intériorisation corrélative des instruments logico-mathématiques du sujet, telles que, à l'indifférenciation et au parallélisme caractéristiques des deux premières phases, succède une simple correspondance entre les faits

[*Note FJP : nous avons substitué « de » à « et ».]

expérimentaux et les schèmes internes : mais, quoique incomplète, cette correspondance est si précise, là où elle se produit, qu'il faut se demander si, par une inversion des rôles comparable au changement des épées dans Hamlet, le sujet ne retrouve pas l'objet aux sources psycho-physiologiques et organiques de sa propre pensée, et s'il ne se retrouve pas lui-même dans l'objet, au fur et à mesure qu'il repousse celui-ci à l'extérieur de son moi...

Tel est le vrai sens du processus essentiel de la décentration. Décentrer l'action propre ce n'est pas simplement ajouter d'autres actions à l'acte initial et les relier après coup par un processus de pure extension cumulative. Décentrer, c'est inverser les relations elles-mêmes et construire un système de réciprocités, qui est qualitativement nouveau par rapport à l'action de départ. C'est donc détacher l'objet de l'action immédiate pour le situer dans un système de relations entre les choses, correspondant terme à terme au système des opérations virtuelles que le sujet pourrait effectuer sur elles de tous les points de vue possibles et en réciprocité avec tous les autres sujets. C'est pourquoi chaque décentration constitue un double progrès simultané dans la construction de l'objet et dans les coordinations opératoires du sujet : décentrer l'action ou le point de vue propres, ne consiste donc ni à se priver simplement de quelques relations incomplètes, ni à les compléter par simple addition de relations nouvelles, mais c'est inverser le sens de l'assimilation et c'est renoncer aux perspectives privilégiées pour construire, en fonction de cette conversion même, un double système objectif et logique. Décentrer signifie « grouper », et c'est grâce aux réciprocités atteintes en sortant du point de vue nécessairement déformant et égocentrique de départ que s'élaborent corrélativement les connexions réelles et la réversibilité opératoire. C'est pourquoi le progrès intellectuel n'est ni linéaire ni simplement cumulatif, mais simultanément constructif et réflexif parce que dû à un double mouvement d'intégration externe et de coordination interne.

CHAPITRE V

CONSERVATION ET ATOMISME

Le problème des rapports que soutient l'activité logico-mathématique du sujet avec l'objet physique peut être serré de plus près que sur le terrain général des notions cinématiques et mécaniques. Si le développement de ces dernières notions nous fait assister à une décentration graduelle de l'univers et à une coordination corrélatrice des structures physiques d'ensemble, les relations entre le sujet et l'objet se concentrent néanmoins sur certains points privilégiés, qui sont les invariants de chaque système. A cet égard, les principes de conservation soulèvent une question capitale, dont l'énoncé même met en évidence le caractère paradoxal : constituant à la fois les absolus de la réalité considérée et les invariants opératoires du processus déductif servant à atteindre cette réalité, les diverses formes de conservation proviennent-elles donc de l'expérience, de la déduction elle-même ou d'une construction unissant les uns aux autres les éléments réels et rationnels ? Dans chacun de ces trois cas, il reste que l'accord entre l'esprit et la réalité semble alors préétabli, non pas que le sujet connaisse d'avance ce qui demeure invariant dans l'objet, mais parce qu'il lui faut admettre, pour penser, qu'il existe des invariants, et parce que l'objet paraît exiger, de son côté, la possession de tels invariants à titre de condition de son existence même. Aussi E. Meyerson, dont l'épistémologie est centrée sur les principes de conservation, considère-t-il ceux-ci, tour à tour, comme l'expression la plus directe du travail de la raison et comme la preuve la plus authentique de la réalité de l'objet. Il est donc évident que l'on se trouve, sur un tel terrain, en présence de points de contacts particulièrement importants entre le sujet et le réel, et qu'il importe de pousser à cet égard aussi loin que possible le mode d'analyse propre à l'épistémologie génétique.

Or, la question n'est pas seulement essentielle dans le domaine de l'épistémologie physique elle-même : sa discussion éclaire en outre les rapports entre la pensée physique et la pensée logico-mathématique comme telle. Il existe, en effet, des principes de conservation spécifiquement logiques ou mathématiques, sans rapport immédiat avec les invariants physiques : c'est ainsi qu'un ensemble ou un nombre se conserve indépendamment des opérations portant sur ses éléments et qu'un groupe algébrique ou géométrique comporte des propriétés laissées invariantes au cours des transformations. Si de telles formes de conservation intéressent les processus déductifs à eux seuls, les constances physiques portent par contre sur des propriétés de l'objet dépassant les structures formelles logico-mathématiques. L'analyse des principes physiques de conservation conduit donc, non seulement à nous renseigner sur le fonctionnement de la pensée physique, en tant qu'union de la déduction et de l'expérience, mais encore sur ses rapports avec la pensée logico-mathématique, en tant que pensée purement déductive. C'est à ce double point de vue que nous nous placerons ici.

Le problème de l'atomisme conduit à des considérations semblables. Lié de près à certaines formes de conservation, telle l'invariance de la masse, l'atomisme s'est révélé, au cours de toute son histoire, comme constituant essentiellement un ensemble de procédés de composition. Or, cette composition comporte assurément des modèles mathématiques, sous les espèces de la composition discontinue des nombres rationnels ou même de la reconstruction du continu spatial à partir des points, et l'on sait assez les nombreuses interférences historiques qui se sont produites entre ces divers domaines.

Mais il y a plus. Tant les notions de conservation que celle de l'atomisme ont vu le jour bien avant toute expérimentation scientifique précise. Si ces constructions présentent, sur le terrain de la science constituée, un intérêt particulier du double point de vue du mécanisme de la pensée physique et de ses rapports avec la pensée logico-mathématique, elles offrent donc, en outre, une occasion particulièrement favorable à l'analyse simultanément historique et génétique. Les premiers « physiciens » et mathématiciens grecs découvrirent successivement la permanence de la substance, ses transformations par condensation et raréfaction, et finalement sa composition atomistique, dans le même temps qu'ils reconnurent les propriétés des figures géométriques et celles des nombres. Cette corrélation entre

l'invention physique et l'invention mathématique, avec anticipation de l'atomisme vingt-cinq siècles avant toute confirmation de laboratoire, soulève une série de problèmes historiques dont la solution serait d'une importance extrême. Ainsi Pythagore, qui identifiait les nombres aux éléments des figures de l'espace réel est considéré par G. Milhaud comme le premier des atomistes : on imagine l'intérêt que prendrait de ce point de vue une étude détaillée de son enseignement, si elle était possible. Or, si en tous les domaines, l'analyse historico-critique réclame à titre de complément une investigation psychogénétique, la question des formes préscientifiques de la conservation et de l'atomisme comporte à cet égard une réponse précise : l'enfant parvient à certaines notions de conservation et à un certain atomisme aux niveaux mêmes où il construit ses structures logiques et numériques, ainsi que ses premiers invariants géométriques. Il est donc possible, sur ce terrain, non seulement de saisir en sa racine la connexion intellectuelle des opérations physiques et des coordinations logico-mathématiques, mais encore de dégager avec une exactitude appréciable le rôle des facteurs d'expérience et des facteurs de déduction dans la constitution des notions de conservation, en précisant notamment le mécanisme constant du mode de déduction en jeu.

En bref, les divers problèmes épistémologiques que soulève la formation des notions de conservation et d'atomisme, tant sur le terrain génétique que sur celui de l'analyse de la pensée scientifique, sont interdépendants, parce que le type de connexion entre l'expérience et les constructions opératoires qui interviennent dans l'élaboration de ces notions est révélateur de la relation générale existant entre les actions physiques et les coordinations logico-mathématiques. Comme nous allons le constater, c'est la structure mathématique de groupe, qui, en coordonnant les transformations physiques elles-mêmes, aboutit à la constitution des diverses formes de conservation. Mais, tandis que sur les paliers supérieurs il est possible de dissocier cette forme mathématique de son contenu expérimental, dans les phases initiales, au contraire, la forme et le contenu, c'est-à-dire la coordination et les actions coordonnées, constituent un seul tout, dont les interdépendances sont révélatrices quant à la nature de la pensée physique. D'une part, en effet, avant toute mathématisation explicite de la réalité matérielle, l'expérience physique suppose à elle seule une structuration logique des actions dont cette expérience procède : or, cette structuration prend alors la forme de « groupements » c'est-à-

dire de compositions réversibles qualitatives, non encore extensives ni métriques, et nous allons chercher à montrer que les premières formes de conservation émanent de tels groupements, avant que ceux-ci se transforment en groupes par l'introduction de la quantité mathématique. Déjà sur ce plan logique ou pré-mathématique, c'est donc la réversibilité opératoire et non pas l'identification qui engendre les premiers invariants physiques. D'autre part, les structures de groupements et de groupes étant caractéristiques des coordinations opératoires du sujet, il faut alors admettre que l'explication physique consiste à assimiler les transformations du réel aux opérations elles-mêmes : or, cela est vrai, non pas seulement de l'identité seule, mais encore, et au même titre, de la variation comme telle, reconstruite en fonction des transformations inhérentes à toute composition logico-mathématique et conçue comme liée, par un lien nécessaire, aux invariants eux-mêmes.

§ 1. L'OBJET PHYSIQUE ET LES COORDINATIONS GÉNÉRALES DE L'ACTION. — Si la thèse qui précède est vraie, ce n'est pas sur le terrain des notions supérieures de conservation qu'on pourra la démontrer le plus facilement, car les déductions propres à la physique mathématique portent alors sur des relations déjà élaborées à un haut degré, dont seul le système d'ensemble (c'est-à-dire la « théorie » considérée) est mis en confrontation avec l'expérience pour être accepté ou rejeté en bloc. C'est au contraire dans la zone de prise de contact élémentaire entre l'esprit et le réel, c'est-à-dire au cours de la formation des notions les plus simples qu'il s'agit de déceler comment procède la construction corrélatrice des invariants et des lois de variations.

Il est à cet égard, une première forme d'invariant physique, dont E. Meyerson a souvent souligné la parenté profonde avec les notions de conservation construites par la pensée scientifique : c'est le schème de l'objet permanent, qui se constitue déjà sur le terrain de l'action sensori-motrice, antérieure à la représentation conceptuelle. En effet, ce schème de l'objet, principe de solidification de cet univers pratique et perceptif qui est celui du sens commun et de la science macroscopique elle-même, soulève à lui seul tous les problèmes dont nous aurons à nous occuper à propos des invariants plus raffinés. D'une part, si physique que soit la notion de l'objet extérieur, substrat substantiel de toutes les qualités perçues dans le monde sensible et que le physicien étudiera une à une quantitativement,

sa constitution implique d'emblée l'intervention de coordinations de type logico-mathématique, puisque l'objet demeure identique à lui-même, puisqu'il est localisé dans l'espace et surtout que son élaboration se rattache de très près à celle du groupe pratique des déplacements invoqués par H. Poincaré comme racine de l'espace entier lui-même. D'autre part, si lié qu'il soit aux mécanismes perceptifs, et notamment aux « constances » de la couleur, de la grandeur et de la forme, l'objet physique suppose surtout des actions, telle l'action de retrouver, et pose ainsi la question des rapports entre la sensation et l'acte, donc entre l'identification directe et la composition opératoire (dont la réversibilité et l'associativité pratiques interviennent justement dans les retours et les détours propres au groupe des déplacements empiriques). La formation de l'objet permanent soulève donc d'emblée à la fois le problème des rapports entre les actions physiques et la coordination logico-mathématique, ainsi que celui du mode de constitution des invariants physiques.

Or, le grand intérêt de cette notion de l'objet matériel, précisément à cause de son caractère élémentaire, est de montrer de la manière la plus claire que, si haut que l'on remonte vers la source des actions et intuitions physiques, elles ne se présentent jamais à l'état indépendant par rapport aux coordinations générales de l'action, c'est-à-dire aux sources de la coordination logico-mathématique. Il n'y a pas, d'un côté, des schèmes spatiaux ou des schèmes de caractère logico-numérique (équivalents pratiques de la classe, de la relation ou de la quantité numérique) et, d'un autre côté, des qualités physiques ou sensibles (couleur, résistance, poids, etc.), mais les actions qui aboutissent à individualiser ces qualités physiques ne sont possibles, dès le départ, que reliées les unes aux autres par un minimum de coordination, laquelle est déjà de nature logico-mathématique. L'analyse de la notion d'objet fournit donc bien la clef de celle des notions ultérieures de conservation, comme le voulait E. Meyerson, mais peut-être bien en un autre sens que ne le supposait cet auteur.

Prenons comme exemple la qualité physique de couleur. Chacun sait que l'objet est perçu selon une couleur relativement constante : une feuille de papier blanche est encore blanche à l'ombre et un gris clair est encore gris en pleine lumière. Nous percevons ainsi l'*albedo* ou pouvoir invariant de réflexion de l'objet et non pas la lumière réfléchie sur lui. De plus, cette propriété perceptive est spéciale à l'objet. En une ingénieuse

expérience, Kardos a, en effet, montré¹ que les couleurs de « fond » ne sont pas constantes : ainsi une feuille de papier grise n'est dotée d'une couleur constante que si l'on en voit les bords, tandis que, si ceux-ci sont cachés et que l'on perçoit la feuille grise à travers une ouverture pratiquée dans un écran (donc à titre de « fond » neutre), ce gris n'est plus constant faute d'être attribué à un objet délimitable. Or, loin de parler en faveur d'une interprétation épistémologique de l'objet fondée sur les « sensations » et sur des rapports de simple identification entre elles, de tels faits mettent au contraire en évidence le rôle de l'action et des coordinations actives. D'une part, Piéron² a bien souligné le rôle fonctionnel de la perception de l'*albedo*, laquelle est un moyen d'individualisation des objets, par opposition à l'individualisation des couleurs comme telles : il s'agit donc d'un procédé pratique à buts utilitaires et, ici comme toujours, la perception est un indice au service de l'action, et non pas une prise de possession du donné immédiat. D'autre part, le mécanisme causal (donc le « comment », par opposition au « pourquoi » fonctionnel) de cette constance des couleurs est à chercher dans des régulations perceptives, qui, sans atteindre le niveau opératoire, annoncent cependant l'opération et impliquent déjà une coordination élémentaire dans laquelle interviennent des facteurs apparentés à la coordination logico-mathématique. Hering attribuait cette constance à des régulations physiologiques trop simples (ajustement de la pupille à l'éclairement et de la sensibilité rétinienne à la lumière), mais Katz a montré qu'il y avait disproportion quantitative entre ces mécanismes et les quantités de lumière en jeu. D'autre part, l'explication de Hering n'explique pas la non-constance des couleurs de « fond ». La théorie de la Gestalt a invoqué des lois permanentes d'organisation, mais la constance des couleurs évolue avec l'âge jusque vers 10-11 ans (Beyrl). Il ne reste donc qu'à admettre l'intervention de régulations actives (consistant p. ex. en déplacements virtuels de l'objet comme c'est le cas dans la constance de la forme, et en mises en relation de sa couleur avec celles de l'environnement).

La perception des couleurs constantes de l'objet est donc elle-même liée à un système d'actions. Quant à la perception du poids, on connaît assez le rôle qu'y jouent les anticipations motrices : un objet volumineux, mais peu lourd, est perçu plus léger qu'il n'est en réalité parce qu'on prévoit une proportionnalité entre le poids et le volume, et que cette fausse prévision engendre une illusion de contraste, etc. Mais, surtout, les

¹ L. KARDOS, *Ding und Schatten*, Zeitschr. f. Psychol., 23 (1934), Leipzig.

² H. PIÉRON, *Psychologie expérimentale*, Paris (Alcan).

constances de la grandeur et de la forme perceptives de l'objet loin d'être données en fonction de lois d'organisation purement réceptives, évoluent avec l'âge et reposent sur un jeu de régulations et d'anticipations dans lequel interviennent des éléments d'action (transports perceptivo-moteurs, etc.)¹. Bref, en aucune de ses propriétés perceptives, l'objet n'est le produit de pures « sensations », fusionnées entre elles par identifications directes, et, dès la perception des objets, interviennent des actions (spécifiquement physiques) ainsi que des coordinations régulatrices impliquant le mouvement, l'espace et un système de comparaisons effectives ou virtuelles, c'est-à-dire des éléments logico-mathématiques.

Comment donc s'explique la formation du schème de l'objet et quelles sont, en ce qui le concerne, les rapports entre l'action physique, c'est-à-dire génératrice de perceptions qualitatives spécialisées, et la coordination logico-mathématique, c'est-à-dire la coordination générale des actions ? Le problème se centre sur le caractère « substantiel » de ce schème. L'objet n'est pas seulement, en effet, un faisceau de qualités rendues constantes grâce aux régulations perceptivo-motrices : il est surtout le substrat de ces qualités, c'est-à-dire une « substance » conçue comme continuant d'exister en dehors même de tout champ perceptif. Or, ce caractère de substantialité se construit précisément en même temps que les constances perceptives, et c'est à son sujet que le rôle des actions et de leur coordination est le plus évident² : cette coordination n'est autre que le « groupe » pratique des déplacements, tandis que les actions ainsi coordonnées sont précisément les actions accomodées aux qualités physiques de couleur, poids, etc., caractéristiques de chaque objet particulier.

Nous avons rappelé à propos de la genèse de l'espace (voir Chap. II § 5), comment H. Poincaré attribuait la distinction entre les rapports géométriques et les rapports physiques à une opposition jugée élémentaire entre les changements de position et les changements d'états : les premiers, pouvant être annulés par des déplacements corrélatifs du corps propre, sont en effet réversibles, tandis que les seconds demeurent irréversibles faute de pouvoir être corrigés par les mouvements de nos membres et de nos organes sensoriels. Cette thèse, si suggestive en sa simplicité, résoudrait à elle seule, si elle était vraie dès les stades primitifs, tous les problèmes

¹ Voir chap. II § 4.

² Voir *La Construction du réel chez l'enfant* (Delachaux et Niestlé), chap. I.

que nous nous posons ici : les changements de position, intéressant simultanément les mouvements de l'objet et ceux du sujet, constitueraient à la fois l'espace physique des objets extérieurs, et l'espace géométrique des coordinations de l'action propre, ce dernier étant la condition nécessaire de la construction du premier ; d'autre part, en l'absence de tout changement d'état, l'objet devrait sa permanence à sa situation d'invariant du groupe des déplacements extérieurs ou physiques, tandis qu'il varierait en fonction des changements d'état en attendant que de nouveaux invariants de poids, de masse, etc., soient reconnus au sein de ces changements eux-mêmes (et que ces derniers finissent par se réduire à leur tour à des simples mouvements, mais d'échelle inférieure).

Mais il est psychologiquement inexact que les changements de position soient différenciés des changements d'état en vertu d'une distinction première, donnée dès les perceptions et les mouvements les plus élémentaires. En réalité, la thèse de Poincaré suppose la notion d'objet et n'en explique pas la construction : distinguer un changement de position d'un changement d'état, en parvenant à annuler le premier par un déplacement corrélatif du corps propre, c'est, en effet, s'avérer simultanément capable d'assurer l'identité du mobile extérieur et de différencier son mouvement de ceux du corps propre. A supposer un sujet qui retrouve sans cesse ou ne quitte pas des yeux un objet en mouvement, mais sans avoir conscience de déplacer son regard et sans attribuer à cet objet la valeur d'un mobile se mouvant par rapport à d'autres : alors ce sujet percevrait tout le fond, sur lequel se détache le mobile, comme étant lui-même en transformation et selon le mode des changements d'états. En réalité, le bébé commence par être incapable de distinguer ses propres mouvements par rapport à ceux des objets, de mettre en relation le mouvement d'un objet avec un système de référence immobile, et d'assurer son identité au mobile ; tout changement de position lui apparaît ainsi, au début, comme un changement d'état et le problème se pose dans les termes suivants bien différents de ceux de Poincaré : comment se construiront simultanément la permanence de l'objet mobile, le groupe de ses déplacements physiques et le groupe des déplacements propres ?

Le grand intérêt épistémologique de la construction de l'objet est à cet égard, de montrer l'intime union des actions particulières, sources de la connaissance physique et de leurs

coordinations, sources de la connaissance logico-mathématique. D'une part, le nourrisson exerce sur les choses une série d'activités qui lui permettent de découvrir et de différencier leurs qualités perceptives : il les regarde en les suivant des yeux, les écoute en cherchant à lier les sons aux tableaux visuels, les palpe, les frotte, les secoue, les soulève, etc. C'est à propos seulement de ces actions que s'organisent les diverses données perceptives : résistance, dureté ou élasticité, poids, couleur et son, etc., mais ces perceptions de caractères physiques sont loin de suffire à constituer seules un schème de substance ou de corps, c'est-à-dire d'objet permanent. D'autre part, ces actions ne peuvent s'effectuer qu'en se coordonnant entre elles : non seulement un tableau visuel, sonore, tactile, etc., ne peut être perçu qu'en fonction d'autres tableaux de même caractère, simultanés ou antérieurs, ce qui revient à affirmer la dépendance de chaque action par rapport aux précédentes, mais encore les divers champs sont coordonnés entre eux grâce à des coordinations entre les schèmes d'actions eux-mêmes (ainsi l'audition est assez rapidement reliée à la vision, la vision et la préhension se coordonnent entre elles vers 4-5 mois, etc.). Or, ces coordinations, dont il est essentiel de comprendre qu'il ne s'agit pas d' « associations » entre « sensations », mais bien d'assimilations ou d'intégrations des actions elles-mêmes les unes dans les autres (p. ex. prendre ce qui est regardé ou regarder ce qui est saisi, etc.), constituent précisément le point de départ des structurations spatiales et du schématisme d'où procéderont les classes, les relations et les nombres : c'est ainsi qu'aux espaces hétérogènes du début (buccal, tactile, visuel, sonore, etc.), succèdent, avec la coordination des actions, des espaces englobant plusieurs champs perceptifs et moteurs à la fois ; d'autre part, la coordination des mouvements successifs, les uns servant de moyens et les autres atteignant les buts perceptifs désirés, constitue le point de départ des mises en relations, c'est-à-dire des structures logiques et prénumériques (voir chap. III § 7).

Bref, dès le point de départ de l'activité sensori-motrice, les actions particulières, qui donnent lieu aux premières connaissances physiques impliquent une coordination entre elles, et cette coordination, constitue la première forme de ce que seront les liaisons logico-mathématiques, en particulier spatiales. Inversement, il ne saurait y avoir, sur le plan de l'action, de coordination générale sans actions particulières à coordonner. Il y a donc dès le principe union du physique et du logico-mathématique, non pas sous la forme de deux réalités d'abord indépendantes qui entreraient en contact, mais sous la forme de deux aspects à la fois indissociables et irrég-

ductibles de la même totalité active. Or, c'est précisément cette connexion *sui generis* qui explique la formation du schème des objets permanents : dans l'exacte mesure où les actions particulières exercées sur les choses sont coordonnées entre elles, ces coordinations propres au sujet agissant sur le réel vont, en effet, engendrer simultanément le groupe pratique des déplacements, l'invariant de groupe qu'est l'objet permanent et les régulations permettant d'attribuer à cet objet certaines qualités perceptives rendues ainsi constantes (au sens des constances de la couleur, de la grandeur, etc.).

La meilleure preuve que les quatre processus de coordination des actions propres, de groupement des déplacements externes, de constitution de l'objet substantiel et de régulation des constances perceptives, sont étroitement solidaires, est qu'on peut suivre pas à pas leurs progrès corrélatifs en fonction de la décentration graduelle des actions du sujet (au sens du passage de l'égocentrisme à la coordination englobant en retour le corps propre dans le système construit : voir chap. III). Au point de départ, il n'y a pas de conduites se rapportant aux objets disparus, donc pas d'objets permanents : p. ex. même après que le nourrisson ait appris à saisir ce qu'il voit, il arrivera longtemps que, déplaçant déjà la main dans la direction d'un objet, il la retirera si l'on recouvre celui-ci d'un linge (alors qu'il sait très bien enlever un linge posé sur son visage) ; tout se passe comme si l'objet, cessant d'être visible, se résorbait dans le linge, c'est-à-dire comme si les changements de position étaient conçus comme des changements d'états. Il arrive bien que, ayant interrompu une action déjà en cours, le sujet la reprenne et s'attende ainsi à retrouver les objets en place, mais ce début de permanence est précisément lié à la continuation de l'action propre, et non pas encore à des transformations imposées de l'extérieur. Dans la suite, l'enfant arrivera (vers 8-10 mois) à chercher l'objet disparu derrière des écrans, mais chose très intéressante, sans tenir compte encore de la suite des déplacements : ayant p. ex. trouvé un objet sous un écran A, à sa gauche, le bébé voyant de ses yeux l'objet être placé sous un écran B, à sa droite, retournera aussitôt le chercher sous A ! Cette curieuse réaction est doublement instructive : elle montre d'abord que l'objet n'est pas encore individualisé, mais fait toujours partie du contexte d'ensemble de l'action qui a réussi (l'objet X et l'écran A forment ainsi une sorte de totalité indivise, de même qu'on cherche par distraction ses lunettes dans leur étui juste après les en avoir sorties) ; elle montre en second lieu que les déplacements successifs du mobile ne sont pas encore « groupés » mais demeurent centrés en fonction de l'action propre. Enfin, la coordination croissante des actions a pour effet de grouper les déplacements en systèmes réversibles (retour) et associatifs

(détours) d'ensemble, tels que le sujet, au lieu de rapporter à sa position et à son action les mouvements divers des mobiles, se situe au contraire lui-même à titre d'élément dans ce tout perceptif et moteur : c'est alors, et alors seulement, que l'objet se détache de l'action immédiate pour devenir substance permanente, c'est-à-dire un invariant susceptible d'être retrouvé en fonction à la fois de ses déplacements et des mouvements du corps propre ; d'où, du même coup, les régulations perceptives liées aux déplacements virtuels et qui assurent les constances qualitatives de cet invariant substantiel, par une stabilisation corrélatrice du substrat et de ses qualités.

Ainsi la construction de l'objet permanent, première forme de conservation matérielle, montre comment se présente, dès le départ, l'union nécessaire des actions spécialisées, sources de connaissance physique, et des coordinations générales de l'action, sources de connaissance logico-mathématique. En quoi des actions telles que de placer ou déplacer, réunir ou dissocier, ordonner, substituer, etc., diffèrent-elles d'actions telles que de peser, pousser, regarder une couleur, repérer un son, ou même retrouver l'objectif particulier que l'on cherche ? C'est d'abord que les premières (comme nous l'avons vu au chap. I-III), tout en s'acquérant par l'exercice autant que par maturation, n'empruntent pas leurs caractères aux objets : elles résultent d'expériences que le sujet fait sur ses propres mouvements, au moyen d'objets quelconques, et aboutissent ainsi à structurer les actions propres autant que les données extérieures. C'est pourquoi ces actions les plus générales, au lieu d'abstraire leur structure de l'objet, reviennent à ajouter au contraire à l'objet des caractères issus de l'activité du sujet, et pourront un jour être exécutées réflexivement et « abstraitement » en l'absence de toute application à des objets actuels. Par contre les actions de pousser ou de soulever, etc., tout en étant aussi des actes (donc relatifs également au sujet) aboutissent à une accommodation à certains caractères particuliers de l'objet (sa masse, son poids, etc.) et impliquent par conséquent une expérience portant sur l'objet ainsi qu'une abstraction à partir de l'objet. Mais surtout, d'autre part, et c'est là la différence qui nous intéresse ici, les premières de ces actions interviennent nécessairement au sein des secondes, tandis que la réciproque n'est pas vraie : pour pouvoir pousser un objet, le soulever, évaluer sa couleur, repérer le son qu'il produit, le retrouver une fois caché, etc., etc., il faut coordonner des mouvements, assimiler ces actions à des schèmes antérieurs, sérier les éléments

de la conduite en cours, en réunir certains et en dissocier d'autres, etc. Autrement dit, dès l'action sensori-motrice la plus élémentaire il faut une logique et une géométrie pour atteindre les qualités physiques, tandis que si la coordination générale des actions suppose bien l'existence d'actions particulières à coordonner, celles-ci peuvent être quelconques et n'interviennent pas par leur spécificité dans le mécanisme de la coordination.

Il serait donc faux de dire que l'objet permanent doit son invariance, soit à l'application de schèmes logiques (identité) ou mathématiques (groupe des déplacements) à des données physiques préalables, soit même à une insertion des données physiques dans des schèmes logico-mathématiques préalables : ce sont les actions physiques, fournissant la connaissance des qualités de l'objet, qui aboutissent, en vertu de leur coordination même, à attribuer ces qualités à un substrat doué de conservation ; et c'est cette coordination, débutant simultanément avec de telles actions spécialisées, qui constitue la racine des schèmes logico-mathématiques en jeu. En quoi consiste alors la coordination spécifique de la construction du schème de l'objet substantiel ? Il ne saurait s'agir d'identification seule, puisque la notion d'objet est relativement tardive et ne s'achève qu'avec la fermeture du groupe des déplacements pratiques. C'est au contraire la réversibilité, propre à cette organisation des déplacements, qui explique l'invariance de l'objet : les actions de retrouver deviennent constitutives d'un schème de substance, à partir du moment où elles s'organisent en relation avec le groupe qualitatif des mouvements du sujet, et c'est en fonction de ce groupe pratique que les déplacements extérieurs du mobile sont eux-mêmes groupés de manière à conférer à un tel mobile la qualité de pouvoir être retrouvé¹. Quant aux qualités perceptives de couleur, grandeur, forme, etc., elles atteignent, grâce au même processus, une structure, non pas complètement réversible (car la perception ne rejoint jamais à cet égard le niveau de la motricité), mais stabilisée par des régulations tendant vers la réversibilité propre aux mouvements. En conclusion, l'objet permanent résulte d'une solidification des qualités physiques inhérente au mode de composition réversible des actions qui les différencient, et c'est par corres-

¹ Comme l'a si bien dit Bachelard (*L'expérience de l'espace dans la physique contemporaine*), le réalisme est avant tout une doctrine de la localisation : c'est ce que l'on aperçoit ici dès le plan sensori-moteur de l'action.

pondance avec la coordination des actions du sujet que l'objet est ainsi inséré, à titre d'invariant, dans les systèmes des transformations perçues dans le réel.

§ 2. LES FORMES REPRÉSENTATIVES ÉLÉMENTAIRES DE CONSERVATION. — Les deux enseignements à tirer de la formation du schème de l'objet permanent sont donc l'intime connexion des coordinations logico-mathématiques avec les actions physiques, et le caractère corrélatif de la solidification du réel avec la décentration des actions du sujet. Mais, si ces choses sont déjà claires sur le plan sensori-moteur, il va de soi que seule une analyse portant sur les formes représentatives de conservation permettra d'entrer dans le détail, et notamment de reconnaître avec quelque précision les parts respectives de l'identification et de la réversibilité opératoire dans la constitution des invariants.

Lorsque débute la pensée, avec le langage et l'image mentale, le schème de l'objet substantiel pratique, ou objet d'action, est donc achevé, du moins en ce qui concerne l'espace proche. Mais ce n'est pas à dire que ce schème soit aussitôt généralisé par la représentation naissante à toutes les situations dépassant cette utilisation de l'entourage spatial du sujet. Il faut, en particulier, distinguer deux situations dans lesquelles une nouvelle construction, analogue à celle de l'objet pratique, va être nécessaire et ce ne sera qu'une fois ces reconstructions achevées que l'on pourra parler de substance physique au sens général du terme, c'est-à-dire susceptible d'une sorte de conservation élémentaire de la matière. La première de ces situations est celle des objets lointains (dans le temps et dans l'espace) et la seconde celle des objets composés, formés de parties plus ou moins mobiles les unes par rapport aux autres. La deuxième de ces situations ne peut être étudiée qu'expérimentalement, chez l'enfant, tandis que la première peut être analysée par simple observation, chez l'enfant et chez le « primitif ».

En ce qui concerne les objets lointains, il est facile d'établir que l'enfant de 2 à 4 ans n'attribue pas encore de forme constante aux montagnes, en se promenant : les montagnes grandissent et rapetissent, certaines arêtes se résorbent, puis ressortent, etc. à la manière des objets manipulés vers 5-8 mois par le bébé (p. ex. d'un biberon que le nourrisson sucera à l'envers, faute de comprendre, au cours d'une rotation visible préalable, que la tétine a passé de l'autre côté). De même le

sujet n'est pas certain de l'identité de la lune, de certains animaux, de certains personnages mêmes, qui sont à la fois un et plusieurs et dont les diverses manifestations « participent » les unes des autres à mi-chemin du générique et de l'individuel ¹. C'est à ce mode de « préconcept », intermédiaire entre le général et le singulier, qu'il faut sans doute rapporter l'aspect logique des « participations » que L. Lévy-Bruhl a décrites chez les primitifs ; mais, chez ces derniers, la participation se double d'un aspect collectif et mystique.

Le problème de l'objet composé est plus intéressant, du point de vue physique, car il permet d'analyser le mécanisme même de la formation des schèmes de conservation. Soit, p. ex., une boulette de pâte à modeler que l'on peut étirer en boudin, aplatir en galette, etc. ou sectionner en morceaux divers. La question posée au sujet consiste à décider si l'objet ainsi transformé (ou l'ensemble de ses morceaux) contiendra la même quantité de matière que la boulette initiale (ou le même poids, etc., mais limitons-nous pour l'instant à la conservation de la matière seule). On voit d'emblée que ce problème prolonge logiquement celui de la permanence de l'objet pratique lui-même, à cette seule complication près qu'il porte non plus simplement sur la conservation de l'objet total, mais sur celle de ses parties, que celles-ci soient sectionnées ou qu'elles demeurent continues et soient seulement déplacées les unes par rapport aux autres, avec changement de forme de l'ensemble. On voit aussitôt, également, que si la permanence de l'objet pratique peut être construite par l'action effective, la conservation de la boulette en tant qu'objet composé, ne peut être assurée que par la pensée, c'est-à-dire par des intuitions intériorisant les actions ou par des opérations proprement dites.

Le problème est alors d'établir si la conservation surgit dès les débuts intuitifs de la pensée, donc dès que la représentation sera capable de dépasser l'action immédiate, ou si, sur le plan des actions mentalisées ou intériorisées, comme sur celui de l'action sensori-motrice, la conservation suppose un système de compositions réversibles (ce qui, dans la pensée, équivaut à un jeu d'opérations réglées et non pas seulement d'intuitions représentatives). On sait assez comment E. Meyerson a voulu expliquer les notions de conservation par un accord entre l'expérience d'une part, et une anticipation de la raison, d'autre part, se manifestant par une exigence d'identification. Si tel

¹ Pour le détail de ces faits, voir *La formation du symbole chez l'enfant*. (Delachaux et Niestlé), chap. IX § 5.

était le cas, il faudrait s'attendre à ce que les plus simples des notions de conservation, comme l'invariance de la quantité de matière lors des variations de forme de l'objet composé, se constituent sitôt que l'expérience fournira à la pensée les éléments d'une identification possible, donc dès les débuts de la représentation intuitive.

Or, de même que la notion de l'objet permanent résulte, sur le plan sensori-moteur, de la composition réversible des déplacements organisés en un groupe pratique, et non pas d'une simple identification entrant en jeu dès la perception des manifestations successives de l'objet, de même la conservation de la matière lors des déformations ou de sectionnement de la boulette d'argile est le produit d'un groupement opératoire, d'abord simplement qualitatif (au sens intensif et non pas mathématique), et non pas d'une identification directe. Bien plus, il est facile d'établir que celle-ci, lorsqu'elle apparaît, constitue le résultat et non pas le moteur du système des opérations en jeu, dont le principe est la composition réversible et non pas la simple identité.

En effet, durant toute la période d'intuition pré-opératoire, c'est-à-dire jusque vers 7-8 ans en moyenne, le boudin, présente, selon l'enfant, moins de matière que la boule dont il est issu, parce qu'il est devenu plus mince, ou au contraire davantage parce qu'il s'est allongé. La boulette sectionnée perd également de la matière, parce qu'elle est en morceaux, ou bien elle en gagne parce que le nombre des unités augmente, (mêmes réactions lorsqu'il s'agit d'une plaque de chocolat fractionnée !). Les réponses varient donc en leur contenu mais le principe en demeure constant : la quantité de matière a varié¹. Il en est exactement de même lorsqu'il s'agit de liquides, transvasés d'un bocal à l'autre : tout changement de forme des récipients entraîne une non-conservation de la quantité de liquide à boire². Néanmoins, qu'il s'agisse de ces liquides ou de la quantité d'argile à modeler, chacun des sujets sait bien que l'on a rien enlevé ni ajouté au cours du changement de forme, puisque lui-même se charge de la transformation ou du transvasement : mais cette identification possible le laisse indifférent en présence des modifications perceptives, qu'il centre sur l'une ou l'autre des relations en jeu sans composition complète des rapport.

Au niveau des opérations concrètes (7-8 ans), au contraire,

1 PIAGET et INHELDER, *Le développement des quantités chez l'enfant*. (Delachaux et Niestlé), chap. I.

2 PIAGET et SZEMINSKA, *La genèse du nombre chez l'enfant*, (Delachaux et Niestlé), chap. I.

la conservation est affirmée dans tous les cas, après une étape intermédiaire où elle est seulement supposée (mais sans certitude) pour les petites transformations, et niée pour les grandes. Or, chose très intéressante et qui indique d'emblée l'intervention de la déduction, cette invariance de la quantité de matière, en même temps qu'elle est généralisée à toutes les transformations de la boulette ou du liquide, est sentie également comme nécessaire et évidente ; mais cette nécessité et cette, évidence s'imposent ainsi au terme de l'évolution considérée, et non point à son départ ! Que s'est-il donc passé entre la non-conservation propre à l'intuition et cette conservation nécessaire, et quel est le mécanisme des opérations en jeu dans la constitution d'un tel invariant à la fois physique et déductif ?

C'est ici qu'il convient de serrer de près les termes du problème et de nous méfier de toutes les formules en cours, parce qu'elles sont fondées sur l'analyse d'invariants de niveau bien supérieur, dans la structure desquels il est relativement aisé — et par conséquent dangereusement tentant — de séparer une forme mathématique (groupe, etc.) ou logique (identité, etc.), d'un côté, et un contenu expérimental ou physique, de l'autre. Or, dans le cas dont nous nous occupons maintenant, il s'agit d'une forme de conservation présentant déjà le double aspect typique de tous les invariants ultérieurs, c'est-à-dire un contenu matériel lié à l'expérience et une forme déductive sentie comme nécessaire ou rationnellement évidente, et cependant elle se constitue à un niveau mental où n'existe encore ni calcul mathématique ni logique formelle ! Nous nous trouvons donc en présence d'un système opératoire particulièrement élémentaire et facile à analyser, et cependant situé à la source de la pensée physique : en effet, sans nécessiter une définition préalable précise de la masse, la conservation de la matière au travers des changements de forme de l'objet est assurément aussi indispensable à tout raisonnement macrophysique que la conservation des ensembles ou des nombres l'est au raisonnement mathématique.

Or, dans le cas de ce premier invariant propre à la pensée représentative comme dans celui de l'invariant sensori-moteur constitué par l'objet pratique permanent, le contenu expérimental et la forme logico-mathématique s'organisent simultanément et non pas par « application » de la seconde au premier, et s'organisent selon un schème de composition réversible, et non pas par simple identification du divers. Autrement dit, on est à nouveau en présence d'une coordination d'actions,

ces actions constituant le contenu physique ou expérimental de la structure en jeu et leur coordination en constituant la forme logico-mathématique ; mais, à la différence du schème sensori-moteur de l'objet permanent, cette coordination tend à s'intérioriser en schèmes réflexifs, tandis que les actions coordonnées s'extériorisent en accommodations expérimentales (anticipations, etc.). Il y a donc progrès dans l'intériorisation et l'extériorisation complémentaires des opérations (cf. chap. IV), mais ce double processus prend racine en un jeu de coordination d'actions comme dans le cas de l'objet permanent. Seulement, comme de telles coordinations ne sauraient se constituer sans actions particulières à coordonner, et que celles-ci ne sauraient se succéder sans coordinations, l'aspect logico-mathématique ou déductif de l'invariant en question et son aspect physique ou expérimental sont donc indissociables, quoiqu'irréductibles l'un à l'autre.

Notons d'abord que l'expérience à elle seule ne peut, de toute évidence, renseigner l'enfant sur la conservation de la quantité de matière. D'une part, le sujet ne cherche aucun contrôle expérimental à ses affirmations et ne procède à aucune mesure, ni au niveau où il nie la conservation ni à partir du moment où il l'affirme. D'autre part, on ne voit pas ce qu'il mesurerait, puisqu'il s'exprime, non pas en terme de poids ni de volume (invariants dont la constitution est bien ultérieure), mais en langage de substance, c'est-à-dire d'une notion vide de caractères définis et n'ayant encore avec les autres aspects de la masse qu'une assez lointaine parenté. Si l'expérience s'accorde avec la conservation en jeu, elle ne saurait donc la fonder.

Voyons alors les motifs invoqués en fait par les sujets. Il s'en présente trois types différents, d'ailleurs communs à toutes les formes spontanées de, conservation, mais dont les rôles respectifs sont distincts et aisés à caractériser.

Le premier argument est fondé sur l'identité : on n'a rien ôté ni rien ajouté, dit l'enfant, donc la matière s'est conservée malgré les changements de forme ou les fractionnements. C'est donc l'identification meyersonnienne, à l'état le plus pur et le plus ingénu, mais elle ne constitue pas le vrai mobile du raisonnement, car son apparition soudaine soulève, on le voit d'emblée, un problème que l'identification à elle seule ne saurait résoudre : pourquoi ce jugement d'identité surgit-il seulement à un âge donné, et parfois très brusquement, alors que les sujets plus jeunes savaient tout aussi bien qu'on a rien enlevé ni ajouté ? Comment donc expliquer que, chez les petits, la non-

conservation soit admise *malgré* l'identité reconnue des données, et que, vers 7 ou 8 ans la conservation soit affirmée à cause de cette identité ? C'est assurément qu'il intervient autre chose, et que l'identification est alors à concevoir comme un résultat ou comme une partie du processus opératoire d'ensemble (comme le produit des opérations directes et inverses) et non pas comme le moteur lui-même du raisonnement.

Le deuxième argument invoqué par les sujets est beaucoup plus révélateur de la nature de ce processus d'ensemble : c'est la réversibilité des actions en jeu. « Vous avez (ou j'ai) allongé la boulette : on peut alors la remettre comme elle était avant », dit le sujet. Ou encore : « Vous avez coupé : il n'y a qu'à recoller les morceaux ! ». Or, cet appel à la réversibilité nous apprend deux choses. En premier lieu, il se réfère à des actions réelles et physiques, qui ont été effectuées sur l'objet : l'étirer, l'aplatir, le mettre en boule ; le couper, etc. Notons, à cet égard que l'argument fondé sur l'identité s'exprimait lui aussi en termes d'action : on n'a rien « enlevé » ni « ajouté ». Mais il s'agissait d'actions non effectuées, ce qui montre assez que l'identité en question se rapportait à ce que l'on appelle l'« opération identique », en langage de groupe, c'est-à-dire précisément à des opérations ou actions nulles. Au contraire, dans le cas de la réversibilité, le sujet se réfère à des actions effectives, mais se déroulant en sens direct (+) ou inverse (-). Or, ce sont précisément ces actions, en tant qu'actions proprement dites, qui fournissent au sujet la connaissance de ce qu'il appelle matière : la substance est ce qu'on peut ajouter, enlever, changer de forme, sectionner ou remettre en bloc, etc. ; et sa conservation se traduit par une action également, qui consiste à retrouver, donc à localiser, etc. (quant aux propriétés de la matière, sa résistance, son poids, etc., elles sont naturellement relatives aussi aux actions de presser, lever ou soupeser, etc. ; seulement leur solidification en invariants ne s'effectue que plus tard, nous verrons pourquoi dans ce qui suit). Mais, en second lieu, l'appel à la réversibilité montre que les actions en jeu, au lieu de demeurer relativement incoordonnées comme au niveau préopératoire (relativement, car elles sont déjà en partie liées entre elles grâce aux régulations intuitives dont nous allons reparler) sont dorénavant coordonnées sur le modèle des groupements d'opérations, comportant des opérations directes, inverses, nulles, et la possibilité de toutes les composer entre elles de façon associative. Or, on voit d'emblée que cette composition réversible et associative

n'est pas rajoutée du dehors aux actions physiques précédentes : elle en constitue sans plus la coordination interne progressive, sans intervention extérieure de rapports mathématiques ou de la logique formelle.

Le troisième argument invoqué par les sujets semble au contraire en appeler à de tels rapports ; l'enfant dira que le boudin a gagné en longueur, sur la boulette initiale, ce qu'il a perdu en largeur, et que la quantité est donc restée égale ; ou bien que, sectionné de plus en plus, l'objet gagne en nombre de morceaux ce que ceux-ci perdent en grandeur, etc. Autrement dit, l'objet total est formé d'un ensemble de parties (addition partitive) ou de relations (multiplication logique des relations) et toute déformation ou tout sectionnement laisse invariante la totalité à cause du groupement même de ces parties ou de ces rapports : ce groupement permet, en effet, de mettre en évidence les compensations qui s'établissent nécessairement entre modifications de sens inverse. Seulement, il est clair que ce troisième type d'argumentation prolonge simplement le second : la connaissance des relations et des parties en jeu ne résulte pas ici d'une simple lecture perceptive, sans quoi le sujet n'arriverait pas à considérer comme nécessaire, faute de mesures, la compensation de leurs transformations respectives ; cette connaissance résulte directement des actions de déformation (étirement, etc.) et de sectionnement. La seule différence entre cette troisième argumentation et la seconde consiste en ce que la troisième porte sur la composition réversible du résultat des actions, et la seconde sur la composition des actions elles-mêmes, mais, dans les deux cas, il s'agit de compositions réversibles coordonnant les actions, soit globalement, soit dans le détail de leurs effets, et seule la coordination des actions elles-mêmes assure celle de ces effets. Cette troisième argumentation marque cependant un progrès sur la précédente dans le sens de l'extériorisation et de l'intériorisation complémentaires de l'activité du sujet : composer les rapports construits par l'action et non plus les actions globales comme telles, c'est, en effet, d'une part, engendrer la possibilité d'une mesure des modifications extérieures, et, d'autre part, élaborer réflexivement le groupement des opérations elles-mêmes, de façon plus générale que dans le cas des seules actions globales.

On voit donc en quoi consiste ici le processus formateur de la conservation. L'identité n'en est nullement absente et n'est pas négligeable, mais elle constitue seulement un aspect de la construction d'ensemble : elle est le produit et non pas la sour-

ce de la réversibilité, parce que l'opération identique résulte de la composition entre les opérations directes et leurs inverses, mais au sein du système opératoire total. On comprend main-tenant, alors, pourquoi l'argument de l'identification (le premier des trois envisagés) n'apparaît qu'à un niveau déterminé, vers 7-8 ans seulement, et ne convainc pas l'esprit du sujet aux niveaux antérieurs : c'est qu'il est solidaire des deux autres et que la composition réversible et associative ne saurait se constituer que progressivement, en tant qu'expression des coordinations successives de l'action, de ses retours et de ses détours, ainsi que des articulations corrélatives de la pensée intuitive. Jusqu'ici les coordinations ne consistaient qu'en régulations : la correction d'une estimation (p. ex. que le boudin devient plus lourd en s'allongeant) n'était assurée que par son exagération même (parce qu'en s'allongeant encore le boudin, devenant trop mince, paraît alors plus léger, etc.). Ces régulations, en assurant ainsi des compensations partielles aboutissent à la réversibilité au fur et à mesure que les compensations sont plus complètes : le groupement opératoire constitue donc un terme, ou une forme d'équilibre finale, s'accompagnant de nécessité déductive sitôt que l'équilibre est atteint (c'est-à-dire lorsque la réversibilité, indice de tout équilibre, est entière), mais non pas avant cette sorte de fermeture mobile, si l'on peut dire, de l'ensemble des articulations actives et intuitives qui la préparent.

Du point de vue des rapports entre la coordination logico-mathématique (c'est-à-dire le groupement des opérations ou des relations engendrées par elles) et le contenu physique ou expérimental (c'est-à-dire les actions particulières portant sur l'objet et que le groupement seul transforme en opérations), il est donc tout aussi clair, dans le cas de ce premier invariant représentatif que dans celui de l'objet sensori-moteur permanent, que ces deux sortes d'éléments sont indissociables : d'une part, il ne saurait exister de coordinations sans actions à coordonner ; quant à celles-ci, d'autre part, elles ne sont jamais données à l'état isolé, mais sont dès l'abord reliées par coordinations susceptibles de régulations diverses dont l'équilibration progressive aboutit à la composition réversible. Or, au fur et à mesure de ce progrès structural de la coordination, les actions se transforment elles aussi et réciproquement, en une organisation étroitement corrélative de la forme et du contenu.

Aux débuts de la pensée, comme sur le plan de l'action, la connaissance physique présente donc un caractère important à

analyser, car il commande l'interprétation épistémologique des niveaux ultérieurs où le logico-mathématique se différencie de l'expérimental : c'est une seule et même organisation d'ensemble de l'action qui structure simultanément l'expérience et sa forme déductive. Dans le cas particulier, les groupements opératoires en jeu consistent en additions logiques de parties et en multiplications logiques de relations (sans qu'intervienne dès l'abord de quantification mathématique) : on pourrait donc supposer que ce sont les groupements logiques correspondants, portant sur des classes et relations quelconques, ou les groupements infralogiques d'ordre spatial (voir chap. II § 7), qui, à titre de formes préalables, viennent s'appliquer au problème physique de la conservation de la matière, et la chose peut paraître d'autant plus vraisemblable que ces groupements logiques ou infralogiques (spatiaux) donnent lieu, de leur côté, à des invariants isomorphes à celui de la conservation de la quantité de matière (conservation des ensembles comme totalités, des correspondances, etc. : voir chap. I § 3-6 ; ou conservation des grandeurs géométriques : chap. II § 7). Cependant une telle interprétation serait erronée, car il n'y a nullement « application » de groupements antérieurs, logiques ou infralogiques, au problème nouveau de la conservation physique de la matière, mais bien organisation parallèle et convergente des actions portant sur les ensembles d'objets discontinus (classes et relations), sur les propriétés spatiales de l'objet et sur ses propriétés physiques et ce sera ensuite la mise en relation réflexive de toutes ces structures qui constituera la logique formelle. Et la coordination des actions physiques qui engendre l'invariant de quantité de matière est bien une coordination logique (en attendant d'être mathématisée) : mais elle ne résulte pas d'une application d'autres coordinations logiques et constitue simplement une structuration parallèle à celle des autres domaines.

La meilleure preuve de ce caractère déjà logique mais non encore formalisé (donc non généralisable sans plus d'un domaine à un autre) des coordinations opératoires en jeu dans la conservation de la matière, est le fait suivant, qui est très instructif également quant à l'insuffisance de l'interprétation par l'identification seule¹. Une fois acquise la conservation de la matière (vers 7-8 ans), si l'on pose exactement les mêmes questions, aux mêmes sujets, en ce qui concerne la conservation du poids de la boulette déformée, on découvre le fait surpre-

¹ Voir, pour ce qui suit, PIAGET et INHELDER, *Le développement des quantités chez l'enfant*, chap. II et III.

nant que voici : pendant deux ans encore en moyenne (soit jusque vers 9-10 ans) l'enfant qui raisonne si bien pour déduire la conservation de la matière se trouve contester l'invariance du poids, et cela au nom précisément des arguments qu'il réfute en ce qui concerne la quantité de matière, mais qu'il admettrait entre 4 et 7 ans de ce point de vue également. Il admettra p. ex. que la boulette d'argile allongée en boudin perd de son poids parce qu'elle devient plus mince, tout en affirmant qu'elle conserve la même matière parce que sa minceur est compensée par son allongement ! Etc. Bien plus, vers 9-10 ans, il découvrira la conservation du poids, et la justifiera au nom des trois arguments exactement (et en se servant des mêmes expressions verbales) que ceux qu'il utilise déjà depuis deux ans en ce qui concerne la matière. Mais, chose encore plus curieuse, lorsqu'on l'interroge sur la conservation du volume physique (mesuré par la place occupée dans l'eau d'un bocal, le niveau se déplaçant dans la mesure où la boulette, ou le boudin, etc. sont volumineux), cet invariant est nié jusque vers 12 ans au nom des mêmes apparences cependant écartées dans les domaines du poids et de la matière¹. Vers 12 ans, au contraire, cet invariant de volume est accepté au nom des trois mêmes arguments déjà employés depuis deux et quatre ans pour le poids et la matière : identité, réversibilité des actions et composition réversible des rapports !

Cette étonnante évolution par paliers, avec exactement les mêmes processus jouant d'abord contre la conservation, puis avec exactement les mêmes coordinations opératoires jouant en faveur de la conservation, mais selon des décalages de deux en deux ans en moyenne, comporte deux sortes d'enseignements. En ce qui concerne l'hypothèse de l'identification, elle confirme et renforce même les difficultés soulignées tout à l'heure : si l'identification était le vrai moteur de la conservation, non seulement elle devrait déclencher la reconnaissance de l'invariance de la quantité de matière dès que le sujet découvre que rien n'a été enlevé ni ajouté, mais encore et surtout, elle devrait assurer la conservation du poids et du volume sitôt reconnue celle de la matière. D'autre part, un tel déroulement génétique montre à l'évidence que les coordinations opératoires en jeu, quoiqu'étant déjà logiques de nature (puisque communes aux trois domaines considérés et donnant lieu exactement aux mêmes raisonnements déductifs) ne sont pas encore formelles, en ce sens qu'elles ne peuvent être généralisées im-

¹ L'enfant dira ainsi que la boulette transformée en boudin fera moins monter le niveau du liquide, parce que devenue plus mince, etc.

médiatement d'un domaine à un autre. La forme et le contenu demeurent donc encore indifférenciés.

§ 3. LES OPÉRATIONS PHYSIQUES ÉLÉMENTAIRES, LE PASSAGE DE L'ASSIMILATION ÉGOCENTRIQUE AU GROUPEMENT OPÉRATOIRE ET LE RÔLE DE LA SENSATION EN PHYSIQUE SELON E. MACH ET M. PLANCK. — Pourquoi la conservation du poids est-elle plus tardive que celle de la matière ? C'est assurément, en première approximation, parce que la perception de la pesanteur, liée aux actions de porter et de soulever, est d'une autre nature que les perceptions attachées à l'action de retrouver, laquelle engendre sans doute la conservation de la substance après avoir expliqué celle de l'objet pratique permanent ; et c'est, dans le même ordre d'idées, parce que la perception de la voluminosité est encore plus fluctuante que celle du poids, en l'absence d'une métrique possible. Nous retombons donc ici sur le problème de l'influence des sensations dans la constitution des notions physiques.

On sait qu'E. Mach, dont l'autorité comme physicien a renforcé le succès de son épistémologie¹, a renouvelé le positivisme de Comte dans le sens d'une liaison plus étroite avec les données immédiates, considérées comme essentiellement sensorielles. De ce que les sciences exactes ne cherchent pas à expliquer, mais simplement à dégager des lois et à prévoir les phénomènes, il leur serait donc inutile de se lier à l'hypothèse indémontrable de la réalité du monde extérieur. L'expérience réelle, d'autre part, se prolonge en expériences mentales, fondement du raisonnement déductif, destinées à économiser nos efforts en condensant les faits sous forme de rapports généraux. Pour ces deux raisons, le physicien n'a jamais à faire en dernière analyse qu'à des sensations, comme ce serait le cas d'après Mach du psychologue lui-même ; mais le physicien les coordonne entre elles d'une autre manière que s'il étudiait l'esprit, c'est-à-dire qu'il les relie précisément au moyen des lois obtenues par expérimentations effectives ou mentales. La frontière entre les sciences physiques et psychologiques demeure donc relative .et les éléments derniers de l'univers sont en définitive les sensations elles-mêmes.

De son côté, Max Planck, dans les essais épistémologiques si attachants qu'il a réunis sous le nom de « Initiations à la Physique »² soutient un point de vue presque exactement opposé,

¹ Voir E. MACH, *La Connaissance et l'erreur* (trad. Dufour), Coll. Flammarion.

² Trad. DU PLESSIS DE GRENEGAN, Flammarion 1941.

mais qui témoigne cependant d'une conception analogue du rôle initial des sensations. La différence est donc dans le jugement de valeur porté sur ces dernières, le progrès de la physique consistant, d'après Mach, à se retremper dans ses sources sensorielles et, d'après Planck, à s'en libérer toujours plus complètement. Pour Planck, en effet, le but de la physique est la connaissance du monde extérieur, connu et reconnu comme tel. Il est vrai que, selon une remarque fondamentale de Planck, sur laquelle nous aurons à revenir, ce monde « ne se trouve pas à l'origine mais au terme de la recherche en physique. Ce terme, à vrai dire, on ne peut jamais complètement l'atteindre, mais on ne doit jamais le perdre de vue si l'on veut progresser » (p. 6). En effet, « la physique, comme toute autre science ; contient un certain noyau d'irrationalité, impossible à réduire entièrement » et « la cause de cette irrationalité, comme la physique moderne le fait ressortir de plus en plus nettement, réside dans le fait que le savant lui-même est une des parties constitutives de l'univers » (p. 6). Dès lors, le but à atteindre est « une certaine libération de la physique de ses éléments anthropomorphiques et surtout des liens qui la rattachent à ce qu'il y a de spécifique dans les perceptions de nos organes des sens » (p. 11). Mais « si l'on veut bien remarquer que les sensations sont indubitablement à la base de toute recherche, on ne pourra manquer de trouver étonnante et même paradoxale, cette aversion de la physique actuelle pour ce qui en est, somme toute, la condition fondamentale » (p. 11). En effet, « on ne saurait couper complètement toute communication avec la source indiscutable de toutes nos connaissances... » (p. 31). Par conséquent « il ne faudrait pas comprendre que l'on doive radicalement séparer la représentation du monde de l'esprit qui conçoit cette représentation : rien ne serait plus insensé » (p. 36). Mais le « but, ce n'est pas d'établir une coordination parfaite entre nos pensées et nos sensations, c'est d'éliminer de nos idées sur l'univers tout ce qui est propre à l'individualité de l'esprit qui le conçoit » (p. 36).

Or, si Planck décrit de façon qui semble beaucoup plus exacte que Mach l'idéal des physiciens au cours de tout le développement de leur science, il n'empêche que tous deux partagent l'idée malheureusement courante, chez les non-psychologues, que les connaissances auraient pour source initiale la seule sensation. D'où l'embarras visible dans la formulation de la thèse de Planck, pourtant si incontestable en son fond.

Mais le point de départ de la connaissance n'est pas la sensation : c'est l'action d'ensemble dont la perception fait partie. La connaissance initiale est donc assimilation des objets à l'action, c'est-à-dire modification de l'objet par le sujet, au

moins autant que modification du sujet par l'objet. Percevoir un poids, p. ex., c'est d'abord soulever l'objet d'une certaine façon, et d'une façon qui peut influencer notablement les données perçues, puisqu'alors on ne perçoit pas le poids de l'objet en lui-même, comme si ce poids était isolable, mais le poids relatif à une certaine liaison entre l'objet et les mouvements du sujet. Il en est de même de la vision (voir chap. II § 4), etc. Or, ces actions, qui sont au point de départ des connaissances particulières, non seulement ne peuvent être éliminées à aucun niveau du développement du savoir, mais encore deviennent, grâce à des transformations qu'il nous faut précisément essayer d'analyser objectivement, les instruments indispensables de la connaissance rationnelle, sous forme d'opérations de plus en plus adaptées et de mieux en mieux coordonnées. Nous ne faisons pas allusion en cela au rôle des interventions nécessaires de l'expérimentateur dans les déterminations microphysiques, qui posent un problème spécial quoique rentrant dans la règle générale (comme nous le verrons au chap. VII). Nous parlons simplement des opérations mathématiques, d'une part, (qui sont encore des actions, comme on l'a vu aux chap. I-III), et surtout des opérations du physicien qui expérimente, et qui est bien obligé d'agir sur le réel pour le connaître, ne fût-ce que pour isoler et faire varier les facteurs. L'intervention de l'action du sujet n'est donc ni favorable ni préjudiciable en soi, du point de vue de la connaissance : elle peut fausser les choses, ce qu'elle fait en général au début dans une mesure assez large, mais elle peut les rétablir en leurs liaisons et incorporer l'action dans ces liaisons mêmes, ce qui conduit à l'objectivité.

La question est alors de comprendre quelles sont les conditions de l'opération, source de la connaissance objective, et quels sont les caractères de l'action déformante : or, c'est ici que nous pouvons nous accorder avec Planck tout en parlant un autre langage. Planck esquisse, en effet, la solution du problème de la manière la plus judicieuse en opposant l'un à l'autre deux éléments bien distincts : « ce qui est propre à l'individualité de l'esprit qui conçoit » et l'« esprit [tout court] qui conçoit ». Autrement dit, il y a, d'une part, le sujet en tant que source d'égoïsme déformant, et, d'autre part, le sujet en tant que source de raison et de connaissance objective. Or, c'est précisément cette bipolarité dont la psychologie de l'action et de l'opération permet de rendre entièrement compte, tandis que le primat de la « sensation » la laisse proprement incompréhensible. En effet, l'égoïsme, c'est la pensée centrée sur

l'action propre et sur la prise de conscience, alors nécessairement incomplète, des sensations qui lui sont liées au contraire la raison tient à la coordination des actions, décentrant le sujet et réduisant la sensation au rôle d'indice symbolique, pendant que la conscience s'attache à cette coordination comme telle et aux transformations corrélatives qu'elle permet de déceler au sein des objets atteints par les actions. Il y a donc deux sortes d'assimilation de l'objet au sujet, ou plus précisément deux formes de schèmes d'assimilation, et tout le développement de l'intelligence ainsi que toute l'évolution de la connaissance scientifique constituent un passage de l'une de ces structurations à l'autre : de l'assimilation égocentrique à l'assimilation rationnelle.

En premier lieu, l'assimilation de l'objet à l'action immédiate, insuffisamment coordonnée à d'autres, est nécessairement déformante, eu égard à l'objet, parce qu'elle demeure, en ce cas, égocentrique : elle réduit l'objet à un seul point de vue particulier, qui est celui du moi en son activité propre au moment considéré. C'est ainsi que l'activité du regard débute (comme nous l'avons vu chap. II § 4) par une « centration » et que cette centration a pour effet la surestimation relative de l'élément centré. Dans le domaine du poids, l'action de soupeser débute également par une centration, selon p. ex. que la main contient l'objet au milieu de la paume, ou qu'elle le soulève par un côté ou un autre : la boulette d'argile paraîtra alors peser plus, parce que concentrée dans le creux de la main, que le boudin étalé sur la largeur de la paume. Or, le jugement qui en est résulté est égocentrique et par conséquent déformant, dans l'exacte mesure où le sujet n'a pas encore de points de comparaison et s'imagine que son évaluation momentanée est la seule possible au lieu de la considérer comme relative aux centrations choisies. Cet égocentrisme intellectuel est même tellement systématique, aux débuts de la vie mentale, qu'il caractérise toute la pensée prélogique du petit enfant : c'est ainsi que, mis en présence d'une balance, lorsqu'il en connaît par ailleurs l'usage, l'enfant de 6-7 ans encore s'attend à ce que le boudin soit plus léger, sur le plateau même de la balance, que la boulette dont il dérive, pour des raisons dans le genre de celle-ci : le boudin « dépasse les bords du plateau, alors il pèse moins, la balance ne le sent plus », etc. La balance est donc assimilée à la main elle-même, qui effectivement sent le poids plus faible dans un cas que dans l'autre.

Mais, en second lieu, l'assimilation de l'objet à l'action abou-

aboutit à des résultats objectifs, et non plus déformants, dans la mesure où les actions se coordonnent entre elles selon un système de compositions réversibles et se transforment ainsi en opérations. Dans le domaine sensori-moteur et perceptif, il y a déjà une correction relative des erreurs dues à la centration, pour autant que s'effectuent des décentrations, des transports et des comparaisons, des transpositions, etc., bref pour autant qu'il intervient un système de régulations sous la forme d'une coordination des centrations. Dans le domaine de la pensée, c'est-à-dire des actions intériorisées, le progrès s'accroît avec l'articulation des intuitions, jusqu'au point où un équilibre mobile est atteint avec la constitution des opérations transitives, associatives et réversibles : l'égoïsme est alors complètement éliminé en raison du groupement des opérations, équivalent dans la pensée de ce qu'est la décentration sensori-motrice. De plus, le groupement des opérations ne pouvant être l'œuvre d'un seul individu, puisqu'il suppose la coordination des points de vue et leur réciprocité, l'objectivité qu'il constitue implique une dimension inter-individuelle, donc un système de coopération, c'est-à-dire au sens propre de co-opérations entre observateurs multiples.

Dans l'opposition entre Planck et Mach, dont nous parlions tout à l'heure, il est donc clair que Mach s'appuie sur une psychologie un peu courte en voulant réduire le monde extérieur et physique à la sensation : c'est par l'intermédiaire des actions que nous acquérons nos connaissances, et, si celles-ci sont d'abord subjectives, c'est en raison du caractère égoïste de l'assimilation initiale ; par contre, au fur et à mesure du groupement opératoire des actions, l'objectivation qui en résulte aboutit à faire du monde extérieur un système d'invariants indépendants des points de vue de l'observateur. Planck a donc profondément raison de proposer au physicien la poursuite de la réalité extérieure, même si, comme il l'avoue, « on ne peut jamais complètement l'atteindre » ; mais le fait d'éliminer les « éléments anthropomorphiques » et « ce qui est propre à l'individualité de celui qui conçoit », donc les éléments égoïstes de la connaissance, ne signifie en rien l'élimination du sujet en tant que source des actions coordonnées et des opérations constituant la connaissance objective elle-même.

Revenons-en donc aux opérations physiques élémentaires qui assurent la conservation de la matière, du poids et du volume, et cherchons à poursuivre la discussion entre Planck et

Mach, en la centrant sur le décalage qui s'observe dans la formation respective de ces trois notions : un tel décalage est, en effet, fort instructif au point de vue des rapports entre la « sensation » et la coordination des actions, car il permet à la fois de saisir le mécanisme des retards de la connaissance, dus à l'égoïsme, et celui des progrès de la connaissance, dus au groupement toujours plus étendu des actions en jeu. Rappelons, à cet égard, que les opérations intervenant dans la constitution des invariants de matière, de poids et de volume, lors des déformations ou des sectionnements d'un objet, sont exactement les mêmes, jusqu'aux expressions verbales employées par les sujets, avant leur découverte de la conservation, puis au cours même de cette découverte : le problème est donc de saisir en quel sens la différence des perceptions (ou « sensations ») de matière, de poids et de voluminosité explique un tel décalage et en quel sens le groupement des opérations explique l'isomorphisme des invariants opératoires finaux malgré ce décalage et malgré la différence des qualités perceptives en jeu.

Un premier fait frappant, à cet égard, est que la construction au moyen de laquelle le sujet s'assure de la conservation de la substance, vers 7-8 ans, du poids, vers 9-10 ans et du volume physique, vers 11-12 ans, se réduit dans les trois cas aux opérations qualitatives les plus générales (plus précisément aux opérations « infralogiques » intensives au sens où nous avons pris ces termes, chap. II § 7), sans aucune intervention préalable de la mesure (en un sens impliquant l'itération d'une unité) : d'une part, il y a simplement addition des parties de l'objet en totalités hiérarchiques ($A + A' = B$; $B + B' = C$; etc.) ou correspondance entre systèmes analogues de parties (A_1 et A'_2 correspondant à A_2 et A'_1 , etc.) ; d'autre part il y a placement et déplacement, c'est-à-dire construction d'un ordre et changement d'ordre, avec correspondance possible entre plusieurs ordres (c'est-à-dire multiplication logique des relations de placement). La meilleure preuve que le sujet débute bien par de telles opérations de caractère intensif, sans aucun appel, au départ, à la mesure ni à la quantité mathématique, est que la première des formes représentatives ou conceptuelles de conservation qu'il découvre est celle de la matière : or, en l'absence de toute détermination physique, telle que celle de la masse, cet invariant initial de matière se réduit à la conservation d'une « substance » distincte de ses attributs (de forme, dimensions, etc.), c'est-à-dire justement de ce substrat mi-logique et mi-physique que le sens commun et avec lui la philosophie d'Aristote mettent à la fois sous les substantifs du langage, les concepts du discours et les qualités de l'univers sensible. Mais, chez l'enfant, dont la pensée ne construit pas de système, cette substance invariante est moins le produit d'une imagination ontologique ou métaphysique, que l'expression de

l'action réelle ou possible consistant à « retrouver » les mêmes objets ou les mêmes éléments de l'objet, indépendamment des changements de forme ou de disposition ; et les opérations infralogiques d'addition partitive et de placement qui lui permettent de concevoir la substance comme se conservant au travers de ces changements ne sont pas autre chose que les diverses compositions réversibles et associatives qui coordonnent entre elles les actions de retrouver.

Si l'on veut maintenant comprendre pourquoi ces opérations ne s'appliquent pas immédiatement au poids et au volume physique, comme à la substance, il s'agit donc d'analyser le genre de connexion qui s'établit entre de telles opérations et l'action de retrouver. Or, il est facile de vérifier que les sujets, capables d'utiliser ces schèmes de partition et de placement, les structurent selon toutes les opérations du « groupement » logique (voir pour cette notion chap. I § 3), ce qui montre que de telles opérations jouent simplement, à l'égard des actions de retrouver, le rôle de coordinations générales : 1° la transitivité : si trois quantités A, B et C sont reconnues égales deux à deux $A = B$ et $B = C$, le sujet en conclut que $A = C$, tandis qu'il ne parvenait pas à déduire cette conclusion au niveau où il n'admettait pas la conservation de la substance lors du changement de forme de la boulette². 2° L'associativité $(A + B) + C = A + (B + C)$: en présence de deux jeux de fractions de boulettes $A_1 ; B_1$ et C_1 et $A_2 ; B_2$ et C_2 , le sujet admet que si l'on réunit en un seul morceau $(A_1 + B_1)$, en imprimant à ce morceau une forme quelconque, et si l'on réunit de même $(B_2 + C_2)$, alors $(A_1 + B_1) + C_1 = A_2 + (B_2 + C_2)$. 3° La réversibilité et 4° l'identité ont été décrites au § 2. 5° Le sujet distinguera en outre la tautologie $A + A = A$ de l'addition cumulative. Bref, dire que le sujet est capable, lors des partitions (réelles ou mentales) de la boulette, et des déplacements de ces parties selon une disposition quelconque, de « retrouver » l'ensemble des parties et par conséquent de conserver le tout de façon invariante, c'est simplement affirmer que ses actions de retrouver les parties déplacées sont coordonnées entre elles selon ce schème de coordination générale des actions qu'est le « groupement » qualitatif consistant en compositions mobiles (transitivité), en détours (associativité), retours (réversibilité) et opérations nulles (identité et tautologie). Mais un tel schème de coordination n'est pas antérieur aux actions considérées et ne constitue pas encore un canon formel venant s'appliquer du dehors à des actions existant indépendamment de lui : il n'est pas autre chose que la forme d'équilibre atteinte par ces actions de retrouver les parties placées de diverses manières au fur

¹ Il en est de même pour les opérations consistant à sérier des quantités inégales ($A < B ; B < C ;$ donc $A < C$), qui se constituent au même moment.

et à mesure que de telles actions se coordonnent entre elles. Quant aux partitions et aux placements ainsi groupés entre eux, ce ne sont pas non plus des structures toutes faites venant s'interposer entre le groupement général et les actions de, retrouver : ce sont les formes déterminées de coordinations reliant entre elles les actions de « retrouver », lors des sectionnements et déformations de la boulette. Sans doute ces formes sont semblables aux partitions et placements intervenant dans la structuration des longueurs, surfaces, etc., indépendamment de la substance de l'objet : de telles opérations sont, par conséquent, spatiales en leur principe, et elles le sont ici en même temps que physiques. Mais il n'y a pas non plus, d'un côté, une forme spatiale et, d'un autre côté, un contenu physique construits indépendamment l'un de l'autre : l'espace n'est pas autre chose, nous l'avons vu, que la coordination des actions exercées sur l'objet, et si une telle coordination est géométrique, ces actions par contre sont physiques. Bref, entre le groupement général des opérations intensives, qui est de caractère logique, ces opérations elles-mêmes qui sont spatiales lorsqu'elles portent sur l'objet et non pas sur des collections discontinues d'objets, et le contenu des actions ainsi coordonnées, qui se réduit ici à l'action physique de « retrouver », il n'y a pas trois moments successifs dans le temps : il n'y a encore qu'un seul tout simultanément logique, spatial et physique et c'est la structuration réflexive ultérieure qui seule scindera en trois systèmes ce qui constitue au début un seul système indifférencié.

On comprend alors pourquoi les mêmes groupements d'opérations partitives ou relatives au placement ne s'appliquent pas d'emblée au poids, lequel semble cependant constituer un des caractères les plus sensibles et les plus constants de la matière : c'est que les formes de coordination intervenant dans la constitution de l'invariant de poids, tout en étant semblables aux précédentes, ne peuvent pas être non plus dissociées des actions qu'elles coordonnent et ne sauraient par conséquent donner lieu à une simple généralisation logique, car elles constituent dans le cas du poids comme dans celui de la substance, le résultat d'une organisation ou d'une équilibration progressive d'actions physiques particulières. Toute la question du décalage entre les deux invariants se réduit alors à celle-ci : pourquoi les actions de soulever et de peser sont-elles groupées plus tard, selon les schèmes de la partition et du placement, que les actions de retrouver, alors que les formes du groupement coordonnateur sont les mêmes ? C'est ici que se précise le rôle inhibiteur ou accélérateur de ce que Mach et Planck appellent la « sensation » et qui n'est autre que le contenu qualitatif distinct des actions physiques, différenciées, par opposition aux mêmes formes de coordination.

En effet, non seulement, nous l'avons déjà vu, ce sont les mêmes raisonnements et les mêmes expressions verbales qui permettent au sujet de découvrir et de justifier la conservation du poids après celle de la matière, mais encore on constate que, exactement les mêmes opérations et les mêmes groupements présentent environ deux ans d'avance ou de retard selon que leur contenu se rapporte à la substance seule ou au poids. P. ex. la transitivité des égalités de poids $A = B$; $B = C$, donc $A = C$, la sériation des poids $A < B$, $B < C$ donc $A < C$, la réversibilité, etc. appliquées au poids, se constituent les unes en même temps que les autres, et toutes ensemble deux ans plus tard en moyenne que les mêmes opérations appliquées à la matière. Les coordinations en jeu sont ainsi entièrement isomorphes, sans pour autant constituer déjà une logique formelle : conclure que ($A = C$ si $A = B$ et $B = C$) n'est en effet pas encore, à parler strictement, la même opération, lorsqu'il s'agit de coordonner les actions de peser et celles de retrouver et ce même groupement, quoique très général, demeure en chacun de ces cas la forme d'équilibre atteinte par la coordination d'un type d'actions bien déterminées, et non pas de n'importe quelle action. Entre le groupement des opérations et leur contenu physique, il n'existe donc encore qu'un rapport de coordination à actions coordonnées, et non point d'emblée un rapport logique de forme à matière ; plus précisément, le premier de ces deux rapports précède de beaucoup le second et est nécessaire à sa formation, à tel point qu'il est impossible de comprendre la relation entre les structures logico-mathématiques et l'expérience physique sans partir de cette filiation génétique.

En effet, — et nous voici ramenés à la discussion Mach-Planck après ce nouveau retour à des données sur lesquelles nous nous excusons d'insister — si l'on se bornait à invoquer le point de vue des simples « sensations » on ne comprendrait rien au décalage de la formation des invariants de poids et de matière : le poids donne lieu à une perception distincte et bien caractérisée, tandis que la conservation d'une matière sans poids constant, c'est-à-dire d'une « substance » nue et pour ainsi dire « abstraite » ne correspond à aucune perception isolable. Si nos idées étaient « abstraites » des sensations, selon une formule aussi fautive que courante et sur laquelle Planck lui-même s'accorde avec Mach qu'il cherche à réfuter, la conservation et les opérations relatives à la matière devraient se constituer bien plus difficilement que celles relatives au poids. Si l'on se place au contraire au point de vue de l'action, les choses changent entièrement. En premier lieu, l'action de soupeser implique celle de retrouver, tandis que la réciproque n'est pas vraie. Admettre

que la quantité de matière est la même dans un boudin que dans la boule dont il est issu, c'est retrouver en pensée les parties de ce tout, simplement déplacées, ce qui n'implique effectivement aucune pesée, tandis que réunir en pensée les poids de ces mêmes parties pour égaliser leur somme au poids du tout initial, c'est d'abord retrouver les morceaux : du point de vue de l'action l'invariant de poids suppose donc celui de substance, sans que l'inverse soit vrai. Quant au temps considérable qui s'écoule entre la constitution des deux systèmes d'opérations relatives à la matière et au poids, la raison en est également simple : il est bien plus difficile de coordonner entre elles des actions successives de soupeser (directement) que de grouper des actions de retrouver. Celles-ci ne font appel qu'à des déplacements et réunions spatiales coordonnant des actions de voir, saisir ou toucher, etc., donc des actions physiques peu spécialisées, ce qui rend aisées leur décentration et leur coordination, tandis que soupeser est une action spécialisée, qui demande une estimation relativement précise et dont la prise de conscience favorise ainsi longtemps l'évaluation subjective égocentrique, antagoniste du groupement. Pour arriver à peser objectivement, la comparaison des impressions respectives des deux mains ne suffit pas, et il s'agit par conséquent d'articuler l'action par l'interposition d'un système de rapports entre les objets eux-mêmes, rapports observés au moyen, p. ex., du dispositif de la balance.

Or, peser à la balance, c'est encore une action, mais dont on saisit d'emblée le caractère de coordination opératoire. Même sans faire intervenir aucune métrique, il s'agit, en effet, de comparer deux objets par l'intermédiaire d'un troisième dont l'équilibre et la position sont déterminés par le poids des premiers. Affirmer, en ce cas, de trois objets à peser que $A = C$ si $A = B$ et $B = C$, c'est donc éliminer l'évaluation subjective des poids de A , B et C pour conclure que si A et B équilibrent la balance et si B et C font de même, alors C se comportera à l'égard de A comme à l'égard de B , tandis qu'il se comporte différemment sur la main. Il s'agit, autrement dit, de déléguer à la balance le pouvoir de soupeser et de comparer que détenaient les deux mains, mais en lui accordant le droit de parvenir à des résultats différents. Et, pour comprendre que ces derniers sont plus précis il s'agit de « décentrer » le jugement égocentrique, à la manière dont on corrige une estimation visuelle en changeant de point de vue. Tout cela explique donc facilement que la coordination des actions de type ($A = B$; $B = C$ donc $A = C$) soit

en fait une autre opération dans le cas du poids que dans celui de la substance, puisque, si la coordination aboutit à la même forme, les actions à coordonner sont autres : c'est seulement lorsque les opérations concrètes seront remplacées par des propositions formelles que la coordination sera équivalente dans les deux cas.

Quant au volume physique, il donne lieu lui-même à des opérations plus tardives encore, et pour les mêmes raisons. Non seulement la conservation du volume de la boulette déformée, mesuré à l'élévation du niveau de l'eau dans un bocal où l'on immerge l'objet, ne s'acquiert que vers 11-12 ans, mais encore toutes les structures opératoires de transitivité, d'associativité, de réversibilité, de sériation, etc. des volumes se constituent corrélativement à la même date. Ce nouveau décalage est dû au fait que, pour comprendre l'invariant de volume physique, le sujet doit admettre que ni l'argile immergée dans l'eau, ni l'eau elle-même ne se dilatent ni ne se contractent. La conservation du volume physique implique ainsi celle de la substance et de la résistance, que l'enfant assimile au poids : pour les petits la matière est élastique, tandis que, chez les grands, la conservation du poids est invoquée comme raison d'incompressibilité. Il y a donc à nouveau implication à sens unique. D'autre part, l'action nécessaire à la comparaison des volumes est encore plus complexe que la pesée par l'intermédiaire d'une balance : le volume étant relatif à l'action d'entourer (le volume est un espace entouré par des surfaces, comme la surface est l'espace entouré de lignes), il y a alors délégation de cette action d'envelopper au liquide qui entoure la boulette immergée et égalisation entre l'eau déplacée et le contenu de l'objet entouré (autrement dit entre l'espace occupé dans l'eau et le volume intérieur de la boulette). Il intervient donc une série de nouveaux rapports liés aux actions physiques concrètes et à leur coordination logico-spatiale, et ce sont les rapports qui expliquent le retard de la conservation de volume sur celui du poids ¹.

A examiner ainsi la genèse de quelques notions physiques en s'appuyant sur des expériences psychologiques réelles et non pas sur ce que les psychologues allemands ont appelé jadis des « Schreibtischexperimente » ou expériences que l'on fait sans quitter sa table à écrire (car malheureusement l'« expérimentation mentale » ne donne rien en psychologie), on constate com-

¹ PIAGET et INHELDER, *Le développement des quantités chez l'enfant*, chap. III et VI.

bien illusoire est la thèse défendue par Mach et par Planck selon laquelle la connaissance des propriétés élémentaires de la matière nous viendrait des sensations : la sensation ne comporte de signification que relativement à des actions et ce sont celles-ci qui sont à la source du savoir. Or, l'action porte nécessairement sur des objets et c'est pourquoi le réalisme de Planck l'emporte psychologiquement sur l'idéalisme sensoriel de Mach. Par contre, dans la mesure où la connaissance se désanthropomorphise en se libérant de l'égoïsme des actions immédiates, le rôle du sujet dans la connaissance s'accroît et ne diminue pas, comme semble le croire Planck : la coordination décentrée des actions l'emporte simplement sur l'action directe et l'objectivation qui en résulte implique l'intervention d'une plus grande activité du sujet connaissant.

La constitution des invariants de substance, poids et matière nous enseigne davantage encore. Ces formes de conservation expriment simultanément, en effet, les absolus de la réalité au niveau mental considéré et les invariants opératoires de l'action coordonnée portant sur ce réel. Cette double nature des invariants, qui soulève tout le problème de l'adéquation des opérations logico-mathématiques à la réalité matérielle, nous renseigne sur ce qu'est la causalité physique à ses débuts : une reconstruction du réel au moyen d'opérations correspondant aux transformations extérieures et les assimilant à des actions possibles du sujet. Cette assimilation de la réalité aux opérations du sujet présente elle-même deux pôles, qui correspondent à la dualité observée précédemment entre les réactions de non-conservation et les coordinations conduisant à la conservation. Au point de départ, en effet, l'assimilation de la réalité extérieure aux schèmes d'action du sujet se présente sous une forme égoïcentrique : ainsi, pour les petits, la balance doit réagir comme la main, une boulette dépassant les bords du plateau doit lui paraître légère comme lorsqu'elle déborde la paume et si la balance contredit une fois les jugements portés d'après l'estimation musculaire, il n'est pas certain qu'elle continue à l'emporter dans la suite, etc. Au contraire, dans la suite, une causalité objective se constitue, qui revient à assimiler la balance, ou le déplacement de l'eau dans le bocal contenant la boulette, etc., non plus à telle ou telle action particulière du sujet, mais au système opératoire d'ensemble des actions coordonnées : les déplacements, les substitutions, etc. qu'admettent les transformations réelles sont alors simplement traduites en termes d'opérations qui reproduisent ces modifications objectives autant que

celles-ci sont assimilées à celles-là. C'est ce mode de composition opératoire, appliqué aux objets physiques par analogie avec les compositions numériques et spatiales, qui va engendrer un type particulièrement simple d'explication causale, en quoi consiste l'atomisme.

§ 4. LA GENÈSE DE L'ATOMISME ET LES THÈSES DE HANNEQUIN ET DE BACHELARD. — Cherchant à expliquer l'atomisme par le besoin d'identification, E. Meyerson fait dériver l'atomisme, de Démocrite et de Leucippe de la sphère immobile de Parménide, s'autorisant en cela d'un texte célèbre d'Aristote, selon lequel l'atome a monnayé l'être élatique, impossible à maintenir à titre de seule explication des choses. Mais avant Démocrite déjà, l'arithmétisme spatial de Pythagore impliquait un schème atomistique, et G. Milhaud a pu dire que Pythagore était le premier des atomistes. On peut même soutenir que, sitôt admise, avec Thalès, l'unité de la substance primordiale, et sitôt imaginés les processus de transformation des substances les unes dans les autres selon leur degré de condensation et de raréfaction, l'atomisme est en germe. Pour que l'eau soit conçue comme de l'air condensé, la terre comme de l'eau concentrée, etc., il faut bien supposer que les parties de la substance se rapprochent ou s'écartent : il suffit alors de prolonger ces décompositions et compositions pour atteindre l'atomisme, parce que l'idée de concentration et de raréfaction conduit à celle de morcelage, même si le début du processus est compatible avec la continuité de parties élastiques, serrées ou desserrées.

On a souvent prétendu que l'atomisme spéculatif des anciens n'avait pas eu d'influence sur l'atomisme scientifique moderne, ce qui est d'ailleurs problématique et impossible à démontrer. Mais n'y eût-il pas eu d'influence directe que cela prouverait *a fortiori* combien Hannequin a raison de chercher la source de l'atomisme « dans la constitution même de notre raison »¹, et cela indépendamment de la valeur de son essai de réduction de l'hypothèse atomistique à l'idée de nombre. Quant aux multiples directions prises par le développement des schèmes atomistiques, elles parlent dans le même sens, et comme le dit Bachelard, montrent la vitalité de l'idée. Il n'est jusqu'à la négation de la réalité de l'atome chez les positivistes qui ne soit révélatrice, puisque ceux-ci ont continué de se servir de l'atomisme à titre de langage indispensable, comme les irra-

¹ HANNEQUIN, *L'hypothèse des atomes*, p. 12.

tionnalistes qui rendent implicitement hommage à la raison en utilisant le discours pour démontrer leur thèse.

Si tel est le cas il s'agit de chercher à dégager les origines psychogénétiques de l'atomisme et notamment d'établir si tout esprit parvenant aux notions de conservation élémentaire en dégage nécessairement un schème de composition atomistique. A cet égard, trois problèmes se posent en particulier : la parenté éventuelle de l'atomisme avec le nombre, supposée par Hannequin, le rôle de l'identification, invoqué par E. Meyerson, et celui de la composition construite rationnellement à partir d'intuitions sensibles, dégagé par G. Bachelard.

G. Bachelard a souligné, en effet, avec beaucoup de force que, si rationnelle et construite que soit l'idée de l'atome, elle a pour matière des intuitions perceptives précises. C'est justement ce passage de l'intuition à la composition opératoire qu'il conviendrait d'examiner de près pour saisir la portée explicative de l'hypothèse atomistique. Dans une des jolies formules dont il a le secret, G. Bachelard définit l'atomisme une « métaphysique de la poussière »¹ ; il exagère seulement un peu quand il ajoute que « l'atomisme est, de prime abord, une doctrine d'inspiration visuelle ... La poussière et le vide saisis dans un même regard illustrent vraiment la première leçon de l'atomisme » (p. 40). Nous ne l'accuserons pas d'avoir trouvé cette idée sans quitter sa bibliothèque, puisqu'il nous dépeint lui-même la splendeur des grains irisés dansant dans le rayon de soleil qui pénètre en une chambre fermée. Et nous ne nierons pas que ce spectacle ait pu jouer quelque rôle, connaissant un enfant qui a effectivement appuyé son atomisme spontané sur une telle vision. Mais la métaphysique de la poussière a un sens plus large que simplement visuel ; et, à l'enfant amusé devant un sablier, pour reprendre un exemple de G. Bachelard, le sucre ou le sel en poudre se désagrègeant dans l'eau peuvent inspirer bien d'autres réflexions, parce que, dans ce cas, l'atomisme devient affirmation de l'existence de grains invisibles, et une affirmation dictée par le besoin de conservation.

C'est donc dans cette direction que nous avons cherché jadis à analyser, avec B. Inhelder la connexion des formes génétiquement élémentaires d'atomisme avec la construction des notions de conservation². Nous avons présenté à des enfants, de 4 à 12

¹ G. BACHELARD, *Les intuitions atomistiques*, Paris (Boivin), 1933.

² J. PIAGET et INHELDER, *Le développement des quantités chez l'enfant. Conservation et atomisme*, Delaehaux et Niestlé, 1940.

ans, deux verres d'eau de mêmes formes et dimensions, remplis jusqu'aux mêmes niveaux, et avons plongé dans l'un d'eux deux ou trois morceaux de sucre en faisant constater aux sujets l'élévation du niveau d'eau. Nous avons alors demandé si, une fois le sucre dissous, l'eau redescendrait ou non, ce qui soulève simultanément la question de la conservation du sucre dans l'eau et de la manière dont s'explique cette conservation invisible, c'est-à-dire justement de l'atomisme éventuel. Mais nous avons, en outre, pesé avec les sujets le verre d'eau non sucrée et le verre contenant les morceaux de sucre avant leur dissolution (ou le verre avec les morceaux non encore immergés), en demandant si le poids additionnel du sucre se conservera après la dissolution, ou si l'eau dans laquelle aura fondu le sucre retrouvera son poids initial, égal à celui de l'autre verre. Plus précisément, les questions de conservation posées à l'enfant sont au nombre de trois : conservation de la substance ou matière (car le sucre peut être considéré comme se conservant même si le niveau de l'eau est censé redescendre), conservation du poids, et conservation du volume (mesuré à la place occupée dans l'eau), et ces trois formes de conservation peuvent correspondre à des formes différentes d'atomisme, selon les types divers de composition en jeu. En outre, on pose ces questions en faisant appel d'abord à la simple prévision (le goût sucré, le poids, le niveau de l'eau se conserveront-ils ou pas ?), puis, après lecture des données de l'expérience (une fois le sucre dissous), on les pose à nouveau en demandant l'explication des résultats constatés. Enfin on peut compléter cette analyse en présentant à l'enfant des grains de maïs américain, qui se gonflent brusquement avec l'échauffement, et en demandant l'explication de cette dilatation. On retrouve alors les questions de conservation de la matière (accroissement de substance ou simple étirement), du poids et même du volume corpusculaire, avec à nouveau possibilité de schémas atomistiques inspirés par la farine.

Or, les stades de développement dont l'existence a été révélée par les réactions des enfants, se trouvent être particulièrement instructifs quant aux rapports entre la formation de l'atomisme et la construction des notions de conservation. Au cours d'un premier stade (antérieur à 7-8 ans) il n'y a conservation ni du volume, ni du poids, ni même de la substance, et l'on ne constate aucune trace de schème atomistique dépassant la perception actuelle des grains ou particules visibles. Le sucre fondu dans l'eau est censé s'être anéanti, et si son souvenir persiste un moment sous forme de goût sucré, cette saveur comparée par l'enfant à une sorte d'odeur, s'évaporerait rapidement et se perdrait elle aussi dans le néant. Quant au maïs se dilatant avec la chaleur, il y a, selon les jeunes sujets, création absolue de substance : le grain, de petit qu'il est au début, devient grand « comme nous, quand nous poussons », et l'enfant ne voit là

aucun problème. Par contre, dès un second stade, qui débute vers 7-8 ans, il se constitue corrélativement une notion de conservation de la substance et un début d'atomisme. En ce qui concerne le sucre fondu, il est censé perdre tout poids et il cesse d'occuper tout espace dans l'eau, mais il continue d'exister en tant que matière et assure ainsi la permanence de la saveur sucrée. Mais comment se conserve-t-il alors ? Ou bien sous forme de liquide concentré (« comme du sirop ») mêlé à l'eau, ou bien sous la forme de grains, d'abord visibles au moment de la désagrégation du morceau, puis de plus en plus exigus et invisibles : ce sont ces grains, trop petits pour être perçus, ainsi que pour conserver un poids ou un volume, qui constituent le plus simple des schémas atomistiques, destiné à assurer la conservation de la substance elle-même. Dans le cas du maïs, également, la dilatation du tout n'implique plus un accroissement de substance, mais un simple étirement, et celui-ci va aussi fréquemment de pair avec l'imagination d'une structuration corpusculaire de la pâte ou de la farine. Vers 9-10 ans apparaît un troisième stade, marqué par la conservation du poids mais sans encore celle du volume : le verre d'eau sucrée conserve le même poids qu'avant la dissolution du sucre, parce que les petits grains invisibles conservent eux-mêmes leur poids et que la somme de ces poids corpusculaires égale le poids total des morceaux. La réaction est la même eu égard au maïs dont la dilatation n'exclut pas selon l'enfant, l'invariance du poids des grains de farine. Enfin, vers 11-12 ans seulement, une quatrième étape marque l'apparition de la conservation du volume : le niveau du verre d'eau sucrée ne redescendra pas au terme de la dissolution, parce que chaque petit grain invisible occupe dans le liquide une place élémentaire, et que la somme de ces espaces équivaut au volume occupé initialement par les morceaux eux-mêmes. Quant au maïs gonflé, l'enfant, qui avait admis jusque là une dilatation des grains de farine comme tels pour expliquer la dilatation d'ensemble, en vient à penser que chaque grain élémentaire conserve son volume et que seul l'écartement des grains explique le gonflement : on observe ainsi un schème de compression et de décompression, analogue à celui qui, chez les premiers présocratiques, annonçait les débuts de l'atomisme systématique.

Il n'est pas besoin d'insister sur le fait que, s'il intervient, en chacune de ces formes successives d'atomisme élémentaire (substantiel, puis pondéré, puis spatialisé), un processus d'identification, il ne fonctionne une fois de plus qu'en connexion avec un système total d'opérations composables et réversibles, dont l'identité ne constitue que l'une parmi les autres. Nous reviendrons sur ce point au § suivant.

Ces observations psychologiques parlent donc en faveur de l'hypothèse de G. Bachelard sur le caractère de « composition » qui est essentiel à l'atomisme. Mais elles conduisent même plus loin que ne le soutient Bachelard dans la défense de sa thèse. Pensant surtout à la combinaison chimique, dans laquelle la composition des atomes en molécules aboutit à des synthèses imprévisibles en partant des propriétés des parties, Bachelard donne raison à Berthelot lorsque celui-ci affirme que les doctrines atomistiques des anciens demeuraient « étrangères à l'idée proprement dite de combinaison » (p. 71), et il n'est pas loin d'opposer, à cet égard, un atomisme « réaliste » à un atomisme combinatoire. Or, s'il est clair que l'atomisme grec et *a fortiori* l'atomisme naïf de l'enfant n'ont rien à voir avec la combinaison proprement chimique, tout atomisme, même sur le terrain des notions enfantines, n'en est pas moins d'emblée le produit d'une composition. C'est de ce point de vue que les observations précédentes valaient d'être rappelées. C'est ainsi que déjà la première forme d'atomisme (stade II), qui se borne à assurer la conservation de la substance du sucre dissous, par opposition à son poids et à son volume, implique à elle seule la composition additive des parties en un tout invariant. C'est ce que prouve l'apparition simultanée de l'idée de la conservation de la substance et de cette forme élémentaire d'atomisme. En effet, comme nous l'avons vu plus haut (§ 2), ce sont ces opérations d'addition partitive qui, par leur réversibilité et leur associativité, déterminent l'invariance du tout, par opposition à la non-conservation caractéristique de la pensée pré-opératoire. Or, l'atomisme naissant n'est pas autre chose que l'expression même de ces opérations dont la composition assure la conservation : il n'y a donc pas, d'une part, atomisme et, de l'autre, conservation mais tous deux constituent les deux aspects indissociables de la composition partitive portant d'abord sur la substance. A plus forte raison en est-il ainsi de la seconde forme d'atomisme (stade III), qui relie la composition partitive des poids à la conservation du poids total et de la troisième forme (stade IV), qui effectue la même liaison en ce qui concerne le volume. Il n'y a donc pas, en ce domaine de l'atomisme des particules invisibles du solide dissous dans l'eau (et il en va exactement de même pour le gonflement de la pâte du grain de maïs), d'intuition atomistique avant la composition atomistique : ou bien le sujet admet l'anéantissement de la matière (et sa création par accroissement absolu, dans le cas du maïs), ou il postule sa conservation et construit alors un modèle atomis-

tique à titre de schème de composition opératoire pour rendre compte de l'invariance du tout.

Or, quelle est la parenté entre ce mode de composition, propre à l'atomisme naissant, et celui qui engendre les nombres entiers ? Elle est certainement réelle, mais elle ne se réduit pas à l'identité d'un seul et même système opératoire. Il est frappant, en effet, de constater que la forme élémentaire d'atomisme, corrélative de la conservation de la quantité de matière, apparaît à peu près en même temps que les opérations formatrices du nombre. Seulement c'est également à ce niveau que se constituent les opérations additives intervenant dans la construction des premiers invariants spatiaux (conservation des longueurs, surfaces, etc.). Or, nous avons vu (chap. II) qu'il y a isomorphisme et non pas identité entre les opérations infralogiques conduisant aux réunions d'éléments spatiaux ainsi qu'à la mesure, et les opérations logico-arithmétiques engendrant les classes, les relations et les nombres. Il va de soi, si l'on admet cette distinction génétique, que l'atomisme, en tant que composition des parties de l'objet par opposition aux réunions d'objets en classes ou en collections numériques, représente précisément le prototype des opérations infralogiques, sans aucune application directe de la notion de classe ni *a fortiori* de l'idée de nombre, mais réunissant les parties élémentaires en objets totaux selon le même schème opératoire que l'addition logique.

Cette parenté entre les opérations infralogiques en jeu dans l'atomisme naissant et les opérations spatiales est même si grande que c'est précisément au moment où l'atomisme enfantin est achevé (c'est-à-dire porte simultanément sur la conservation de la substance, du poids et du volume des particules) que le sujet se révèle capable, par ailleurs, de dissocier un continu linéaire ou à deux et trois dimensions en points de nombre illimité¹. L'atome est ainsi conçu comme une sorte de point physique, sans vouloir faire de rapprochement avec l'intuition célèbre de Boscovitch, comme le point est un atome spatial. Si élémentaires que soient ces schèmes enfantins, leur généralité montre assez le rôle que des schèmes semblables ont pu jouer dans la formation historique des notions, et prouvent, à tout le moins, le caractère naturel, pour la raison en développement, de la décomposition et de la composition atomistiques.

¹ PIAGET et INHELDER, *La représentation de l'espace chez l'enfant*. (Presses Univ.), chap. V.

§ 5. LES PRINCIPES SCIENTIFIQUES DE CONSERVATION ET L'INTERPRÉTATION DE E. MEYERSON. — L'examen psychogénétique montre à l'évidence, comme nous venons de chercher à le rappeler, que les notions élémentaires de conservation constituent les invariants propres aux premiers « groupements » opératoires : c'est dans la mesure où les parties d'un tout peuvent être réunies grâce à un système de composition additive réversible que ce tout se conserve indépendamment des déplacements de ces parties les unes à l'égard des autres. Que ces parties soient même complètement dissociées (comme dans l'exemple du sucre fondu), les particules invisibles conservent en leur somme les propriétés du tout. Et que ces parties soient concentrées ou qu'il y ait décompression (comme dans les variations du volume total du grain de maïs également évoqué au § précédent), quelque chose se conserve dans le volume corpusculaire. Or, ce qu'il y a de remarquable dans ces notions spontanées, propres au sens commun dès un certain niveau du développement mental, c'est qu'elles se construisent sans intervention de la mesure ni même d'une quantification « extensive », donc sans l'appui d'opérations mathématiques et par la seule composition de caractère « intensif » des opérations logiques ou infra-logiques.

Existe-t-il, dès lors, quelque analogie, dans le fonctionnement de la pensée, entre la genèse de ces notions qualitatives de conservation et la formation des principes de conservation que la science a élaborés successivement au cours de son histoire, et qu'elle a élaborés en termes de quantité métrique ? Et peut-on tirer de cette analogie éventuelle quelque enseignement en ce qui concerne le rôle de l'identification et de l'expérience dans la construction de ces principes ? Cela semble probable, dans la mesure où le travail de la science prolonge ce qu'il y a déjà de rationnel dans le sens commun élémentaire. Et cela paraît d'autant plus plausible que le caractère d'invariant opératoire, propre aux notions scientifiques de conservation, est ainsi préparé dès le plan qualitatif. La comparaison des formes élémentaires, liées aux simples « groupements » d'opérations infralogiques, et des formes supérieures liées aux « groupes » d'opérations métriques les plus raffinées, nous fournira ainsi un utile moyen d'analyse : il est évident, en effet, que ce n'est ni aux plus élémentaires seuls ni au plus évolués des invariants opératoires à nous renseigner sur le processus exact de construction des notions de conservation mais que, partant à mi-chemin, la recherche épistémologique doit effectuer une sorte

de jeu de navette entre l'exploration des sources et celle des courants plus récents de la pensée scientifique.

L'interprétation que E. Meyerson a donnée des principes de conservation a eu le grand mérite de mettre en lumière le fait que la conservation, exigée par la raison, ne découlait cependant ni de celle-ci seule, ni de l'expérience seule, mais résultait d'une interaction extrêmement intime entre la déduction et les données expérimentales susceptibles de se prêter à une telle élaboration. C'est ainsi que le principe de la conservation de la matière était déjà connu des anciens, et déduit par les atomistes. Il entraînait selon eux la conservation du poids, d'ailleurs confondu avec la masse. L'autorité d'Aristote, pour qui le poids était une propriété accidentelle variant avec les changements d'états, a fait mettre en doute cette constance du poids, et Descartes insiste, pour sa part, sur la conservation du volume, liée à son effort pour réduire la matière à l'étendue. Il a donc fallu attendre Lavoisier pour que l'invariance du poids acquière droit de cité. Or, Meyerson montre avec une grande clarté comment la permanence du poids, au cours des transformations chimiques, était pour lui « évidence » prévisible *a priori*. Il vérifie, il est vrai, souvent par l'expérience que le poids d'un composé est égal à la somme de ceux des composants, mais c'est à titre de contrôle et jamais il ne doute de la nécessité du principe : « dans toute opération, il y a une égale quantité de matière avant et après l'opération » (*Identité et réalité*, p. 188). Si Kant et même Spencer considèrent la conservation de la matière comme une vérité nécessaire, démontrable *a priori*, et si Stuart Mill n'y voit qu'une loi expérimentale, Meyerson, par une très fine analyse historique, aboutit à la conclusion qu'elle n'est ni l'une ni l'autre, ou plutôt qu'elle est les deux à la fois : c'est une vérité « plausible », selon son vocabulaire, c'est-à-dire non contredite, mais d'autre part non démontrable par l'expérience, et inspirée directement par la tendance causale, c'est-à-dire par le besoin d'identité dans le temps. Comme les vérités mathématiques, elle est donc un mélange d'emprunts faits à l'expérience, relatifs au contenu des notions identifiables, et d'influence de la raison sous forme d'une identification du divers.

Il est vrai que, dans les conceptions contemporaines, la masse n'est plus invariable, sous aucun des rapports, d'ailleurs dissociés (rapport entre la force et l'accélération, capacité d'impulsion, etc.) qui la caractérisent, et elle ne paraît plus nécessairement liée à la quantité de matière. Mais celle-ci, mesurée alors

au nombre des électrons, demeure néanmoins constante. Jusqu'à quand le demeurera-t-elle ? Il se pourrait que l'électron lui-même apparaisse un jour comme susceptible de dissociation. Mais la question n'est pas là : quelque variation que l'expérience conduise à introduire dans les caractéristiques de la matière, nous trouverons toujours un autre invariant susceptible d'assurer l'existence matérielle de « quelque chose de constant ».

L'identité dans le temps, définition de la causalité selon E. Meyerson, se retrouve en un autre principe de conservation que la science moderne, cette fois en opposition avec celle des anciens, a été conduite à construire : le principe d'inertie ou de conservation du mouvement uniforme. Pas plus que le précédent, ce principe n'est, en effet, imposé par l'expérience seule, puisque sa démonstration rigoureuse supposerait l'utilisation d'un temps et d'un espace infinis. Il est même en contradiction avec l'expérience immédiate, puisqu'Aristote, fidèle à l'apparence des choses, admet que les mouvements terrestres « naturels » tendent vers un état de repos, caractérisé par le lieu propre de l'objet momentanément mobile. Seul le mouvement circulaire (qui pour nous suppose précisément une accélération) conserve son uniformité, comme celui des corps célestes parfaits. Aristote s'est même servi de l'impossibilité supposée du mouvement rectiligne uniforme se prolongeant indéfiniment dans le vide pour justifier sa théorie du jet (*Identité*, p. 129). C'est Galilée qui est au point de départ du principe, avec son affirmation que « le mouvement dans le plan horizontal est éternel » et, comme le fait remarquer Meyerson, il s'agit là d'une déduction à base d'expérience imaginée et non pas matérielle. Descartes démontre le principe par voie *a priori* et d'Alembert le justifie par un simple emploi du principe de raison suffisante. La conservation du mouvement rectiligne et uniforme est donc à nouveau une vérité « plausible », c'est-à-dire exigée par la raison quant à la nécessité d'une conservation, et suggéré par l'expérience quant au choix de l'élément conservé. Il est de nature « intermédiaire entre l'*a priori* et l'*a posteriori* » (*Identité*, p. 161). Ici encore, en effet, les conceptions contemporaines ont été conduites à modifier ce principe de conservation, ce qui montre bien qu'un tel principe n'est pas uniquement *a priori*, et qu'il dépend du niveau de l'expérience. Mais elles l'ont remplacé, avec la théorie de la relativité, par un autre principe d'inertie, ce qui montre bien que la conservation elle-même est

exigée, sous une forme ou sous une autre, par la raison dans son analyse du mouvement.

Il en est enfin de même d'un troisième principe de conservation, celui qui affirme l'équivalence des diverses formes d'énergie, c'est-à-dire la conservation de quelque chose lorsque l'on passe de l'une de ces formes à l'autre. Descartes déjà formulait cette conservation, mais l'attribuait à la quantité de « mouvement » (mv), pour des raisons *a priori*, erreur rectifiée par Leibniz qui, *a priori* également, cherche la conservation dans la « force active » (mv^2) et en démontre la nécessité au nom de l'adéquation de l'effet et de la cause. Or, la chaleur n'était pas comprise dans ces systèmes et il faut attendre J. R. Mayer pour l'énoncé du principe sous sa forme actuelle : mais, chose intéressante, avec une justification *a priori* rappelant celle de Leibniz et remédiant mal à l'insuffisance de la démonstration expérimentale. Le principe de la conservation de l'énergie est donc, lui aussi, une vérité simplement plausible, et Meyerson s'appuie sur la fameuse discussion d'H. Poincaré pour conclure avec lui que le seul énoncé correct du principe est « il y a quelque chose qui demeure constant », ce « quelque chose » étant à la fois impossible à déterminer d'avance et cependant imposé par la raison.

On voit combien l'ensemble de cette analyse s'accorde avec ce que montre déjà la genèse des notions élémentaires de conservation dans le développement de la pensée spontanée : exigence de déduction dépassant les possibilités de vérification offertes par l'expérience et néanmoins suggestion de celle-ci quant aux données entre lesquels l'esprit choisit celle qu'il prendra pour support de la conservation. Mais Meyerson va plus loin et suppose une ligne de démarcation précise entre le réel et l'esprit au cours de cette élaboration : la conservation étant l'identité dans le changement, ce serait l'identité seule qui relèverait de la raison et le changement qui exprimerait la réalité « irrationnelle ». Or, cette conclusion est-elle inévitable et devons-nous fatalement départager ainsi les apports respectifs de l'esprit et de l'expérience, en mettant au compte de cette dernière tout ce qui est transformation comme telle ? Ou, au contraire, la dualité de l'identité et du changement ne traduirait-elle pas, au lieu d'une antithèse, une connexion nécessaire intérieure à la raison aussi bien qu'inhérente au réel ? Tel est le problème, que nous avons déjà rencontré et discuté sur le terrain des opérations mathématiques (Chap. III § 4) et que nous retrouvons maintenant dans le domaine physique.

Rien n'est effectivement plus instructif à cet égard, comme l'œuvre de Meyerson l'illustre dans son ensemble, que la réflexion sur les notions de conservation, puisque celles-ci s'étendent de l'« objet » sensori-moteur jusqu'aux principes les plus raffinés de la science (avec, entre deux, les invariants élémentaires décrits aux § 2 et 4 du présent chapitre). Et, au premier abord, on pourrait être tenté de considérer comme évident le résultat de l'analyse meyersonienne, puisque, en chacun de ces cas, c'est bien l'expérience qui impose la constatation du changement ; au contraire, la déduction est nécessaire pour retrouver l'identique, avant que l'existence supposée de celui-ci ne soit confirmée par de nouveaux contrôles expérimentaux, mais bien plus raffinés que l'observation de départ fournissant, à titre de donnée immédiate, le fait de la transformation elle-même. Mais si, en définitive, l'expérience agréée l'identité comme le changement, pourquoi celle-là serait-elle plus rationnelle que celui-ci, et pourquoi tous deux ne pourraient-ils pas constituer simultanément des nécessités pour l'esprit et des réalités pour le monde physique ? La différence entre les invariants opératoires propres aux mathématiques et les invariants physiques est assurément que ces derniers se situent dans le temps, et qu'ainsi les transformations au sein desquelles la déduction retrouve l'identique sont imposées par des changements perçus dans l'objet avant de pouvoir être elles-mêmes reconstituées mathématiquement. Mais, d'une part, l'expérience s'accorde donc avec l'identité comme avec le changement, et, d'autre part, la déduction reconstitue les transformations comme l'invariant lui-même, et cela sur le plan logique ou infralogique des notions de conservation élémentaires comme sur le plan de la construction mathématique ultérieure. Pourquoi la structure de la raison serait-elle ainsi plus apte à assimiler le rapport d'identité entre les états successifs que leur différence ou que la transformation conduisant des uns aux autres ?

Serait-ce en vertu d'un consensus universel ? Mais, chez Descartes, « le mouvement est défini comme un pur rapport d'intelligence »¹ ; et que l'auteur du « Monde » ne soit pas parvenu du premier coup à cette clarté (ainsi qu'y ont encore insisté récemment les admirables études de A. Koyré)² ne prouve rien, car, en tout développement historique ou génétique, la

¹ L. BRUNSCHVICG, *L'expérience humaine et la causalité physique*, p. 187.

² A. KOYRÉ, *Etudes galiléennes II. La loi de la chute des corps. Descartes et Galilée*. (Hermann) 1939, p. 114 (II 40).

simplicité caractérise le terme ou l'équilibre final d'une notion, et non point ses racines ou ses phases initiales. D'autre part, Kant ne jugeait pas non plus contradictoire l'idée d'un jugement synthétique *a priori*, englobant simultanément l'identique et le divers.

Est-ce parce que les Grecs attribuaient une vertu spécifique à l'identique et dévaluaient le changement ? Il n'est pas impossible que Parménide ait exercé sur E. Meyerson le même genre de séduction que Pythagore sur Renouvier : il y a entre Renouvier et Meyerson une certaine analogie dans la rigidité voulue de la pensée et dans la décision inébranlable d'assigner une limite à la compréhension rationnelle. Mais l'exemple des Grecs pourrait s'expliquer par un défaut systématique de prise de conscience des mécanismes opératoires, comme nous avons cherché à le montrer précédemment (chap. III § 1).

Serait-ce parce que, formellement, l'identité précède la relation asymétrique, ou rapport de différence ? Mais l'analyse linéaire propre à la logique axiomatisée néglige l'interaction fondamentale des opérations. L'identité $A = A$ n'est intelligible qu'en corrélation avec la différence. C'est pourquoi les « groupements » de relations asymétriques, fondés sur la différence, sont exactement parallèles aux « groupements » de classes, fondés sur la ressemblance, et c'est l'emploi simultané de ces groupements complémentaires d'opérations qui permet à la pensée de l'enfant d'aboutir, sur le terrain de la déduction physique qualitative, à la constitution des formes initiales de conservation.

Bref, en présence des ressemblances ou des permanences partielles entre deux états physiques, et des différences ou des changements partiels, la raison s'efforce d'assimiler les unes et les autres de ces deux catégories de relations. Quant à sa manière de procéder, c'est ici que la construction des principes de conservation constitue un exemple privilégié, car ces principes sont toujours fonction d'un système d'interprétation d'ensemble des phénomènes considérés : leur rôle n'est pas d'affirmer simplement la présence de l'identité dans le changement, mais bien d'intégrer ces deux aspects du réel à la fois, dans une synthèse qui rende compte simultanément de la transformation et de la conservation. Et, pour ce faire, la raison emploie toujours la même méthode : elle tend à assimiler la totalité du processus, c'est-à-dire justement l'invariance et le changement réunis, à l'un des systèmes opératoires dont elle dispose. C'est en vertu de cette assimilation fondamentale, non

plus déformante comme l'assimilation conservatrice propre aux généralisations intuitives, mais équilibrée avec l'accommodation, que la modification constatée dans l'expérience devient « transformation » au sens opératoire du terme, tandis que la conservation elle-même est conçue comme l'invariant nécessairement corrélatif à toute transformation opératoire.

Dès les notions élémentaires de conservation (décrites dans les § 1-2 et 4), nous voyons ainsi la construction de l'objet permanent liée à celle du groupe pratique des déplacements, et surtout la construction des invariants de substance, de poids et de volume liée à celle des groupements additifs de partition, c'est-à-dire à ces groupements même dont les opérations engendrent les schémas atomistiques élémentaires. En tous ces cas, la conservation repose donc sur un jeu d'opérations qui expriment par ailleurs les transformations elles-mêmes : la conservation procède de l'« opération inverse » et de l'« opération identique » de groupes ou de groupements, dont les autres opérations traduisent les variations comme telles du système : il serait donc illégitime d'attribuer à la raison certaines seulement de ces opérations et non par leur ensemble, car cet ensemble constitue une totalité unique, à la fois inépuisable et fermée sur elle-même.

Quant aux principes scientifiques de conservation, il en va *a fortiori* de même : l'identité rationnelle qu'ils comportent y est, bien davantage encore, indissociable des variations rationnellement construites ou reconstruites, elles aussi, impliquées dans la totalité du système. La connexion de ces principes avec les transformations opératoires et leur fonction d'invariants par rapport à celles-ci est d'ailleurs évidente et n'a naturellement pas échappé à l'analyse de E. Meyerson. Mais il n'a pas insisté sur cet aspect des choses parce que, pour lui, l'opération n'est pas créatrice du divers et que le raisonnement opératoire, même en mathématiques pures, emprunte sa fécondité au réel lui-même. De ce point de vue, la transformation mathématique n'est alors qu'une copie de la modification physique à expliquer, ce qui exclut toute explication du changement comme tel par la raison, confinée dans sa recherche de l'identique seul. Nous avons vu (chap. III § 4) la difficulté d'une telle thèse sur le terrain mathématique. Or, en ce qui concerne le raisonnement physique, la difficulté est analogue bien que, en ce second cas, la variation extérieure soit donnée expérimentalement et dans le temps, avant la transformation opératoire chargée de la reconstruire déductivement. En effet, et malgré cette dernière cir-

constance, non seulement l'explication du physicien porte simultanément sur la transformation comme telle et sur l'invariant, mais encore, et surtout, le choix de l'invariant est lié au système opératoire servant à expliquer la transformation elle-même. De ce point de vue, un principe de conservation est beaucoup moins la manifestation d'une recherche de l'identique que l'expression d'une assimilation de l'ensemble des transformations données à des opérations dont la conservation ou l'identité constituent la condition nécessaire, mais nullement suffisante pour la raison.

A cet égard, si la conservation de la matière, telle que les anciens ont conçu cet invariant dès l'élaboration des schémas atomistiques, relève d'abord d'opérations simplement logiques ou qualitatives, le principe d'inertie est par contre hautement révélateur dans ses connexions avec l'ensemble de la cinématique galiléenne et du mécanisme cartésien, car il constitue le premier principe spécifique de conservation imposé par la mathématisation moderne du réel. Le mouvement, dans la physique intuitive et anti-mathématique d'Aristote, prend naissance et prend fin à la manière d'une activité vivante, due à une force interne et tendant vers un but : d'où la nécessité d'invoquer un moteur pour chaque mouvement et d'attribuer une causalité à l'espace, qui attire chaque objet en son lieu propre. Mais à partir du moment où le problème est de mathématiser les mouvements et leurs vitesses au même titre que l'espace, la composition opératoire ainsi recherchée suppose nécessairement un invariant sur lequel puisse s'appuyer la variation : l'invariant est donc postulé non pas pour lui-même (à titre d'identité), mais en tant que condition de la variation. La chose apparaît avec une clarté particulière non seulement dans la pensée de Galilée et dans celle de Descartes, mais encore dans le contraste entre leurs deux systèmes d'interprétations. Les si attachantes « Etudes Galiléennes » qu'A. Koyré a consacrées à l'histoire du principe d'inertie et de la loi de la chute des corps nous montrent, en effet, à la fois l'idéal de mathématisation de la physique que professait Galilée, et les raisons de son demi-échec à dégager le principe de la conservation du mouvement rectiligne et uniforme. C'est que la dynamique de Galilée est une « dynamique de la chute » : « le mouvement de la chute est le mouvement naturel de tout corps abandonné à lui-même »¹. Tout corps étant donc entraîné par son poids, Galilée

¹ A. KOYRÉ, *Galilée et la loi d'inertie*, Hermann 1939, p. 238 et 239 (III. 88 et 89).

n'a pas, à proprement parler, formulé de principe d'inertie. Mais, par le fait même que son problème central consiste à chercher l'expression mathématique du mouvement uniformément accéléré, sans autre hypothèse que celles nécessaires à la composition de ce constant accroissement de vitesse, Galilée en vient à abandonner successivement la distinction aristotélicienne du « grave » et du « léger » et l'explication par l'*impetus* : ainsi « le mouvement se combine *directement* avec la pesanteur »¹ d'où la nécessité d'une conservation du mouvement et de la vitesse, en tant que principe même de la composition des accélérations. Il en résulte que sur un point au moins, Galilée entrevoit le principe d'inertie : dans le cas d'une boule parfaitement ronde roulant sur un plan horizontal, le mouvement continue éternellement, faute de toute cause d'arrêt ou d'accélération. Avec Descartes, au contraire, qui pense en géomètre^[*], non seulement le mouvement est d'emblée un « état » au même titre que le repos, et non plus un processus (ce à quoi la mathématisation galiléenne avait déjà abouti) mais encore la considération de la pesanteur ne fait plus obstacle à la composition directe des mouvements : il s'ensuit que tout mouvement acquis par un mobile l'est aux dépens du mouvement d'un autre, et que tout mouvement perdu profite à un autre (deuxième règle du « Monde ») ; que tout mobile, même animé d'un mouvement en ligne courbe, tend à se mouvoir de façon rectiligne (troisième règle) et que, de façon générale, tout état, de mouvement ou de repos, se conserve par lui-même (première règle). La conservation du mouvement rectiligne et uniforme est ainsi généralisée à titre de principe fondamental, mais, on le voit, en corrélation indissociable avec le calcul possible des variations mêmes du mouvement et à titre de condition de la composition de ces variations.

Bref, qu'il s'agisse de la première approximation réalisée par Galilée, où la conservation du mouvement constitue la condition mathématique de la composition des accélérations, ou de la généralisation cartésienne dans laquelle l'invariance du mouvement inertial est la condition nécessaire de l'échange des mouvements, dans les deux cas et de deux points de vue en partie opposés, l'invariant et la variation sont indissociablement solidaires à titre de conditions mêmes d'intelligibilité.

C'est ce que la destinée ultérieure de la cinématique clas-

¹ A. KOYRÉ, *La loi de la chute des corps. Descartes et Galilée.* (Hermann) 1939, p. 94 (II, 20).

[*Note FJP : nous avons substitué "géomètre" à "géométrie".]

sique a mis en évidence croissante. La conservation du mouvement rectiligne et uniforme est l'invariant du groupe que l'on peut construire avec les transformations dites galiléennes et permet ainsi de considérer les lois de la physique comme invariantes dans les systèmes inertiels. Or, il est si clair que cette solidarité établie entre l'invariant et les transformations elles-mêmes du groupe constitue l'objectif essentiel du principe d'inertie, que le nouveau principe de conservation du mouvement, dont la conséquence est aussi de rendre les lois de la physique invariantes dans tous les systèmes inertiels, est lui-même déterminé par le groupe de transformations de la cinématique de Lorentz-Einstein comme le principe d'inertie galiléen l'est par le groupe de la cinématique classique.

Il est intéressant de noter, à ce sujet, que Meyerson, en reprenant la question du principe d'inertie dans sa *Déduction relativiste* (p. 45 et seq.), se sent obligé de modifier sensiblement son exposé de *Identité et Réalité*, semblable à l'historien qui retouche son premier récit pour tenir compte de documents nouveaux. Il montre fort bien, à cet égard, comment le principe d'inertie permet de faire l'économie d'une action de l'espace, au sens d'Aristote, ce qui rend l'explication beaucoup plus simple et prépare ainsi la relativité einsteinienne qui généralise à la fois les relativités galiléenne et cartésienne. Mais, en ce cas, peut-on encore dire que le principe d'inertie satisfait surtout l'esprit parce qu'il aboutit « à la conservation d'un concept. Ce concept est en l'espèce celui de la vitesse : c'est la vitesse considérée comme une substance, dans le sens philosophique du terme » (*Déduction relat.*, p. 44) ? Comparée à la physique d'Aristote, qui ne conserve précisément que des concepts ou des substances dont chacune est isolable sur son palier particulier dans la hiérarchie des êtres, la cinématique de l'inertie nous paraît au contraire caractérisée, du fait de sa mathématisation complète et en particulier du fait qu'elle relie en un seul tout les mouvements célestes et terrestres, par la réciprocity qu'elle établit entre l'invariant et la variation : ce n'est pas à titre de concept que le mouvement rectiligne et uniforme est conservé et non pas le repos seul, c'est parce que le choix de cet *invariant* permet d'expliquer de la manière la plus simple l'ensemble des variations mêmes de mouvements ou de vitesses. L'invariant séduit ainsi la raison, non pas dans la mesure de son identité, considérée en elle-même et isolée du reste du système, mais dans la mesure où il remplit un rôle actif et opératoire, qui est de rendre compte de la

transformation. Une fois de plus l'identité n'a donc ici de sens qu'en fonction de la totalité mobile d'un groupe de transformations.

Quant au principe de la conservation de l'énergie, quelle séduction pourrait-il bien exercer sur la raison s'il ne s'agissait que de la « conservation d'un concept », puisque le concept est intraduisible en un autre langage que celui des intégrales, et qu'il n'a longtemps caractérisé que des *différences* d'états. Nous ne parlons pas de tout ce que l'imagination anthropomorphique ou biomorphique des énergétistes du XX^e siècle a tiré de cette notion, car la philosophie de l'énergie n'a aucune parenté avec la conservation de la relation mathématique qui porte le même nom. Nous parlons de la notion issue historiquement du principe des forces vives et destinée à permettre la mise en équation du rapport entre l'accroissement de la force vive d'un corps en mouvement et la diminution du potentiel des forces agissant sur ce corps. Qui ne voit ici à nouveau la solidarité de départ entre la conservation et la transformation, l'énergie cinétique produite au cours de celle-ci étant exactement compensée par un changement égal, et de sens contraire, de l'énergie potentielle ? C'est donc de l'identité, dirons les meyersoniens ! A coup sûr, mais solidaire d'une transformation opératoire et la rendant possible : pourquoi alors dissocier en deux parties opposées la transformation opératoire et décréter que l'esprit intervient seulement dans le signe d'égalité, par opposition à l'ensemble des opérations dont cette égalité, c'est-à-dire la substitution, ne constitue que l'une parmi les autres ? La victoire de l'esprit consiste au contraire en ce qu'il a réussi à assimiler une suite empirique de changements, demeurant irrationnels tant qu'ils restent intuitifs, en un système rationnel d'opérations réversibles, et, une fois de plus, la conservation n'est que l'invariant servant à engendrer la composition. Il en a été ainsi, à nouveau, lors de chaque extension du principe de la conservation de l'énergie, jusqu'à l'une de ses formes récentes, où, sous l'influence de la théorie de la relativité restreinte, on a pu réunir en partie la conservation de la masse à celle de l'énergie, et surtout attribuer à cette dernière notion la valeur d'un absolu et plus seulement d'une différence. Mais quelle sorte d'absolu ? L'énergie d'un corps au repos, p. ex., ou énergie de repos est égale au produit de la masse du corps par le carré de la vitesse de la lumière, c'est-à-dire qu'il s'agit encore d'un rapport, mais invariant (l'énergie de repos n'intervient pas si un corps entre en mouvement sous

l'influence d'une force, et en ce cas l'énergie en jeu est à nouveau une différence) : une fois de plus, l'invariant est donc solidaire du système d'ensemble des transformations opératoires qu'il rend possibles et qui le mettent en retour en évidence.

Mais les transformations opératoires successives qui ont permis de composer entre elles toutes les forces, jusqu'à dégager cet invariant commun qu'est l'énergie, ont précisément abouti à souligner l'existence d'un domaine particulier où le réel se heurte à la réversibilité opératoire et où les changements de forme de l'énergie apparaissent comme essentiellement irréversibles : le deuxième principe de la thermodynamique semble ainsi tenir en échec l'interprétation opératoire du premier. Seulement, si cette irréversibilité de l'accroissement d'entropie ne contredit pas la conservation de l'énergie, c'est qu'elle traduit simplement l'intervention d'un brassage, le mélange étant, ici comme partout, la source de l'irréversibilité. Or, nous allons justement voir (chap. VI) combien la genèse de l'idée de hasard est solidaire du développement opératoire de la pensée mathématique et physique, et comment le calcul de la probabilité permet d'assimiler le mélange objectif lui-même à un système de combinaisons qui sont à nouveau opératoires. La réversibilité des opérations réapparaît ainsi, verrons-nous, jusque dans le calcul de l'irréversibilité de fait.

Au total, la fonction de la conservation est donc, toujours et partout, de la pensée spontanée de l'enfant jusqu'aux principes scientifiques les plus épurés, de permettre la construction opératoire des transformations elles-mêmes : la conservation ne constitue que l'invariant de la composition, et l'identité comme telle n'est que l'une des opérations du groupe des transformations dont la signification essentielle est la capacité d'engendrer de nouvelles transformations par le produit des opérations de départ. L'identité à elle seule n'est donc qu'une abstraction, et le rationnel se reconnaît à la totalité du système opératoire dont elle fait toujours partie et non pas uniquement à l'un de ses éléments.

CHAPITRE VI

LE HASARD, L'IRRÉVERSIBILITÉ ET L'INDUCTION

Grâce aux principes de conservation, le sujet applique au réel les mécanismes réversibles constituant ses propres opérations rationnelles et s'attend à ce que les modifications de l'objet se plient à cette réversibilité qui caractérise l'intelligence elle-même, par opposition à l'action élémentaire. Du point de vue psychogénétique, c'est même en découvrant l'inversion possible de ses actions (de réunir, déplacer, etc.), que le sujet parvient simultanément à les grouper en opérations et à concevoir la conservation des propriétés objectives, celles-ci étant à leur tour considérées comme dues à des transformations réversibles.

Et effectivement, les phénomènes mécaniques sont réversibles en ce sens que les équations restent vraies si l'on change tous les signes des vecteurs. Un mouvement est ainsi réversible, une composition de forces l'est aussi. Le temps mécanique lui-même est réversible, en ce sens que si l'on n'a à faire qu'à des trajectoires assignables, à des masses et à des forces (à condition par conséquent de faire abstraction des faits thermodynamiques, biologiques ou psychologiques) on peut inverser le sens des mouvements et changer de signe la succession temporelle sans altérer les lois elles-mêmes.

Il est vrai que cette réversibilité mécanique, dont les physiciens aiment à faire le prototype des processus réversibles, par opposition aux phénomènes thermodynamiques, n'est pas identique à la réversibilité logique ou mathématique, pas plus qu'une égalité physique n'est identique à une égalité géométrique ou arithmétique. La réalité matérielle, comme l'a profondément dit Duhem ¹, n'est jamais entièrement réversible : elle

¹ P. DUHEM, *Introduction à la mécanique physique*. Paris (Carré), 1893.

peut être renversable, ce qui n'est pas la même chose, car, pour inverser un processus même purement mécanique il faut faire intervenir des forces nouvelles qui n'étaient pas contenues dans le mécanisme dont on renverse le sens. Il n'en reste pas moins que, pour la pensée, le fait mécanique est renversable dans le sens où deux grandeurs physiques sont égalisables et où un ensemble d'éléments réels est dénombrable, c'est-à-dire que, moyennant l'intervention d'actions voulues (déplacements, etc.), il peut être inversé comme les grandeurs peuvent être égalisées et les éléments dénombrés.

Or, parmi les grands principes de conservation, il en est un dont l'histoire a montré que, s'il correspond à un invariant comparable aux autres en ce sens qu'il émane comme les autres des opérations réversibles de la pensée logico-mathématique, il ne correspond pas à une réversibilité physique ou à une « renversabilité » du même type que les autres : c'est la conservation de l'énergie. Leibniz déjà, dans un passage souvent reproduit, se faisait l'objection que la force vive mv^2 , en se répandant dans un corps élastique, ne se retrouve pas sous la même forme qu'avant, et comparait cette dispersion de la force au monnayage de gros écus en petites pièces. La « dégradation » de l'énergie en chaleur a montré depuis qu'un tel monnayage n'est effectivement pas réversible, c'est-à-dire que, si l'énergie se conserve, elle descend par contre une pente, avec le fractionnement, qu'elle ne peut plus remonter en système clos parce que ce fractionnement s'accompagne de brassage.

On sait, en effet, comment cette direction à sens unique de l'énergie thermique en sa diffusion, celle-ci étant mesurée à ce que Clausius a appelé l'entropie, a trouvé depuis Boltzmann une explication dont l'importance est essentielle du point de vue de l'histoire de la pensée : cette irréversibilité est due au mélange, c'est-à-dire que, à l'encontre des processus mécaniques dans lesquels chaque système de mouvements constitue une chaîne simple et isolable de séquences causales, il intervient dans les processus thermodynamiques un brouillage général. Or, ce mélange, ou cette « interférence des séries causales », comme disait Cournot pour définir le hasard, est irréversible pour cette raison très simple qu'il n'y a plus alors de « séries », c'est-à-dire de suites simples, et que le mélange, en tant qu'effet global ne peut plus être considéré comme le résultat d'une opération : à démêler ce qu'on a mêlé, on s'aperçoit que le chemin du retour est plus long et plus laborieux que le trajet de l'aller. L'irrationnel (non pas dans le sens du

« divers » meyersonian, relatif à la thèse de l'identification, mais au sens ordinaire du terme), c'est-à-dire le désordre, semble donc s'installer à l'intérieur du fait physique, ce qui donne à penser qu'il interviendrait peut-être ainsi du non-opérateur dans la science elle-même.

Le problème épistémologique soulevé par ces constatations est d'autant plus général que, comme l'a développé Max Planck en des pages lumineuses, la classification essentielle des faits physiques n'est pas à fonder sur les oppositions classiques (mécanique et électrodynamique, etc.) qui se sont peu à peu réduites, mais bien sur la différence beaucoup plus importante qui sépare les phénomènes irréversibles et les phénomènes réversibles : « à l'avenir, je dis qu'à mon avis les phénomènes physiques se partageront en deux grandes classes, les phénomènes réversibles et les phénomènes irréversibles ». « Dans les équations différentielles des phénomènes réversibles... on peut à volonté changer le signe algébrique du temps ». De plus « ils obéissent intégralement, comme Helmholtz l'a montré, au principe de moindre action », ce qui « permet de donner des solutions quantitatives exactes aux problèmes les concernant ». Quant aux phénomènes irréversibles, le principe de moindre action ne suffit plus car leur « propriété la plus générale » est « celle de tendre vers un état final définitif ». ¹ Tels sont les processus de diffusion, la théorie cinétique des gaz, les phénomènes de frottement, etc.

D'où le problème, ou plutôt les deux problèmes solidaires qu'une telle situation pose à l'épistémologie génétique : comment est née l'idée de hasard, si le mélange constitue l'opposé de l'opérateur, et comment les opérations de l'intelligence sont-elles parvenues à surmonter cet obstacle et à assimiler le hasard lui-même ? Sur le premier point, on soutiendra d'emblée que le hasard, étant réfractaire à l'opérateur, ne peut donc provenir que de l'expérience elle-même. Mais les choses sont loin d'être aussi simples. Chacun sait combien tardive a été l'apparition de l'idée de hasard, qu'ignorent les « primitifs » et à laquelle la science a répugné bien longtemps. On répondra que le hasard étant irrationnel, la pensée scientifique a naturellement commencé par vouloir le nier, ne cherchant d'abord dans la nature que ce qui correspond aux opérations les plus simples de l'intelligence. Il y a en cela du vrai, mais nous som-

1 M. PLANCK, *Introduction à la Physique*, Flammarion (trad. DUPLESSIS DE GRENÉDAN), p. 20 et 21.

mes encore bien loin de compte, puisque la mentalité primitive et le sens commun lui-même, qui sont peu rationnels, n'en acceptent pas pour autant l'idée du hasard et que c'est en fonction seulement des progrès de la déduction, qu'une telle notion a fini par devenir à la fois claire et distincte.

Le statut génétique, si l'on peut dire, de l'idée de hasard est donc plein de paradoxes. Nous avons, en effet, été conduits à admettre, en étudiant le fonctionnement de l'intelligence et de la perception, que les faits mentaux comme les faits physiques se classent eux-mêmes en réversibles et en irréversibles, c'est-à-dire qu'il y a des actions exactement renversables et d'autres qui ne le sont pas : ainsi l'intelligence et ses opérations une fois formées sont réversibles, tandis que la motricité élémentaire (habitudes), la perception, l'intelligence enfantine à son niveau intuitif, etc., sont irréversibles. Or, il se trouve que ce sont précisément les formes de pensée réversibles qui sont seules aptes à former les notions du hasard et de l'irréversible, tandis que les formes d'action et de pensée irréversibles sont impuissantes à appréhender pratiquement ou à se représenter les formes de réalité irréversibles comme elles ! C'est donc une fois de plus de la genèse psychologique exacte des notions ou des intuitions, qu'il nous faut partir, pour comprendre la destinée et le rôle des idées de hasard et de probabilité dans l'histoire de la pensée scientifique.

§ 1. LA GENÈSE DE L'IDÉE DE HASARD. — Les notions du hasard et du mélange irréversible lui-même ne se construisent qu'en étroite corrélation avec leur contraire, c'est-à-dire avec les opérations ordonnées et réversibles. Ces idées constituent donc des modèles de concepts intelligibles ou rationnels, mais portant sur des réalités irrationnelles que la raison assimile sans les détruire et comprend en tant qu'irrationnelles sans leur enlever d'autres caractères que ceux dont elles étaient indûment revêtues par le moi (en particulier par l'affectivité) avant cette assimilation.

C'est, en effet une chose remarquable que l'enfant demeure insensible au concept de hasard tant que son intelligence demeure incapable de composition opératoire. Certes, il est compréhensible que, sur le plan verbal, l'idée de hasard demeure absente d'une représentation préopératoire de l'univers, qui se contentera de recourir aux notions de croissance et de force vivante, de fabrication intentionnelle et de finalisme en général, pour expliquer les phénomènes dont seule une composition

des éléments statiques ou des mouvements rendrait compte rationnellement : tout a sa raison d'être en un univers formé de corps à la fois vivants et fabriqués, et c'est à cause de cette exclusion en quelque sorte *a priori* de tout hasard que les « pourquoi » de l'enfant sont si souvent posés comme si les réalités les plus fortuites, pour nous, comportaient une explication à la fois causale et finaliste¹. Mais de telles représentations verbales, c'est-à-dire portant sur les domaines qui échappent à l'action directe du sujet, n'entraînent pas *ipso facto* la négation du hasard dans la sphère de l'action elle-même, et effectivement la reconnaissance des rapports « aléatoires » est beaucoup plus précoce en ce domaine de l'action qu'en celui de la représentation du monde en général. Seulement, même, en ce qui concerne l'action comme telle, la notion du hasard n'apparaît pas avant les constructions opératoires réversibles, bien que constituant en un sens leur contraire. C'est là le paradoxe sur lequel il convient d'insister.

Prenons comme exemple l'intuition du mélange d'un ensemble d'éléments matériels, laquelle constitue assurément le prototype du fortuit et de l'irréversible. Présentons à l'enfant une boîte rectangulaire, ouverte et inclinée, dont la partie inférieure est occupée par une rangée de quelques perles rouges suivies de quelques perles blanches. Faisons basculer la boîte et prévoir dans quel ordre se replaceront les perles : les blanches resteront-elles ensemble d'un même côté, et les rouges également de l'autre côté, ou y aura-t-il mélange ? Les jeux de bascule successifs augmenteront-ils le mélange ou au contraire ? Et un nombre toujours croissant de mouvements de bascules conduira-t-il à un désordre *maximum* ou à un retour fatal à l'arrangement initial ? Or, chose curieuse, c'est précisément au niveau où la pensée de l'enfant demeure irréversible (faute de composition opératoire) qu'il croit à un retour nécessaire au point de départ (résultat d'un premier chassé-croisé général entre les perles rouges et blanches, puis d'un deuxième chassé-croisé en sens inverse), tandis que, lorsque sa pensée devient réversible (vers 7-8 ans, c'est-à-dire à l'âge de la construction des premiers « groupements » logiques, du groupe des nombres entiers, de la conservation des quantités de matière, etc.), il croit à un mélange croissant, comme cas le plus probable, et à la simple possibilité d'un retour, mais à titre de cas particulier fortuit et très peu probable. Ce n'est même que vers 11-12 ans qu'il devient capable d'analyser le mécanisme réel du mélange, en concevant l'ensemble des trajectoires simultanées de toutes les perles comme un système d'entrecroisements dus

¹ Voir notre ouvrage sur *Le Langage et la Pensée chez l'enfant*. (Delachaux et Niestlé), chap. V des deux premières éditions, chap. VI de la troisième.

aux chocs, c'est-à-dire comme un jeu plus ou moins complexe d'interférences réductibles à une suite de permutations.

Dès ce premier exemple, le paradoxe apparaît en pleine lumière. Au niveau où le sujet est encore incapable d'opérations réversibles, telles que de juger égales les distances AB et BA ou d'inverser un ordre ABC ... en un ordre ... CBA, etc., il juge tout naturel le retour à l'ordre initial d'un certain nombre de perles mélangées, comme si le mélange constituait une opération directe, dont l'inverse serait ce que l'enfant lui-même appelle le « démélange ». C'est au contraire aux niveaux où le sujet devient capable d'opérations réversibles concrètes, puis formelles, qu'il comprend l'irréversibilité du mélange, puis sa nature combinatoire. En réalité, la contradiction n'est qu'apparente, car le retour au point de départ après mélange n'a nullement, pour la pensée intuitive des petits, la valeur que prendra une opération inverse chez les grands : lorsque les petits n'arrivent pas, p. ex., à inverser un ordre ABC ... en l'ordre ... CBA, c'est que le second ordre constitue à leurs yeux un état d'importance équivalente à l'état ABC ... et qui annule ce dernier, d'où la difficulté de l'inversion de l'un des états dans l'autre ; au contraire, le mélange, empiriquement constaté, des perles initialement bien rangées, n'est nullement pour eux un « état » ou un ordre comparable au premier et susceptible de l'annuler ; c'est simplement un désordre momentané ou un accident, n'excluant pas l'existence, chez les perles d'une sorte de tendance à rentrer dans l'ordre. Il y a donc retour au point de départ parce qu'il y a incompréhension de la nature du mélange et que l'ordre initial n'a pas cessé d'exercer son action : le sujet demeure pour ainsi dire intuitivement attaché à cet ordre initial comme à un état privilégié. C'est par contre seulement lorsque les opérations réversibles sont construites en d'autres domaines que le sujet parvient à distinguer ce qui, dans le réel, est réversible et irréversible.

Les expériences, portant sur le tirage au sort confirment cette même absence de la notion de hasard au niveau préopérateur et son apparition lors de la formation des opérations réversibles. C'est ainsi que mettant dans un sac, p. ex. 1 perle blanche, 5 rouges, 10 vertes et 15 bleues, nous prions le sujet de secouer lui-même le sac pour assurer le mélange, puis de prévoir le résultat le plus probable des tirages successifs d'une perle ou d'un couple de perles. Or les petits raisonnent comme s'il n'intervenait aucun brassage et comme si les quantités en

jeu ne jouaient pas de rôle nécessaire : ils prévoient p. ex. la sortie des perles dans l'ordre même du tableau de distribution indiqué (et laissé à côté d'eux à titre d'aide-mémoire) : la première perle tirée sera une blanche, puis une rouge, etc. Ou bien encore nous jouons à pile ou face en présentant au sujet une vingtaine de jetons pourvus d'une croix d'un côté et d'un petit cercle de l'autre : après avoir fait prévoir puis constater le résultat obtenu en lançant les jetons, isolément ou tous ensemble, nous vidons sur la table le contenu bien brassé d'un sac, ne contenant (à l'insu du sujet) que des jetons portant une croix sur chaque face. Or, les petits ne voient là aucun miracle : « ils se sont tous tournés du même côté », etc. ; au niveau des opérations concrètes, déjà, le sujet soupçonne par contre d'emblée l'intervention d'une cause étrangère aux données initiales, et retourne l'un des jetons pour voir ce qui s'est passé ! L'étude des distributions uniformes (gouttes de pluie tombant en petit nombre sur une surface carrelée) ou centrée (courbe de Gauss résultant de l'écoulement de grains à partir d'un entonnoir), donne lieu aux mêmes constatations : ce n'est que vers 7-8 ans qu'une certaine intuition des probabilités atteste l'élaboration de la notion de hasard.

L'analyse de ces réactions montre surtout le pourquoi de ce caractère tardif de la formation de l'idée de hasard. La construction d'une telle notion suppose, en effet, la différenciation systématique entre divers plans de modalité, tels que le possible et le nécessaire, le plus ou moins probable, etc. Or, seule la composition opératoire des actions est susceptible de conduire à la reconnaissance des séquences nécessaires (p. ex. : « si x est A il est nécessairement B ») ou logiquement possibles (p. ex. : « si x est B, alors il est A ou A' ») et par conséquent à leur différenciation d'avec les simples constatations de fait. A l'état isolé, une action ne conduit au contraire qu'à des anticipations plus ou moins sûres mais relativement indifférenciées du point de vue objectif : elle se caractérisera donc par des nuances subjectives allant de la certitude à l'incertitude, celle-ci étant due à l'ignorance des causes et non pas à la représentation de leurs interférences possibles, ainsi qu'à l'imagination de caprices ou d'intentions arbitraires et non pas à la compréhension du hasard. Pleuvra-t-il, p. ex., dans la journée ? L'anticipation est incertaine, soit parce que le sujet croit à des causes cachées, soit parce que les éléments sont sentis comme doués d'une certaine liberté : « la pluie devrait bien venir, mais elle ne le veut pas cet été », dira ainsi un paysan peu cultivé. L'action isolée ne suffit donc pas à l'élaboration des modalités indispensables

à l'idée de hasard : d'une part, l'imprévu qu'elle est obligée d'admettre ne coïncide pas avec l'imprévisible, qui suppose une analyse opératoire portant sur l'enchevêtrement, soit des séquences causales, soit des connexions logiques ; d'autre part, elle demeure, étrangère à l'idée de distribution d'ensemble, parce que cette idée, corrélative de l'imprévisibilité des tirages particuliers, suppose une composition de toutes ces compensations possibles et non pas seulement le sentiment de la nécessité en quelque sorte morale que l'on observe dans les premières formes subjectives de prévision de la compensation. C'est pourquoi, aux niveaux préopératoires de la pensée, le sujet ne comprend ni le mélange (sous lequel un ordre fictif est supposé se conserver), ni l'irréversibilité (le retour à l'ordre initial étant dû à la permanence de son action), ni l'impossibilité de « miracles » tels que l'unanimité répétée des piles ou des faces au cours de tirages successifs.

En corrélation avec la formation des opérations logico-arithmétiques, au contraire, la notion de hasard commence à se dessiner en tant que caractérisant les systèmes incomposables et irréversibles, par opposition aux premières coordinations opératoires réversibles. C'est ainsi que, dans la mesure où les déplacements deviennent susceptibles d'être groupés selon des opérations définies, l'interférence de ces mouvements est conçue comme aboutissant à un mélange, c'est-à-dire à un système de compositions mal déterminées dû à des rencontres fortuites. De même, sachant dorénavant pratiquer l'addition et la soustraction logiques ($A + A' = B$ ou $B - A' = A$), le sujet saura que si l'on tire un individu B quelconque, il peut être A ou A' , cette spécification demeurant indéterminée par rapport à la détermination des opérations binaires ($A + A'$ ou $B - A$ ou $B - A'$). L'enfant distinguera alors les rapports nécessaires (tels que « si x est un A il est un B ») des rapports de simple possibilité (« si x est un B , il peut être un A , mais il peut être aussi un A' »).

Seulement, si la constitution des premières opérations concrètes entraîne ainsi la découverte de ce résidu, incomposable de façon complète et irréversible, que constitue le fortuit, celui-ci commence par présenter des caractères surtout négatifs : il est d'abord ce qui résiste aux opérations, et ce qui demeure imprévisible dans le détail. Quant à l'aspect positif du hasard, c'est-à-dire aux rapports des distributions d'ensemble, il s'esquisse en partie dès le même niveau, car l'intuition du mélange s'accompagne vite de celle des dispositions et de leurs configura-

tions globales, Mais le propre de ces distributions d'ensemble et des mélanges de diverses natures qui caractérisent le hasard est précisément de constituer des compositions non-additives, inassimilables par le moyen des opérations logico-arithmétiques ou spatio-temporelles élémentaires, et de relever, en tant que systèmes totaux, d'opérations combinatoires de permutations, combinaisons, arrangements, etc., mais non ordonnées et dont seules certaines se réalisent ordinairement parmi l'ensemble des cas possibles. Or, de telle opérations se trouvent être de nature plus complexe que les précédentes, et nécessitent l'intervention de la pensée formelle, parce que constituant psychologiquement des opérations au deuxième degré ou opérations portant sur plusieurs systèmes opératoires à la fois : c'est ainsi que les permutations de plusieurs objets A, B, C, D, etc., supposent non seulement des sériations simples ABCD ... ; ACBD ... etc., qui sont déjà des opérations, mais encore la sériation de toutes les sériations possibles construites au moyen de ces objets. Et, effectivement, l'étude de l'acquisition par l'enfant de ces opérations combinatoires nous a montré que celles-ci ne sont effectuées par lui de façon systématique (même lorsqu'elles portent sur des objets matériels et indépendamment de toute formule) qu'après 11-12 ans, c'est-à-dire précisément au niveau des opérations formelles.

Il s'ensuit deux conséquences importantes en ce qui concerne les débuts de la notion de probabilité. En premier lieu, faute de ces opérations combinatoires le sujet parvenu au niveau des opérations concrètes ne réussit à former certains jugements de probabilité que dans les cas élémentaires où n'interviennent p. ex. que des inégalités simples entre parties emboîtées dans un même tout, et non pas un ensemble de combinaisons variées. Présentons ainsi au sujet un sac contenant deux perles blanches (= A) et une rouge (= A'), en demandant quelle couleur sortira avec le plus de probabilité si l'on extrait un seul élément de cet ensemble (soit $A + A' = B$). Au niveau préopératoire (c'est-à-dire avant 7 ans), il admettrait que la couleur rouge sortirait de préférence, puisque l'on ne tire qu'une perle et qu'il n'y a précisément dans le sac qu'une perle rouge (A') : aux idées de mélange et d'extraction fortuite s'opposait donc l'idée d'une affinité entre l'unicité de l'élément choisi et celle de la couleur rouge. Au niveau des opérations concrètes, au contraire, l'enfant parie en faveur de la couleur blanche (puisque $A > A'$) : l'inclusion opératoire des parties A et A' dans le tout B le pousse, en effet, à une mise en relation des parties entre elles au sein du même tout, et lui

permet alors une estimation de la probabilité fondée sur cette relation quantitative à laquelle ne pensaient pas les petits faute de raisonner en fonction de l'ensemble. Mais ce probabilisme naissant demeure insuffisant dans le cas des systèmes à caractère combinatoire. D'où un second fait important à noter au niveau des opérations concrètes : l'absence de toute compréhension de la loi des grands nombres.

Soit, p. ex., un disque divisé en secteurs égaux et une aiguille pivotant sur le centre du dispositif de manière à s'arrêter sur l'un quelconque des secteurs. Les sujets de 7 à 11 ans, contrairement aux petits, parviennent aisément à saisir que l'aiguille a autant de chances de se fixer sur l'un des secteurs que sur les autres, et que, par conséquent, il y aura dispersion uniforme des points d'arrêts sur les différents secteurs. De plus, ces sujets prévoient que, lorsque l'un des secteurs l'emporte sur les autres, un même nombre d'essais ne ramènera pas la même distribution et que, dans les grandes lignes, il y aura compensation. Mais, chose curieuse, lorsqu'il s'agit de décider si la répartition sera plus homogène pour 20-30 coups ou pour 100, ou 1000, etc. ces mêmes sujets se refusent à généraliser l'idée de compensation pour les grands nombres eux-mêmes. Il en est également ainsi pour le jeu de pile ou face : l'égalité des piles et ces faces est probable pour une trentaine d'essais, mais on ne saurait rien prévoir quant à 100 ou 1000 jets ! Tout se passe comme si le sujet n'appliquait la loi des grands nombres qu'à de « petits grands nombres », allant jusqu'à 20 ou 30, mais déclinait toute responsabilité pour la régularité d'essais en nombre croissant indéfiniment. Or, la chose s'explique aisément par le défaut de généralisation formelle : faute d'opérations combinatoires, et également de la notion métrique des proportions nécessaires pour l'évaluation des rapports de probabilité, le sentiment naissant des compensations probables ne peut encore être étendu au delà des petits ensembles manipulables.

Avec la compréhension des opérations formelles combinatoires, par contre, c'est-à-dire dès le niveau des opérations formelles débutant vers 12 ans, le hasard est lui-même assimilé ou réduit, si l'on peut dire, par les opérations : si chaque coup isolé, dans un tirage au sort, ou chaque choc isolé, dans un mélange, est toujours conçu comme indéterminé, il est cependant considéré désormais comme l'une des combinaisons réalisables parmi l'ensemble, chaque combinaison réelle étant donc interprétée dorénavant comme une partie définie de la totalité des combinaisons possibles. Le jugement de probabilité ainsi déterminé et fondé sur la compréhension de l'ensemble comme tel du système (avec le jeu des compensations croissantes en

fonction des grands nombres) constitue alors comme une revanche de l'opération sur le hasard, puisque la détermination opératoire du tout se concilie avec l'indétermination des processus élémentaires isolés. Le hasard cesse par cela même d'être revêtu de pouvoirs issus de l'affectivité égocentrique (« veine » ou « déveine », intentions cachées sous les apparences fortuites, etc.), pour devenir transparent à la raison. Son irrationalité se réduit au caractère incomposable des rencontres élémentaires comme telles, parce que la probabilité d'une combinaison particulière est relative à l'ensemble des combinaisons possibles, et ne constitue ainsi qu'une fraction de certitude, c'est-à-dire une détermination partielle : mais la certitude ou la détermination entières se retrouvent en ce qui concerne la totalité du système des possibilités en jeu.

On voit ainsi, en conclusion, combien la genèse de l'idée de hasard, en tant que compréhension graduelle de l'irréversibilité, est liée au développement des opérations réversibles, d'abord simplement concrètes, puis combinatoires et formelles parce qu'embrassant la totalité du possible. Si l'irréversibilité est, en définitive, attribuée aux cas les plus probables de l'ensemble des combinaisons possibles, c'est donc que ces combinaisons constituent en tant que telles des opérations réversibles.

§ 2. LA NOTION DU HASARD DANS L'HISTOIRE DE LA PENSÉE PRÉSCIENTIFIQUE ET SCIENTIFIQUE. — Si vraiment, du point de vue génétique, l'idée de hasard ne saurait apparaître avant la constitution des opérations réversibles élémentaires, et si, d'autre part, les opérations combinatoires, nées indépendamment de la notion du fortuit, rejaillissent peu à peu sur elle en l'assimilant à de nouveaux schèmes de composition, cette double connexion est de nature à éclairer plusieurs aspects de l'histoire du probabilisme dans la pensée préscientifique et scientifique : elle explique d'abord le caractère tardif de la reconnaissance du hasard lui-même, et en second lieu, le caractère bien plus tardif encore de la constitution d'une théorie des probabilités physiques.

Les beaux travaux de L. Lévy-Bruhl ont montré combien la « mentalité primitive » demeure étrangère à l'idée de hasard. Sans doute ne sommes-nous pas encore renseignés suffisamment sur l'intelligence technique du primitif et sur la manière dont il se comporte à l'égard du fortuit dans la pratique des

actes quotidiens (dispersion des coups dans un tir à la flèche, etc.). Mais, dans la représentation de l'univers, rien ne se produit, fortuitement pour le primitif, parce que tout est manifestation directe ou symbolique des puissances occultes. L'accident, le malheur, la maladie, ne sont pas le produit de l'interférence de séquences causales indépendantes, c'est-à-dire, d'un mélange des objets ou de leurs actions, mais expriment sans plus une intention cachée et l'intervention de forces invisibles, tendues d'autant plus sûrement vers leurs fins. Or, il n'est pas besoin de longues analyses pour comprendre que, chez le primitif comme chez l'enfant, l'incompréhension du hasard tient à l'absence d'opérations réversibles. Pour admettre l'interférence de séries causales indépendantes, il faut, en effet, être capable d'élaborer de telles séries, et de les construire assez longues et complexes pour qu'elles puissent se dérouler indépendamment les unes des autres, jusqu'au point où elles se croisent sans raison intrinsèque. Or, la construction de séries satisfaisant à ces conditions suppose assurément la mise en œuvre d'opérations réversibles telles que la sériation temporelle, l'emboîtement des parties dans des totalités hiérarchisées, etc. Mais on sait précisément la résistance de la mentalité primitive à de telles opérations déductives : tant la logique de la participation que l'arithmétique des nombres « qualifiés », etc. sont des indices, suffisants d'un niveau purement intuitif et préopérateur de la pensée et l'on comprend alors que l'irréversibilité d'une telle structure intellectuelle exclue la construction des notions de hasard.

Dans la physique des présocratiques, qui témoigne, dès le départ, de compositions opératoires concrètes (les schèmes de la condensation et de la raréfaction, la conservation de la substance et l'atomisme qui en résulte, les compositions numériques et spatiales, etc.), les notions de l'irréversibilité et du mélange apparaissent corrélativement, et en fonction de ce progrès opératoire, comme le montrent les fragments d'Héraclite (« Tu ne peux pas descendre deux fois les mêmes fleuves, car de nouvelles eaux coulent toujours sur toi » et « l'un est composé de toutes choses ») ; mais chez lui comme chez tous les présocratiques cette reconnaissance de l'irréversible et du hasard est contrebalancée par les idées de compensations (les opposés en guerre sont complémentaires) et surtout de retour éternel (la grande année), c'est-à-dire par un ordre sous-jacent au sens d'un résidu des niveaux préopérateurs plus que d'une composition combinatoire.

Chez Aristote, le hasard est nettement consacré à titre de réalité objective (*τυχη*), mais c'est son indétermination qui en constitue le caractère principal, sans référence à une composition probabiliste. Le hasard est le type de l'effet sans cause finale, c'est-à-dire de l'accident, et, comme tel, il prend rang avec

les mouvements « violents » et les résistances de la matière à la forme, dans les phénomènes « contre-nature » qu'Aristote plaçait en marge de la physique au sens strict, alors qu'ils constituent l'essentiel de la physique contemporaine.

Quant à la physique moderne, il est fort intéressant de constater combien tardive a été l'introduction du probabilisme dans les domaines propres à la physique expérimentale et à la physique mathématique, par opposition aux mathématiques comme telles (calculs des probabilités). Dans un passage curieux, Cournot, dont le sens historique est pourtant rarement en défaut, attribue ce retard au hasard lui-même : « Il est seulement regrettable que le développement [de la théorie des jeux de hasard] soit venu si tard, dans des temps tout à fait modernes, et lorsque, en tant d'autres choses, l'esprit humain avait déjà son pli ou son parti pris. Ce retard même est un pur effet du hasard, puisque rien ne s'opposait à ce qu'un Grec de Cos ou d'Alexandrie eût, pour les spéculations sur les chances, le même goût que pour les spéculations sur les sections du cône ». ¹ En réalité, il fallait d'abord, pour que la notion du hasard pût être simplement reconnue, que les compositions opératoires fussent suffisamment assurées dans la pensée collective spontanée pour permettre la prise de conscience de ce qui constitue leur antithèse : c'est ce qui s'est produit avec les présocratiques et Aristote. Mais ensuite, pour que la notion du hasard pénétrât dans le domaine physique sous son aspect positif ou probabiliste, il fallait que l'instrument mathématique constitué par les compositions combinatoires fût déjà forgé. Or les Grecs ne considéraient pas l'Algèbre comme une science et concevaient la mathématique comme une contemplation d'êtres arithmétiques ou géométriques tout faits et nullement combinés. Il n'est donc pas fortuit que le probabilisme physique ait dû attendre les temps « très modernes » pour prendre corps et surtout qu'il ait été précédé par un probabilisme simplement algébrique, condition nécessaire de la compréhension du rôle du hasard dans les lois physiques.

Cela dit, nous constatons sans étonnement que la mécanique classique ne se prolonge encore en rien en une mécanique statistique. Et pourtant un Galilée, un Descartes, un Leibniz ou un Newton connaissent le hasard assurément mieux qu'Aristote. Mais ils le négligent comme lui, quoique pour d'autres

¹ A. A. COURNOT, *Matérialisme, Vitalisme, Rationalisme*, p. 229.

raisons. Pour Aristote le hasard est en dehors du champ de la physique « naturelle », parce qu'il ne relève pas directement de la finalité de la nature. Pour les fondateurs de la mécanique classique, le hasard n'a simplement pas d'intérêt ; pour cette seule raison qu'ils cherchent à réduire la nature à des mouvements élémentaires et réguliers, alors qu'un processus fortuit est essentiellement complexe et désordonné. On dit que Newton a découvert l'idée de gravitation en voyant tomber une pomme, mais il a d'emblée écarté du mouvement de cette pomme ses aspects aléatoires pour ne retenir que le rapport principal constitué par la pesanteur. Si la chute d'une pomme, d'une branche ou d'une feuille ne l'a pas conduit à méditer sur la complication indéfinie de tous les mouvements réels, et sur l'interférence des séries causales, c'est donc qu'il concevait le hasard comme un enchevêtrement sans intérêt en lui-même (ce qui est vrai à l'échelle considérée par la mécanique classique) de mouvements idéalement simples, seuls objets dignes de la réflexion scientifique. En fait, il a fallu attendre que, au XIX^e siècle, les résistances offertes à l'explication mécanique par la théorie cinétique des gaz et par l'étude de la chaleur imposassent les idées d'irréversibilité et de hasard pour que celles-ci acquièrent droit de cité dans la physique proprement dite.

Entre temps, comme bien souvent, les mathématiciens forgeaient sans s'en douter l'instrument indispensable à l'analyse des faits physiques de cette catégorie : en élaborant le calcul des combinaisons et des probabilités à l'occasion des jeux de hasard, Pascal en 1654, reprenant les travaux de Lucas Paciulo (1494), Fermat, Leibniz, Huyghens, puis Jean de Witt en 1671 (à propos des rentes viagères), Jacques Bernouilli (*Ars conjectandi*, 1713), Moivre (*Doctrine of Chances*, 1718) et bien d'autres ont habitué l'esprit à raisonner sous une forme combinatoire et probabiliste sur un terrain très restreint, il est vrai, du point de vue de l'application¹, mais très large du point de vue théorique.

Or, cet instrument mathématique une fois élaboré, il s'est trouvé des esprits pour comprendre — mais chose intéressante sur le plan de la physique théorique ou mathématique bien avant les applications à la physique expérimentale elle-même, — que la notion des combinaisons probables pouvait s'appli-

¹ En se limitant du moins au domaine scientifique, car, philosophiquement, le fameux « pari » de Pascal est de forme probabiliste. Par contre, dans les *Provinciales*, Pascal combat le probabilisme moral des jésuites, sans faire de rapprochement avec son probabilisme mathématique et religieux.

aux mélanges de particules et aux interférences de mouvements dont abonde la réalité matérielle. Alors que de tels brassages étaient considérés comme demeurant sans intérêt par la mécanique classique, tournée tout entière vers l'analyse du simple et de l'élémentaire, ils sont ainsi devenus, sous l'influence du calcul des combinaisons, objets de réflexion et d'analyse en eux-mêmes. C'est ainsi que, en 1738 déjà, s'inspirant à la fois du calcul des probabilités de Fermat et de la mécanique cartésienne, Daniel Bernouilli a montré dans son *Hydrodynamica* « quel instrument une théorie mécanique de la chaleur pourrait trouver dans la considération mathématique d'une multitude de chocs entre les molécules d'un gaz »¹. Mais ce n'étaient encore là que les spéculations d'un précurseur.

C'est par la théorie cinétique des gaz et surtout par l'analyse des rapports entre le mouvement et la chaleur que ces considérations théoriques ont pris pied dans la réalité expérimentale. L'analyse probabiliste de la réalité physique elle-même s'est, en effet, imposée parce que, avec le principe de Carnot-Clausius, la notion de mélange est apparue, non plus seulement comme impliquant une interférence de mouvements digne d'intérêt en tant que telle, mais comme aboutissant à un résultat qualitativement différent de celui des compositions mécaniques de mouvements simples : la propagation de la chaleur est en effet irréversible. C'est cette irréversibilité du mélange qui a consacré sa spécificité et son droit à une étude distincte et particulière, et dont la découverte a constitué ainsi le tournant décisif dans l'application du probabilisme à la physique.

On sait assez comment Sadi Carnot, dans ses *Réflexions sur la puissance motrice du feu* (1824) s'est posé le problème général de la production du mouvement par la chaleur et comment il a découvert, en s'appuyant sur l'impossibilité du mouvement perpétuel, que cette production n'est pas aussi simple que son inverse, mais qu'elle suppose l'intervention de deux sources au moins et d'une différence de chaleur entre elles (comparable à une différence de niveau). D'où la fameuse formule de Clausius, qui met en évidence l'irréversibilité propre à un tel processus : la chaleur ne passe pas d'un corps froid à un corps chaud. Or, le grand intérêt épistémologique de l'analyse de Clausius a consisté en ceci que, non seulement il a démontré la compatibilité du principe de Carnot avec celui de la con-

1 L. BRUNSCHVIGG, *L'expérience humaine et la causalité physique*, p. 371.

servation de l'énergie, mais encore il a démontré l'irréversibilité du processus de dégradation de l'énergie, c'est-à-dire d'augmentation de l'« entropie », au moyen de raisonnements fondés sur la réversibilité elle-même. Nous retrouvons donc ici un cas particulier de la loi qui semble générale dans l'évolution des notions probabilistes : de même que l'idée de hasard est née par antithèse à partir des notions opératoires (donc réversibles) et ne peut être pensée que par l'intermédiaire des opérations combinatoires (également réversibles), de même l'idée d'irréversibilité physique est née par antithèse à partir des notions mécaniques réversibles (impossibilité du mouvement perpétuel de deuxième espèce) et ne peut être pensée qu'au moyen d'opérations réversibles.

Clausius part, en effet, d'un cycle fermé pouvant être regardé comme la succession d'une infinité de modifications infiniment petites, et c'est au moyen d'un tel système réversible qu'il met en évidence, dans le cas des modifications thermiques, l'intervention nécessaire de « transformations non compensées » lorsque l'on fait passer le système d'un état à un autre. Les différences ainsi calculées caractérisent alors l'« entropie » du système, notion dont la connaissance ne dépend que de l'état initial et de l'état final. Mais, comme le dit très justement Duhem¹ : « Ainsi la modification réversible est *une suite d'états d'équilibre ; elle est essentiellement irréalisable*. Ce n'est jamais que par la pensée que l'on peut faire subir à un système une semblable modification ». Or, si cette notion de modification réversible est « assurément fort abstraite », ... « il est impossible de traiter la thermodynamique sans en faire un usage constant », Planck s'exprime dans un langage tout aussi catégorique : « Conformément à la définition primitive de Clausius, l'entropie se mesure par l'intermédiaire d'un certain cycle réversible. La faiblesse de cette définition consiste précisément dans le fait qu'il est absolument impossible de réaliser un phénomène rigoureusement réversible » : « il ne s'agit pas de processus réels exécutés par un physicien réel, mais seulement d'expériences idéales, purement imaginaires pour ainsi dire, que seul pourrait exécuter un physicien idéal ». Et Planck constate ensuite qu'en chimie physique les expériences « idéales » que l'on se permet sont encore bien plus aventureuses. Et pourtant « l'étonnant, dans ces conditions, c'est de voir les résultats expérimen-

1 P. DUHEM, *Introduction à la mécanique chimique*, 1893, p. 96.

taux confirmer, malgré tout, de telles audaces théoriques »¹ Bref, l'accroissement d'« entropie » ou modèle du processus physique irréversible a commencé par être calculée au moyen de systèmes idéaux réversibles.

C'est pour échapper à cette réversibilité physique « idéale » condition nécessaire de la compréhension de l'irréversibilité de fait, et pour dégager la raison effective de cette irréversibilité elle-même, que les successeurs de Clausius ont eu recours au probabilisme. Après que Maxwell et J. W. Gibbs eurent fondé la mécanique statistique en réduisant la thermodynamique à des questions de probabilité de chocs et de vitesses, Boltzmann conçoit l'augmentation de l'entropie comme un simple résultat des combinaisons et du mélange croissant des éléments : l'entropie devient ainsi proportionnelle au logarithme de la probabilité d'un système. Mais on voit immédiatement que, de cette manière, l'irréversibilité thermodynamique, tout en acquérant une entière intelligibilité à titre de marche orientée dans la direction des états les plus probables, n'est donc à nouveau assimilée par la raison que grâce, non plus à des cycles réversibles idéaux, mais à des opérations également réversibles et idéales, puisqu'il s'agit de combinaisons et de permutations.

Examinons à cet égard l'intéressante « explication de l'irréversibilité par les probabilités » que nous donne Ch. Eug. Guye². Une poudre composée de 10 grains blancs et de 10 grains noirs, d'abord alignés de manière à ce que les deux ensembles soient séparés, est secouée puis replacée de telle façon que les grains soient à nouveau alignés : la probabilité pour que l'on retrouve 10 grains noirs et 10 grains blancs en deux ensembles distincts est de $1/184.756$ seulement, c'est-à-dire que le mélange sous la forme d'une poudre grise est d'une probabilité très fortement supérieure au retour à un état semblable à l'état initial. « On comprend dès lors pourquoi le phénomène n'évolue que dans un sens, et la raison de son irréversibilité »³, nous dit Ch. Eug. Guye. Sans doute, mais cette irréversibilité fondée sur la probabilité n'est ainsi expliquée qu'à titre de cas particulier, ou de sous-classe particulière, d'un ensemble de permutations, donc de transformations ou d'opérations réversibles : en droit, donc en pensée, le système est réversible, c'est-à-dire qu'il suffira de 184.756 brassages, en moyenne, pour ramener

¹ *Initiations à la physique*, pp. 23-24.

² Ch. Eug. GUYE, *L'évolution physico-chimique*, p. 38.

³ *Ibid.*, p. 41.

une fois l'état initial ; mais, en fait, le mélange est irréversible puisque dans la réalité les états les plus probables l'emportent et les moins probables demeurent négligeables. Autrement dit, le système est à nouveau « idéalement réversible », bien qu'effectivement irréversible.

Notons enfin que, si la dégradation de l'énergie constitue un processus irréversible, il tend cependant vers un état réversible, puisque cet état final est un état d'équilibre, et qu'un équilibre se définit par sa réversibilité (les petites modifications demeurant possibles, une fois atteinte l'entropie maximum d'un système, sont, en effet, réversibles). En outre, le deuxième principe de la thermodynamique explique les équilibres chimiques : p. ex., la loi de l'action des masses repose à la fois sur ce principe et sur les lois des gaz ; de même les « déplacements d'équilibre », obéissant au principe de Le Châtelier, dépendent du principe de Carnot-Clausius. Or, il s'agit à nouveau de processus partiellement réversibles ou de réactions orientées dans le sens de la réversibilité.

Au total, les réalités physiques irréversibles se réduisent ainsi à des phénomènes de mélange, donc de hasard, mais le mélange lui-même n'est compréhensible qu'au moyen d'opérations réversibles, et l'irréversibilité, en tant qu'assimilée à une marche du moins au plus probable, s'accompagne toujours de réversibilité partielle.

§ 3. OPÉRATIONS RÉVERSIBLES ET RÉALITÉ IRRÉVERSIBLE : LE MÉLANGE ET LES NOTIONS DE TOTALITÉ NON-ADDITIVE ET D'HISTOIRE. — Il convient de chercher dès maintenant à dégager la leçon épistémologique que fournissent ces explications du mélange, ainsi que des états d'équilibre, fondées sur la marche vers le plus probable, car c'est de cette leçon que dépend la signification du probabilisme en général (y compris, comme nous le verrons tout à l'heure, la question de l'induction elle-même).

Comme nous venons de le constater, en effet, le processus du mélange progressif présente cette situation paradoxale de constituer le modèle des déroulements irréversibles et de s'expliquer par le moyen d'opérations qui, comme telles, sont rigoureusement réversibles. Dans l'exemple de l'alignement des dix grains noirs et des dix grains blancs, nous voyons ainsi le phénomène réel s'orienter de la façon la plus probable vers le mélange donnant l'impression d'une poudre grise, et cependant la démonstration de cette irréversibilité probable est fon-

dée par Ch. Eug. Guye sur un système de permutations, c'est-à-dire d'opérations réversibles formant entre elles un « groupe » opératoire bien connu. Comment expliquer cette union, et surtout cet accord de l'opération réversible et du réel irréversible ?

Chaque secousse communiquée au dispositif provoque d'abord, il va de soi, un mouvement général des vingt grains, tel que chacune des trajectoires envisagée isolément est compliquée par une série de chocs et de déviations que l'opération n'exprime pas en eux-mêmes ; mais le résultat de ces déplacements peut être dissocié de ceux-ci et c'est lui que traduisent de façon parfaitement adéquate les opérations de permutation, lesquelles décrivent les changements de positions des grains de l'une des couleurs par rapport à ceux de l'autre. Ce n'est donc pas sur l'une quelconque des opérations envisagées isolément, que porte la différence entre le mécanisme opératoire réversible et le mélange irréversible. Par contre, la suite des modifications réelles, exprimables cependant chacune par une opération adéquate, met en évidence une opposition essentielle par rapport aux transformations opératoires. Dira-t-on que cette opposition tient au fait que les opérations de permutation sont effectuées systématiquement par le mathématicien qui les déduit tandis que les changements de position réels correspondant à ces opérations, dans le mélange lui-même, se déroulent sans ordre, au hasard et à la manière de tirages au sort ? Cette différence ne suffit pas à elle seule, puisque deux permutations quelconques donnent encore une permutation de l'ensemble : l'ordre suivi n'importe donc pas, d'autant plus que, les permutations étant associatives, elles peuvent toujours aboutir au même résultat par des voies différentes. Par contre, une seconde différence constitue, jointe à la première, une opposition fondamentale. Le calcul des permutations n'est réversible et ne constitue un « groupe » qu'à la condition d'être complet, c'est-à-dire, de porter sur l'ensemble de toutes les permutations possibles pour un système considéré ; au contraire, les modifications effectives de l'ordre des grains ne constituent que quelques réalisations particulières parmi l'ensemble de ces possibilités (et c'est précisément ce rapport entre les réalisations envisagées et l'ensemble des transformations possibles qui définit la probabilité). C'est donc le caractère incomplet de permutations réelles tirées au sort parmi l'ensemble des permutations possibles qui constitue la différence principale entre le mélange irréversible et la suite des permutations ordonnées formant le « groupe » des opérations réversibles correspondantes.

Reprenons de ce point de vue la comparaison souvent faite entre le mouvement des liquides tendant vers un même niveau dans un système de vases communiquants et l'égalisation des températures entre un corps chaud et un corps froid. On sait qu'« une énergétique portée aux généralisations trop hâtives », comme dit Planck ¹ a voulu confondre ces deux phénomènes et les expliquer par un seul « principe de devenir ». Or, en fait, ils sont bien différents, car le niveau de l'eau oscille autour de son point d'équilibre avec une vitesse *maximum*, tandis que les températures tendent vers l'égalité avec une vitesse toujours plus faible ; et surtout le premier de ces deux phénomènes est réversible (en supprimant toute perte d'énergie sous forme de résistance de l'air et de frottements, le liquide oscillerait indéfiniment, autour de sa position d'équilibre), tandis que le second est irréversible, c'est-à-dire, en définitive, que « si le liquide coule d'un niveau supérieur à un niveau inférieur, c'est là une nécessité, tandis que si la chaleur passe d'une température élevée à une autre plus basse, ce n'est qu'une probabilité » ², Quelle est donc la différence, en cet exemple, entre la réversibilité nécessaire et l'irréversibilité probable ?

Les oscillations du niveau du liquide sont réversibles parce que les rapports en jeu (déplacements du liquide déterminés par les formes régulières des récipients et composition des forces de pesanteur), sont simples et peu nombreux et peuvent ainsi être groupés en équations auxquelles ils correspondent complètement : or, celles-ci se réduisent elles-mêmes à des opérations réversibles. S'il s'agissait de déterminer les mouvements de chaque molécule d'eau, il en serait, cela va de soi, tout autrement et l'on retomberait dans un système de combinaisons probables, mais comme l'eau est envisagée globalement, à titre d'objet unique, et que les mouvements d'ensemble de cet objet total sont déterminés du dehors par la pesanteur et la forme des récipients, et non pas par les divers mouvements internes et interférents des molécules elles-mêmes, ce sont ces rapports d'ensemble qui donnent prise, comme tels, aux mises en relations et aux opérations réversibles. Par contre, dans le cas de la chaleur, où l'équilibre est fonction du mélange interne progressif, caractérisé par sa probabilité, le système des mouvements et permutations élémentaires en jeu, qui commande cette fois le processus global au lieu d'en demeurer indépendant, représente un nombre immense d'opérations possibles : et ces opérations supposeraient, pour être effectuées de manière complète, un temps se chiffrant par années-lumière (songeons aux 184.756 permutations nécessaires pour départager 10 grains noirs et 10 grains blancs) : les transformations effectives ne constituent alors qu'une très petite fraction des opé-

1 *Introduction à la physique*, p. 56.

2 PLANCK, *ibid.*, p. 56.

rations possibles, et, si celles-ci sont à coup sûr réversibles en y mettant le nombre et le temps voulus, celles-là demeurent irréversibles par leur caractère incomplet lui-même. Etant peu nombreuses, par rapport aux transformations possibles, les modifications réelles se produiront en effet, à l'intérieur des classes les plus probables, et c'est cette limitation seule qui explique leur réversibilité.

Bref, les opérations sont réversibles parce qu'elles embrassent tout le possible, tandis que le réel est irréversible dans la mesure où il n'est qu'un tirage au sort parmi ces possibilités. Là où le réel est constitué, à l'échelle macroscopique, par des objets globaux soutenant entre eux un nombre de rapports voisin de celui qui est prévu par le système des opérations (autrement dit où la structure de ces objets correspond aux lignes idéales de l'action que nous pouvons exercer sur eux), la réalité elle-même se présente sous une forme approximativement réversible. Mais là où le réel se complique en un détail qui échappe à toute action isolable de notre part, le mélange qu'il constitue par rapport aux opérations combinatoires ne représente qu'une fraction minime de ces combinaisons possibles et ce genre de réalité demeure irréversible.

On pourrait ajouter, mais cette seconde manière d'exprimer les choses équivaut à la première, que les opérations expriment tout le possible sous forme de rapports simultanés ou plutôt extemporanés (lorsqu'elles ne sont pas exécutées matériellement une à une comme nous le supposons tout à l'heure, mais qu'elles sont condensées en formules logiques ou mathématiques), tandis que les tirages au sort constituant le réel sont nécessairement partiels parce que successifs, et excluent par conséquent la possibilité de rencontrer qui ne se produiront plus jamais. C'est ainsi que, dans un mélange, chaque choc entre éléments donne lieu à des déviations de trajectoires : or ces trajectoires, même déviées, sont en principe réversibles, en ce sens que l'on pourrait faire rebrousser chemin à une molécule et inverser son choc avec une autre, etc. Seulement, si l'on parvenait à faire revenir sur elle-même, par un dispositif approprié, l'une de ces molécules, l'autre serait déjà chassée depuis longtemps par de nouvelles rencontres excluant le retour des anciennes. Ici à nouveau, les tirages au sort propres au réel n'épuisent donc pas le possible, parce que celui-ci est extemporané tandis que ceux-là sont successifs et constituant une durée à cause de leur fragmentation même (la durée ther-

modynamique se définissant d'ailleurs précisément par ces caractères d'irréversibilités dus aux brassages successifs).

De cette explication de l'irréversibilité, propre au mélange, par les limitations du réel eu égard aux opérations combinatoires possibles, on peut en outre tirer une interprétation de ce qui constitue l'une des différences les plus importantes, au point de vue de certaines épistémologies contemporaines, entre les divers systèmes naturels. Il existe, en effet, des systèmes à composition dite additive, tels que la somme des parties ou des opérations élémentaires, soit identiquement égale à la totalité du système¹. Ces systèmes expriment alors de près ou de loin la structure d'un groupe d'opérations réversibles. Mais il existe aussi des systèmes à composition dite non additive, tels que la totalité contienne plus que la somme des éléments, ce qui les rend irréductibles à une structure de groupe. P. ex., en microphysique, l'énergie totale E d'un système dont les deux parties constituantes ont une énergie E_1 et E_2 sera $E = E_1 + E_2 + \varepsilon$ où ε est l'énergie d'échange qui se surajoute, aux énergies constituantes. Dans la répartition d'une charge électrique en un conducteur homogène et isolé, de même, la distribution des charges est telle que chaque charge particulière est modifiée par l'ensemble : la soustraction d'une partie conduira donc à un remaniement général du tout. Or, il est clair que si la composition additive traduit le caractère réversible d'un système de transformations bien groupées, l'existence de totalités distinctes de la somme des parties, qui caractérise les compositions non additives, exprime au contraire le caractère simplement probable et irréversible de ces systèmes. En effet, c'est dans la mesure où les modifications d'un système constituent des transformations probables que la composition du tout est non-additive, parce que le tout résulte en ce cas de la multiplication des probabilités : la totalité du système ne peut pas alors consister en une simple addition des parties, puisque la détermination de celles-ci est fournie elle-même par un rapport entre chacune d'elles et non pas le tout observé réellement, mais la totalité des cas possibles. C'est pourquoi partout où il y a mélange, diffusion, frottement, etc. la configuration du tout est à la fois incomposable à partir des éléments et caractérisée par des qualités d'ensemble irréductibles puisqu'essentiellement statistiques. Cela n'est pas seulement vrai du monde physique,

¹ Ce qui n'implique nullement que ces éléments puissent exister à l'état isolé : p. ex. la suite des nombres ou un emboîtement de classes.

mais le fait se retrouve en biologie, en psychologie et en sociologie, et a donné lieu aux interprétations les plus variées (et non toujours probabilistes), jusqu'à la moderne « théorie de la Gestalt »¹.

Mais il y a plus. Dans la mesure où l'équilibre d'un système résulte d'une composition additive et exprime par conséquent la structure réversible d'un groupe d'opérations, les conditions de cet équilibre sont permanentes. Au contraire, dans la mesure où l'équilibre d'un système résulte d'une composition non-additive, c'est-à-dire donc simplement probable (ce qui revient à dire incomplète, si l'on admet ce qui précède), la forme de cet équilibre, tout en constituant un état partiellement ou provisoirement réversible, n'est jamais que momentanée et l'intervention de facteurs nouveaux entraîne ce qu'on appelle des « déplacements d'équilibre », c'est-à-dire que le nouvel équilibre est régi par des conditions différentes de celles du précédent. Or, de tels déplacements d'équilibre sont régis par un principe célèbre, appelé principe de Le Châtelier, que l'on peut énoncer comme suit : « lorsque varie l'un des facteurs dont dépend l'équilibre stable d'un système, la variation de ce facteur a pour effet d'engendrer une modification qui tend précisément à annuler l'effet de ce changement »². En d'autres termes, s'il n'y a pas alors réversibilité complète, il y a néanmoins réversibilité partielle, ce que signifie précisément le fait que le système tend vers un nouvel équilibre ; mais cette tendance ne suffit pas à maintenir un équilibre permanent (à assurer le retour à la forme initiale de l'équilibre) parce que la réversibilité n'est pas complète, et elle ne l'est pas à cause précisément de la nature simplement probable des processus en jeu, par opposition à un mécanisme opératoire entièrement déterminé.

Ceci nous conduit à l'examen d'une notion qui est fondamentale dans les domaines régis par la probabilité, et qui, tout en jouant déjà un rôle appréciable au sein des sciences physiques, prendra une ampleur toujours plus grande sur les terrains biologiques et psycho-sociologiques : la notion d'histoire. Cournot, qui en a fait l'un des pivots de son système, a bien vu

¹ Voir W. KÖHLER, *Die physischen Gestalten in Ruhe und im stationären Zustand* ; Erlangen, 1920, et la discussion de la théorie de la Forme que nous avons esquissée plus haut (chap. II § 3).

² P. ex. si l'on étire une barre métallique par traction, elle se refroidit : ce refroidissement tend alors à produire une contraction qui s'opposera à l'allongement de la barre.

qu'une « histoire » est à situer à mi-chemin du hasard et de la détermination. Un mécanisme entièrement déterminé, tel que les mouvements des planètes autour du soleil, ne constitue pas une histoire, mais un déroulement causal simple. Une succession purement fortuite, comme une suite de tirages au sort effectués en une collection de boules noires et blanches ne constitue pas non plus une histoire, puisque chaque événement y est indépendant des précédents et des suivants. Il y a histoire, par contre, lorsque les événements, tout en dépendant en partie les uns des autres comme dans le premier de ces systèmes, sont en partie fortuits à cause de l'entrecroisement des séries causales.

Dans le langage que nous avons adopté, cela revient donc à dire qu'une histoire est un compromis entre certaines transformations réversibles et un certain mélange irréversible. Un des meilleurs exemples que l'on peut fournir d'une vraie histoire, dans le domaine physico-chimique, est la succession d'événements géologiques, telle que l'histoire d'une chaîne alpine ou d'une cordillère, déroulement dont le modèle a été magistralement donné par E. Argand sous le nom d'« embryologie alpine ». Au point de départ de la formation des Alpes se trouve, en effet, le rapprochement de l'Afrique et de l'Europe, selon la théorie de la « dérive des continents » de Wegener, laquelle s'appuie elle-même sur l'existence de phénomènes mécaniques tels que les mouvements de solides sur des masses fluides en rotation¹, c'est-à-dire sur des processus idéalement réversibles. Mais les sédiments de la Thétys (ou ancienne Méditerranée) ainsi comprimée, rejetés en une nappe continue déferlant sur les rives européennes, y ont pris une configuration déterminée, du fait de la rencontre fortuite de ces vagues avec des socles antérieurs datant des formations hercyniennes (massifs du Pelvoux, du Mont-Blanc, de l'Aar, etc.). D'autre part, l'enchevêtrement croissant des nappes de charriage, quoique le mouvement de celles-ci obéisse également à des lois mécaniques bien déterminées, fait une nouvelle part au hasard. Puis le métamorphisme des roches, selon les contacts fortuits (digestion des calcaires par l'acide silicique, etc.) et enfin l'érosion introduisent de nouvelles combinaisons entre des processus bien réglés et des mélanges imprévisibles. Au total une histoire comme celle des Alpes est donc caractérisée à la fois par une ligne d'ensemble clairement dessinée, et en partie déductible, et par un inextricable entrecroisement de

¹ Phénomène dont R. Wavre a fourni les équations. Voir R. WAVRE, *Figures planétaires et géodésie*, Paris (Gauthier-Villars), 1932 (notamment p. 184 et seq.).

détail, dont on ne peut que fournir la narration en reconstituant un à un les événements, avec cependant certaines généralisations fondées sur leur probabilité plus ou moins grande.

Selon que prédomine ainsi en une histoire certains éléments déterminés et réversibles ou le mélange fortuit, on peut distinguer différents types de déroulements historiques. Mais, il est à remarquer que ces déroulements se rapprochent d'autant plus du modèle des « évolutions dirigées » que prédomine soit le mélange pur envisagé globalement (comme dans le cas de la dégradation de l'énergie ou accroissement de l'entropie), soit le facteur réversible ou opératoire (comme dans l'histoire des nébuleuses, dominée par les lois gravitationnelles ou dans certains développements biologiques ou psycho-sociologiques, comme celui de l'intelligence caractérisé par une réversibilité progressive des conduites). Une « histoire » au sens strict du mot (comme l'histoire de la terre ou des Alpes), est donc à situer encore entre ces deux extrêmes.

Or, on aperçoit d'emblée l'importance considérable de ces diverses notions de mélange irréversible, de totalité à composition non-additive, de déplacement d'équilibre et d'histoire, quant au mécanisme de la connaissance et notamment à celui du raisonnement lui-même. On peut, en effet, déduire un système à composition additive et réversible, tandis qu'une histoire ne se déduit pas, puisqu'elle est composée d'événements qui ne se répètent pas. On peut déduire en partie un phénomène statistique, lorsque l'analyse de tous les cas possibles et l'intervention des grands nombres assurent une détermination suffisamment précise de probabilités élevées, mais on le peut de moins en moins à mesure que l'on se rapproche du détail. Les diverses notions que nous venons de rappeler sont donc solidaires les unes des autres, du point de vue de la connaissance comme de celui de la réalité elle-même, par le fait que leur caractère commun est de recouvrir des modes de composition incomplètes. Un mélange progressif implique, en effet, une composition non-additive faute de réalisation entière de l'ensemble des combinaisons possibles, cette irréversibilité entraîne l'intervention de déplacements d'équilibre et d'un déroulement historique, faute à nouveau de cette composition complète que seules assurent les transformations réversibles. Il s'ensuit qu'en tous les domaines la déduction demeure partiellement en échec. Il est, en effet, évident que la déduction sera d'autant plus légitime que les mécanismes sur lesquels elle porte se rapproche-

ront davantage d'un système complet de transformations possibles, et qu'elle le sera d'autant moins qu'ils consisteront en mélanges ou en déroulements historiques, c'est-à-dire, en tirages au sort incomplets par rapport à tout le possible. Quel est alors le mode de pensée cherchant à atteindre le réel en cette frange si importante, située entre le fait contingent et les transformations composites sur le modèle des opérations réversibles ? C'est le problème de l'induction que le probabilisme soulève ainsi nécessairement et qu'il met au centre de toute l'épistémologie physique.

§ 4. LES PROBLÈMES DE L'INDUCTION EXPÉRIMENTALE. — Plusieurs théoriciens de la pensée scientifique ne prononcent plus le mot d'induction, et un physicien déclarait récemment que, s'il avait appris sur les bancs du lycée l'existence d'une telle induction, il ne s'en était plus jamais servi depuis : la déduction mathématique et l'expérience fournissant les mesures, tels seraient les deux seuls instruments de la pensée physique. Le problème du hasard complique cependant les choses, car, s'il est évident qu'il existe une théorie mathématique des probabilités et qu'elle est entièrement déductive, son application au réel présente cependant une signification différente de celle d'autres structures formelles : la déduction ordinaire fournit aux faits leur forme (p. ex. l'accélération uniforme pour la chute des corps), tandis que l'analyse probabiliste détermine leur degré de constance (elle permettra p. ex. de considérer comme fortuits des mouvements de chute non uniformément accélérés et d'établir que la courbe des dispersions est précisément centrée sur cette accélération uniforme). Sans doute cette détermination des probabilités aboutit-elle aussi à des formes (la forme des courbes de dispersion ou celles des fonctions aléatoires, etc.), mais le problème est cependant autre, puisqu'il s'agit alors de dissocier, au sein d'un mélange de séquences multiples, l'invariant du fortuit. Du fait même que la réalité physique constitue un agrégat complexe, où les lois ne sont jamais données à l'état simple, mais interfèrent à des degrés divers, et où des domaines entiers sont dominés par le hasard sans même que l'on sache d'avance si de telles lois simples existent sous le fortuit, la recherche expérimentale suppose nécessairement deux temps : d'abord un passage des faits à la loi, au cours duquel le problème essentiel est alors précisément d'isoler certains rapports (constants ou probables) parmi l'ensemble enchevêtré des données, et ensuite seulement

une structuration ou mise en forme des lois les unes par rapport aux autres. Si chacun s'accorde à appeler déduction cette seconde étape, ou étape supérieure du travail d'interprétation propre au physicien, on peut conserver le terme d'induction pour désigner l'étape préliminaire : l'induction serait donc, le passage des faits aux lois, ou, si l'on préfère (car il n'existe aucune différence de nature entre les faits et les lois), l'établissement des faits eux-mêmes, en leurs généralités respectives.

Mais alors, si l'induction n'est ainsi que ce qui précède et prépare la déduction elle-même, la question préalable est de savoir si l'induction est un raisonnement ou simplement une méthode ; et, en ce second cas, si tout ne serait pas, en définitive, déduction, sauf à distinguer une déduction portant sur les faits et une déduction théorique ou abstraite. C'est en quoi l'on peut douter légitimement aujourd'hui de l'utilité de parler d'induction : le premier des problèmes de l'induction est tout au moins de savoir si l'induction existe.

On sait qu'il n'en a pas toujours été ainsi et que la logique classique distinguait deux classes complémentaires de raisonnements, les uns procédant du général au particulier, ou, comme on dit actuellement, au singulier (déduction) et les autres du singulier au général (induction). Mais cette fausse symétrie a dû être abandonnée. La première difficulté est que tous les raisonnements généralisateurs sont loin d'être inductifs, puisque le raisonnement mathématique, qui est le modèle de la déduction, procède à l'ordinaire du singulier au général, ou du plus spécial au plus général. Poincaré, il est vrai, est resté fidèle à la terminologie traditionnelle, mais, pour distinguer l'induction mathématique de l'induction expérimentale, il a qualifié, selon l'usage, la première de « complète » : or, cette distinction est hautement significative et fait entrevoir que, si l'induction complète est en réalité une déduction, l'induction proprement dite pourrait bien n'être qu'une déduction incomplète. C'est ainsi que Whewell, Couturat, Goblot, etc., se refusent à appeler induction quelque raisonnement rigoureux que ce soit, ce qui revient à réserver ce terme pour les raisonnements dont la conclusion n'est que probable. Mais, indépendamment des questions d'usage sur lesquelles insiste A. Lalande¹ le caractère simplement probable des conclusions d'un raisonnement ne suffit pas à exclure sa nature déductive, et la logistique contemporaine a

¹ A. LALANDE, *Les théories de l'induction et de l'expérimentation*, p. 14.

construit, avec Reichenbach et d'autres, des modèles « polyvalents » pour situer le raisonnement probabiliste sur un plan déductif comparable à celui de la déduction « bivalente » (ne connaissant que le vrai et le faux). Ainsi l'analyse de l'induction, à titre de raisonnement proprement dit, complémentaire de la déduction, a fini par abolir la dualité au profit de cette dernière.

Renonçant alors à parler de l'induction comme d'un raisonnement spécifique, on en a fait une méthode : méthode qui consiste à s'appuyer sur les données expérimentales pour remédier aux insuffisances de la déduction. Mais une méthode englobe elle-même des raisonnements et ceux-ci, en dernière analyse, se réduisent toujours à de la déduction. En effet, lorsque la déduction pure est impossible, et que le recours à l'expérience sert de support au raisonnement d'ensemble, ce recours lui-même implique des raisonnements spécialisés qui sont encore des déductions.

Faut-il donc donner raison à ceux qui suppriment le terme d'induction du vocabulaire logique et épistémologique ? Deux motifs corrélatifs l'empêchent, semble-t-il, et conduisent à laisser le problème que recouvre ce terme au centre de l'épistémologie génétique de la physique. Le premier de ces motifs tient au développement même de la pensée en présence de chaque réalité nouvelle à dominer : s'il est clair que tout raisonnement achevé est toujours nécessairement déductif, il n'en subsiste pas moins que la déduction est rarement possible de façon immédiate et sans un travail d'élaboration préalable ou de préparation même. En effet, pour pouvoir déduire, il faut être en possession de notions ou de schèmes opératoires déjà construits, et leur construction comme telle ne consiste pas en un processus déductif puisqu'il s'agit au contraire de les organiser par approximations et tâtonnements successifs jusqu'à rendre possible leur libre composition, c'est-à-dire la déduction finale. Or, c'est précisément ce travail d'organisation ou de construction des concepts et des relations qui caractérise l'induction, et c'est ce qu'a bien montré Dorolle dans son petit et substantiel ouvrage sur « Les problèmes de l'Induction ». De ce point de vue, la déduction commence lorsque l'on peut poser que A implique B, ou que si A implique B, il implique aussi C, tandis que l'induction consiste à chercher quelles données peuvent être mises en rapport avec d'autres pour que de telles implications soient susceptibles d'être établies entre les concepts ainsi construits.

En second lieu — et ce second motif ne fait qu'un, génétiquement parlant, avec le premier — le problème de l'induction prend un sens dès que l'on se place sur le terrain des totalités opératoires. La véritable raison des ambiguïtés qui ont obscurci la théorie de l'induction tient sans doute au fait que la logique classique est atomistique et qu'elle a décrit les concepts, jugements et raisonnements comme des unités isolées au lieu de faire porter l'analyse sur les systèmes opératoires d'ensemble. Or, c'est à partir seulement du moment où ces systèmes sont entièrement articulés, sous une forme cohérente achevée, que l'on peut en extraire certaines articulations pour en faire des prototypes de raisonnements déductifs, telles les figures du syllogisme ou celles des relations généalogiques, etc. Si l'induction ne constitue pas un mode de raisonnement parmi les autres, mais une méthode, il faut donc chercher à la comparer, non pas à ces raisonnements déductifs isolables, mais aux systèmes opératoires d'ensemble dont ils sont extraits. Le problème de l'induction se posera alors comme suit : existe-t-il des systèmes d'ensemble, fermés sur eux-mêmes, indéfiniment composables et réversibles, caractérisant l'induction comme la déduction ? Ou bien, au contraire, la méthode inductive ne se traduit-elle que sous forme de systèmes incomplets et ouverts, préparant la déduction ou lui suppléant en cas d'impossibilité de construire des systèmes du premier type ?

Posé en ces termes, le problème de l'induction est susceptible de recevoir une solution claire, du double point de vue de l'analyse génétique ou historico-critique et de celle des méthodes des sciences expérimentales dans les phases d'organisation des recherches et de découverte. D'une part, l'induction ne comporte pas de systèmes opératoires d'ensemble achevés et fermés, comparables à ceux qui permettent l'exercice de la déduction. Mais d'autre part, l'induction n'est possible que lorsque de tels modèles déductifs existent déjà et peuvent servir de guides à la recherche. L'induction est donc l'ensemble des procédés de pensée qui tendent à organiser les données d'observation ou d'expérience, c'est-à-dire à les classer sous forme de concepts susceptibles d'emboîtements hiérarchiques et à les mettre en relations logiques ou mathématiques susceptibles de constituer des systèmes entièrement composables. Ou bien alors l'induction réussit dans ces tentatives et elle cède en ce cas progressivement le pas à la déduction, ou bien elle échoue, faute de pouvoir dissocier l'invariant du fortuit, et elle en demeure à des systèmes quasi-déductifs, mais inachevés

faute de composition complète. Dans les deux cas l'induction consiste donc en un groupement incomplet, soit qu'il prépare un système déductif soit qu'il y supplée ; mais il n'existe pas de différence entre les éléments logiques de la coordination inductive et ceux des systèmes déductifs, la seule opposition tenant au caractère incomplet ou complet de la totalité opératoire.

Du point de vue psychogénétique, il faut distinguer soigneusement deux périodes intéressant la formation de l'induction et ses rapports avec les groupements ou les groupes déductifs : 1° La période antérieure à la construction de ces systèmes opératoires, donc antérieure à toute déduction, même fondée sur les opérations concrètes : on ne saurait alors distinguer l'induction de la déduction, puisqu'il n'existe pas encore de déduction achevée et que tout travail constructif de la pensée présente un caractère indifférencié, à la fois empirique et semi-opératoire ; 2° la période, (débutant à 7-8 ans), à partir de laquelle les structures opératoires de caractère déductif sont formées (structures d'abord concrètes, puis dès 11-12 ans formelles) : de tels systèmes achevés servant alors de modèles, l'esprit cherche à structurer plus activement les données expérimentales nouvelles qui s'offrent à lui, et l'induction se différencie ainsi de la déduction en se développant sous forme de procédés inspirés par cette dernière, mais spécialisés en fonction des résistances imprévues du réel.

Au cours de la première période, un certain nombre de constatations intéressantes peuvent être faites quant à la lecture même des données de l'expérience, et aux conditions de la soumission de l'esprit à leur égard. Faute d'opérations déductives, toute construction intellectuelle consiste, à ce niveau, à structurer les faits d'expérience, donc à s'appuyer sur les données pour en tirer des formes. Mais, comme nous l'avons vu sans cesse au cours des chap. I à V, il existe deux sortes d'expériences, bien que toujours mêlées à des degrés divers : il y a l'expérience que le sujet fait sur ses propres actions, et qui lui permet de découvrir les coordinations logico-mathématiques de celles-ci, et il y a l'expérience faite sur les choses elles-mêmes, laquelle conduit à abstraire leurs propriétés physiques. Or, durant la période que nous examinons maintenant, ce sont les premières de ces deux catégories d'expérience qui sont conduites activement et systématiquement, les secondes demeurant occasionnelles et beaucoup plus passives. De plus, comme les expériences de ce premier type portent précisément sur les formes d'action les plus générales qui préparent les futures coordinations déductives, il va de soi que les conduites intermédiaires entre l'induction et la déduction caractérisant de telles expériences aboutiront beaucoup plus directement et plus

rapidement à la déduction elle-même que ce n'est le cas pour les expériences du second type. Nous en avons vu un exemple au chap. III § 7, à propos de trois objets ordonnés ABC, traversés par une tige de métal que l'on fait tourner de 180° : c'est par l'expérience que l'enfant découvre l'inversion de ABC en CBA, et surtout qu'il découvre que l'élément B ne sortira jamais en tête malgré un nombre croissant de rotations. Mais, s'il n'y a donc pas encore déduction, on ne saurait parler non plus d'induction en ce cas : il y a simplement indifférenciation entre les deux, faute précisément de tout modèle déductif d'une part, susceptible de servir de guide à une recherche inductive, et faute de posséder, d'autre part, une notion suffisante du hasard pour pouvoir distinguer l'invariant du fortuit. C'est ainsi que l'enfant réagit aux divers types d'ordres successivement constatés, lors de la rotation de la tige, de la même manière qu'il réagit aux tirages au sort, en présence des dispositifs décrits au § 1 de ce chapitre : il cherche à deviner au moyen de jugements dont la modalité demeure à mi-chemin du possible et du nécessaire, mais sans critère logique ou objectif (il s'attend p. ex. à ce que l'élément B sorte en tête « parce que c'est son tour », etc.). Par contre, dès 7-8 ans, la prise de contact avec ces mêmes données expérimentales, relatives à l'ordre, donne lieu à une déduction immédiate, et cela avec le sentiment d'une opposition entière par rapport aux permutations fortuites d'un jeu de hasard.

Si nous passons maintenant de ce type d'expérience portant sur la coordination des actions propres du sujet (et préparant par conséquent directement la déduction) aux premières expériences proprement physiques, c'est-à-dire aux prises de contact entre l'intelligence de l'enfant et le fait objectif dont il s'agit d'abstraire certains caractères, nous constatons que la manière dont le sujet enregistre des données de l'expérience et les interprète par approximations successives et tâtonnantes fournit une toute autre image, nous rapprochant davantage de l'induction. Deux faits frappants s'observent, en effet, durant toute la période préopératoire du développement : la passivité du sujet à l'égard de l'expérience, et surtout la difficulté systématique à effectuer une simple lecture objective des données expérimentales (d'où il découle naturellement que la nécessité de procédés inductifs appropriés sera d'autant plus grande par la suite, et même bien plus grande qu'on ne le croit généralement, pour arriver à sortir de cet état initial). La passivité à l'égard de l'expérience, tout d'abord, s'explique par un mécanisme qui est fondamental non seulement pour l'étude de la pensée inductive mais pour la compréhension du rapport épistémologique général du sujet et de l'objet : c'est que, la tendance dominante de l'esprit étant d'assimiler toute réalité nouvelle à des schèmes antérieurs, l'accommodation à la nouveauté

se réduit au début à une modification *minimum* de ces schèmes. Il s'ensuit alors, lorsque, les schèmes antérieurs sont insuffisants pour permettre une accommodation précise aux données nouvelles, une sorte d'incapacité à la lecture même et *a fortiori* à l'interprétation de l'expérience, faute d'instruments adéquats d'enregistrement mental. Or cette absence d'instruments permettant une assimilation adaptée tient précisément au défaut de toute déduction possible, soit logique, soit mathématique. Du point de vue logique la chose se marque, en particulier, au fait que le sujet n'arrive pas à admettre qu'une donnée nouvelle exclue une hypothèse antérieure, ou qu'une exception suffise à tenir en échec la généralité attribuée à une règle ; c'est donc faute d'instrument déductif, même qualitatif, que l'induction est alors impossible : déjà la lecture comme telle des faits puis l'interprétation sont faussées, parce que le sujet ne parvient pas à distinguer, même au cours, de cette lecture, le « tous » et le « quelques », et qu'il demeure donc ensuite incapable de généralisation cohérente. Du point de vue mathématique, d'autre part, la lecture des données supposerait un ensemble de mises en relations spatiales ou numériques qui sont également inaccessibles, faute de construction déductive.

Nous avons, par exemple, analysé l'induction progressive de cette loi élémentaire selon laquelle le niveau de l'eau contenue dans un bocal demeure horizontal, quelle que soit la position, verticale ou inclinée, de ce récipient. On observe en ce cas les réactions suivantes¹. 1° Les sujets les plus jeunes ne parviennent pas à la constatation du fait lui-même, ni par le moyen de points de repère marqués sur les bocaux, ou de règles permettant de contrôler la constance d'orientation du niveau, ni par le moyen de dessins appropriés : ils s'imaginent que l'eau s'inclinera avec le bocal et croient effectivement *voir* des inclinaisons variées. 2° Au cours d'une seconde étape ils font la même prévision, mais reconnaissent ensuite le désaccord avec la donnée observée. Seulement ils se refusent à en induire quoi que ce soit en ce qui concerne les expériences suivantes et ne considèrent pas qu'un échec suffise à infirmer leur schème d'interprétation (inclinaisons parallèles à la base du bocal, etc.). 3° On observe dans la suite une sorte de transfert pratique, encore distinct de la généralisation logique et consistant simplement à prévoir, pour des raisons d'économie, la répétition des mêmes faits et l'application partielle des mêmes rapports à des inclinaisons légèrement différentes. 4° Enfin, mais seulement vers 7-8 ans, c'est-à-dire à la fin de la période que nous examinons maintenant, l'enfant, sans prévoir l'horizontalité du liquide lors de la première expérience, généralise immédiatement son observation aux essais suivants.

¹ PIAGET et INHELDER, *La représentation de l'espace chez l'enfant*, Paris (p. U. F.), chap. XIII.

Ces réactions instructives nous enseignent d'abord que, pour parvenir à la lecture même des faits, le sujet doit être en possession de schèmes permettant de les assimiler, non pas encore dans le sens d'une assimilation explicative, mais d'une simple reconnaissance du fait à titre de donnée. C'est ainsi que les petits, n'étant pas encore en possession d'un espace structuré selon un système de coordonnées stables, ni perceptif ni intellectuel (voir chap. II § 7), la constatation même de l'horizontalité reste impossible, puisque perceptivement la différence demeure grossière, pour eux, entre une horizontale et une oblique, et que, intellectuellement, ils ne comprennent pas le rôle de l'horizontale et de la verticale dans la coordination des positions (comme en témoignent clairement leurs dessins). Le second enseignement à tirer de ces observations est que, pour relier une donnée perçue aux suivantes (et c'est en cette mise en relations même que consiste essentiellement la généralisation inductive), il faut être en possession de modèles déductifs : tant que les groupements opératoires ne sont pas construits sur le terrain de la coordination même (logico-mathématique) des actions, les faits physiques successivement enregistrés ne sauraient *a fortiori* être reliés les uns aux autres. Nous tournons ainsi dans un cercle : le premier travail de l'esprit, pour effectuer le passage de la donnée à la loi (donc pour parvenir à une induction), consiste donc à construire de nouveaux schèmes représentatifs (parfois même d'abord perceptifs), susceptibles de permettre l'enregistrement même des données, lequel, demeure impossible sans eux ; mais, pour construire de nouveaux schèmes, il s'agit de relier les données successives entre elles, et par conséquent, en premier lieu, de les enregistrer de façon adéquate. L'esprit, enfermé dans l'assimilation aux schèmes antérieurs, inadéquats à la nouveauté, ne sortirait pas d'un tel cercle sans un appui intérieur, précisément fourni par l'organisation de la déduction naissante dans le domaine des expériences portant sur l'action propre elle-même et sur ses coordinations logico-mathématiques. C'est donc soit par application directe de ces débuts de déduction, soit par analogie avec eux, que se constituent les premières constructions de schèmes physiques et les premières généralisations, jusqu'au niveau proprement opératoire où l'induction proprement dite devient alors possible en marge de la déduction.

Mais est-ce à dire que l'induction reste entièrement subordonnée à la déduction elle-même ? L'examen de la seconde pé-

riode du développement des processus inductifs va nous montrer maintenant qu'il n'en est rien et que l'induction conserve son originalité à côté de la déduction stricte. Cette deuxième période débute donc au moment où les groupements opératoires logiques, ainsi que les groupes arithmétiques et géométriques élémentaires, sont construits sur le terrain des coordinations générales de l'action (celui qui donnait lieu aux expériences du premier des deux types que nous avons distingués à propos de la période antérieure). Or, du fait même de cette construction opératoire, qui rend dorénavant la déduction possible sur le plan logico-mathématique, le contact avec les données physiques conduit dorénavant à une distinction fondamentale, qui est précisément au point de départ de l'induction elle-même. D'une part, le sujet découvre dans le réel des rapports donnant prise immédiatement à une construction opératoire et à une déduction analogues aux structures logico-mathématiques : c'est ainsi (voir chap. V § 2), qu'il parvient à la conservation de la quantité de matière, puis du poids et du volume physique, par analogie avec la conservation des ensembles logiques, numériques ou spatiaux (au sens géométrique). D'autre part, et en opposition avec ces rapports composites selon des liens réversibles et nécessaires, il découvre le hasard, en tant que mélange irréversible et résistant à la composition déductive élémentaire. Le problème de la structuration de la grande majorité des schèmes physiques va alors se situer à mi-chemin entre ces deux extrêmes et comportera notamment cette question essentielle de la dissociation, en toute expérience nouvelle, de ce qui est invariant et de ce qui est fortuit. C'est alors en toute cette région intermédiaire de ce qui n'est ni déductible avec évidence, ni évidemment aléatoire, que va se constituer l'induction à titre de structuration graduelle du monde physique en fonction de l'expérience portant sur les objets eux-mêmes (et non plus sur les actions comme telles). Or, sur ce point l'analyse génétique fournit des résultats particulièrement nets : si l'on définit la déduction concrète ou formelle, par les groupements logiques et les groupes mathématiques qui coordonnent les opérations en systèmes cohérents, fermés et réversibles, on peut dire, de façon générale, que l'induction est le système des raisonnements qui aboutissent seulement à des groupements incomplets, c'est-à-dire qui préparent la déduction sans y parvenir entièrement. C'est ce qui se produit dans deux cas principaux :

1° Il y a tout d'abord induction lorsqu'il s'agit pour le sujet, en présence d'un complexe de données physiques non immédiatement assimilable, de dissocier les divers facteurs intervenant dans ces données, et notamment ce qui relève du hasard et ce qui peut donner prise à des déductions ultérieures. Lorsque p. ex. des boules de poids différents roulent de points de départ variables sur des plans diversement inclinés pour remonter

ensuite le long d'un plan à inclinaison constante ¹, le sujet se trouve aux prises avec quatre sortes au moins de données : la dispersion des points d'arrêt de la boule à la montée, le poids des boules, l'inclinaison du plan de descente et la hauteur du point de départ ; il lui faudra donc, d'une part, dissocier ce qui est fortuit dans ces points d'arrêt de ce qui constitue le point le plus fréquent atteint pour une inclinaison et un point de départ donnés, et, d'autre part, exclure l'influence du poids (masse), qui ne varie pas, pour ne retenir que celle des inclinaisons et surtout la hauteur des points de départ ; alors seulement il pourra mettre en relation les points d'arrivée avec ceux de départ. En quoi consiste donc en un tel cas l'induction ? Il est clair que, au terme de l'analyse, le phénomène pourra donner lieu à une simple déduction : une fois simplifiées par la ségrégation des facteurs, les données métriques, ne portant plus que sur les inclinaisons et les distances, seront susceptibles d'être mises en équation et retrouveront les relations d'accélération constante qui caractérisent la chute des graves. Et il est non moins clair qu'en chacune des étapes de la recherche, il intervient déjà des processus déductifs : c'est par une composition déductive de relations (mises en correspondances diverses) que le sujet éliminera le facteur poids et retiendra l'influence des inclinaisons et des distances, etc. Mais si tout est déductif dans le détail des relations établies, et si le point d'arrivée est une déduction d'ensemble du phénomène, il n'en reste pas moins qu'il s'agit de préparer cette déduction : le problème essentiel est d'abord de dissocier et de choisir, c'est-à-dire d'essayer les différentes compositions opératoires possibles. Or, si chacune de ces compositions est déductive en tant que composition, la mise en place de ces dispositifs opératoires suppose deux conditions essentielles qui ne sont pas elles-mêmes de caractère déductif : une série d'essais consistant à chercher si telle donnée est composable, c'est-à-dire déductible, ou non (et selon quelle forme de composition ou quelle autre) et des anticipations continues selon lesquelles tel phénomène est assuré de répétition si les mêmes conditions se reproduisent (principe de l'induction) tandis que tel autre ne se reproduira probablement pas (parce que fortuit). En effet, ces deux conditions ne donnent pas lieu en elles-mêmes à une déduction, mais reviennent, ce qui est bien différent, l'une à consulter le réel sur sa déductibilité de détail et l'autre à postuler sa déductibilité future ². Telle est donc, en ce premier cas, l'induction : elle est bien une préparation à

¹ Cette expérience fait partie d'un ensemble de recherches sur le développement de l'induction actuellement en cours à notre Institut sous la direction de B. Inhelder,

² Voir LALANDE, *Les théories de l'Induction et de l'Expérimentation*, Boivin, 1929, p. 234 et 235.

la déduction, mais une préparation par consultation et organisation de l'expérience : elle organise les groupements déductifs ultérieurs, mais ne les achève pas, parce qu'elle cède la place à la déduction au fur et à mesure de la réussite de ses essais, en se bornant alors à certifier que cette déductibilité continuera d'être agréée par l'expérience future.

2° Il est par contre un second cas où l'induction est plus durable : c'est celui où le mélange est trop grand, où les phénomènes demeurent aléatoires et où la déduction est donc impossible, sauf en ce qui concerne les distributions d'ensemble à fréquences suffisamment élevées. En ces conditions les deux caractères essentiels de l'induction, c'est-à-dire l'organisation de la déductibilité et l'affirmation de sa valeur future, se modifient de la manière suivante. Il y a d'une part reconstitution des événements isolés (faits historiques, etc.) au moyen de raisonnements dont le détail est toujours déductif, mais dont la totalité ne constitue qu'un système incomplet ou inachevé. Il y a, d'autre part, prévision simplement probable, sans garantie quant à la répétition des combinaisons particulières, puisque les combinaisons réelles ne sont jamais qu'une fraction des combinaisons possibles.

Or, il est clair que ces deux variétés d'induction, dont l'une prépare la déduction finale et dont l'autre lui supplée faute de déductibilité de détail, sont celles-là même que l'on retrouve dans les sciences. En tout domaine nouveau ouvert à l'expérience physique, on retrouve la phase d'organisation préalable où il n'est pas encore question de déduire, mais de chercher inductivement ce qui peut être déduit. Ce triage des invariants déductibles au sein du fortuit demeure à tous les niveaux de l'histoire de la pensée scientifique l'essentiel de la méthode expérimentale, et l'on voit mal comment on pourrait lui refuser une qualification spéciale, car il s'agit ici d'interroger le réel en choisissant parmi l'ensemble des opérations possibles. D'autre part, en tout le domaine immense du hasard lui-même, le rôle de l'induction par opposition à celui de la déduction mathématique, est aujourd'hui particulièrement clair. Un raisonnement probabiliste peut être entièrement déductif, lorsqu'il porte sur l'ensemble des combinaisons possibles et sur le calcul de la probabilité de chaque événement conçu comme une fraction de ce tout. Au contraire, dans les raisonnements appliqués à la réalité, les cas affectés d'une probabilité minime sont écartés, et, comme l'a bien montré E. Borel ¹, toute théorie physique

¹ E. BOREL, *Valeur pratique et philosophie des probabilités* in *Traité du calcul des probabilités*, t. V., fasc. III. — Voir aussi L. FÉRAUD, *Le raisonnement fondé sur les probabilités*, Rev. Mét. Mor. 1948, p. 113.

de phénomènes aléatoires choisit une certaine échelle d'approximation par élimination de ces cas négligeables. Il convient donc, du point de vue de la structure de la pensée, d'introduire une distinction nette entre la théorie mathématique des probabilités, qui est rigoureusement déductive, et le domaine des probabilités appliquées, où l'induction garde une valeur durable à cause des limites mêmes de la déductibilité : négliger les cas très peu probables, c'est, en effet, affirmer qu'ils ne se produiront jamais dans l'expérience, par opposition aux combinaisons déduites en théorie.

On voit alors l'unité des deux variétés de l'induction préparant la déduction ou de l'induction lui suppléant partiellement : en chacune de ces deux situations, l'induction est une construction de rapports ne pouvant (pas encore ou jamais) être groupés en systèmes complets, c'est-à-dire en systèmes susceptibles de se suffire opératoirement à eux-mêmes. On comprend donc que, si l'on isole à l'intérieur d'un processus inductif des éléments particuliers de raisonnement, ceux-ci soient toujours semblables à ceux d'un système déductif. Mais, ce qui caractérise la déduction et ce qui manque à l'induction c'est précisément le groupement comme tel, à l'état achevé, c'est-à-dire un système complet fermé, rigoureusement composable et entièrement réversible. Autrement dit, tout raisonnement intervenant au cours de l'analyse inductive est déjà un fragment de déduction, car il n'existe pas d'autres raisonnements que déductifs : c'est ainsi que les fameux canons inductifs de J. Stuart Mill font déjà appel à des compositions déductives, car, pour dégager des variations concomitantes, pour atteindre des résidus, etc., il faut composer des relations par multiplication bi-univoque ou emboîter des classes composées de sous-classes disjointes et complémentaires, etc. Mais ce ne sont là que les fragments d'une déduction complète, puisqu'ils s'appuient toujours sur l'expérience (non pas seulement quant aux mesures servant de données à la déduction mais quant à la validité plus ou moins probable des connexions), et ne sont pas encore intégrables en un corps de doctrine logiquement nécessaire. Or, c'est précisément cette déduction incomplète — ce qui ne signifie donc pas que chaque raisonnement pris en lui-même ne soit pas rigoureux, mais bien que leur ensemble ne suffise pas à constituer un système, — ou, pour mieux dire, ce groupement inachevé, qui constitue l'induction : inachevé provisoirement, si les lacunes de la déduction tiennent à l'ignorance du sujet, ou de manière permanente si les rap-

ports en jeu son objectivement enchevêtrés par un mélange fortuit des séquences causales.

Au total, la nécessité d'un recours à l'induction tient donc toujours à l'intervention du hasard ou du mélange. En présence de réalités isolables et réversibles comme les processus mécaniques élémentaires, la correspondance plus ou moins directe entre les données objectives et les opérations du sujet conduit à une composition déductive rigoureuse : le phénomène physique est alors assimilé à un groupe de transformations mathématiques et l'écart ou le « jeu » pouvant subsister entre l'expérience et la déduction est réduit au *minimum* ; la déduction est ainsi complète. Comparé à cet état privilégié, l'induction se caractérise au contraire par un groupement incomplet des raisonnements ou transformations opératoires. Chaque raisonnement à l'état isolé est par ailleurs comparable à celui qui interviendrait en un système déductif complet, puisque, encore une fois, l'induction n'est pas un mode particulier de raisonnement et diffère des groupements déductifs uniquement par ses caractères de totalité. Mais, du point de vue précisément de la totalité, le processus inductif demeure inachevé et sans fermeture parce que, au lieu de procéder sur des rapports simples et réversibles, il se heurte au mélange : mélange des données expérimentales non encore dissociées ou des notions non encore différenciées faute d'une analyse suffisante, dans le cas où l'induction tient à l'ignorance du sujet et n'est qu'une préparation à la déduction ; ou mélange objectif, dans le cas où l'induction est nécessitée par le caractère aléatoire du réel et supplée à la déduction. L'induction participe ainsi d'une manière ou d'une autre au hasard : hasard des démarches du sujet à l'égard du réel, ou hasard inhérent au réel lui-même.

C'est cette parenté intime entre l'induction et le hasard irréversible, d'une part, ainsi qu'entre la déduction et les mécanismes réversibles, d'autre part, qui font à la fois comprendre le paradoxe de l'induction et la nature de ce que l'on a appelé le principe ou le fondement de l'induction. De même que l'irréversible, avons-nous vu (§ 1 à 3), ne peut être compris qu'au moyen des opérations réversibles, de même l'induction n'est composée en définitive que de connexions déductives : seul le système total diffère, dans les deux cas, de son opposé, c'est-à-dire des systèmes réversibles ou déductifs. D'où le paradoxe de l'induction, qui est une organisation et une anticipation de la déductibilité, sans atteindre elle-même la déduction complète. Quant au principe ou fondement de l'induction, il souligne de

façon plus frappante encore cette nature à la fois probabiliste en sa totalité, et déductive dans le détail de son contenu, de l'induction comme telle : il revient, en effet, sans plus à affirmer la probabilité élevée d'une déduction future du réel !

Or, on sait combien les nombreux travaux qui ont porté sur le fondement de l'induction ont précisément oscillé entre l'interprétation probabiliste et ce qu'on pourrait appeler l'interprétation déductive, alors que le propre de l'induction est précisément de réunir ces deux aspects. En son ouvrage fameux « Du fondement de l'induction » (dont Lalande a dit avec tant de finesse qu'« on a plus souvent l'occasion de l'admirer que de l'utiliser »), J. Lachelier se demande pourquoi les phénomènes se relient toujours et partout de la même manière, et il répond par la causalité et la finalité réunies, ce qui est une manière de postuler la déductibilité du réel. O. Hamelin, également, insiste sur le rôle de la nécessité, même dans le cas de l'interprétation d'une expérience qui, par hypothèse, demeurerait unique. Dorolle, discutant ces mêmes thèses, aboutit à la formule que le fondement de l'induction repose sur une double croyance : affirmation du déterminisme et affirmation des uniformités ¹. J. Nicod, par contre, se place à un point de vue résolument probabiliste ². A. Lalande ³, distingue de son côté trois questions et non pas deux comme on le fait habituellement : celle de la technique de l'induction, qui se réduit aux règles de la probabilité appliquée, celle des principes de l'induction (principes de la « raison constituée » admis à une époque déterminée de l'histoire des sciences : p. ex. la croyance au déterminisme, etc.) et celle du fondement lui-même, c'est-à-dire de la position normative de l'esprit l'obligeant à croire à la permanence des choses.

Mais si l'induction consiste en un groupement déductif incomplet, en tant que limité par l'existence du hasard, il est essentiel à la recherche inductive de formuler son principe en coordonnant ces deux aspects inséparables, et c'est pourquoi nous le formulerions en disant qu'il affirme le caractère hautement probable de la déductibilité du réel. C'est parce que la réalité est conçue dès le départ comme déductible, c'est-à-dire comme assimilable aux actions et aux opérations du sujet, que celui-ci organise les notions de manière à rendre cette déduc-

¹ M. DOROLLE, *Les problèmes de l'induction* (Alcan), p. 143.

² J. NICOD, *Le problème de l'induction*, Paris (Alcan), 1924.

³ A. LALANDE, *Les théories de l'induction et de l'expérimentation*, (Boivin) 1929.

tion possible : c'est en quoi l'induction est d'abord et avant tout une préparation de la déduction, par dissociation des rapports invariants et du fortuit. Mais que, postulant la composition possible et les uniformités, conditions de cette déductibilité, l'esprit se heurte ensuite au hasard, l'induction demeure l'expression de la confiance du sujet en une déduction partielle : c'est que, au sein du hasard, la déduction demeure légitime sous une forme probabiliste, en tant qu'elle porte sur les ensembles et non pas sur les cas isolés, et qu'elle procède par analyse combinatoire et non plus ponctuelle. Or, dans ces deux cas, la croyance elle-même en la déductibilité résulte de la tendance fondamentale inhérente au sujet, qui est d'assimiler le réel aux schèmes de son activité. Lorsque ces schèmes sont accommodés de manière permanente à un domaine donné de la réalité, la réversibilité qui découle de cet équilibre entre l'assimilation et l'accommodation rend possibles les opérations et leur groupement, et la pensée est alors déductive. Lorsque, au contraire, l'accommodation exige de nouveaux réajustements lors de chaque expérience nouvelle, l'assimilation demeure incomplète et doit être guidée par l'accommodation : il y a alors induction. Mais le fondement de cette induction reste le postulat d'un équilibre possible entre l'assimilation et l'accommodation, c'est-à-dire la croyance en la déductibilité du réel.

A. Lalande a bien vu cette parenté entre l'induction et le besoin d'assimilation, mais il réduit l'assimilation à l'identification au lieu d'en faire une incorporation de l'objet à l'ensemble des structures opératoires du sujet. Nous retrouvons donc ici le problème de l'identification déjà discuté (chap. V § 5) à propos des mécanismes réversibles et de la conservation : il réapparaît à propos de l'irréversibilité, et c'est ce que nous allons voir au § suivant.

§ 5. La MÉTAPHYSIQUE DU DEUXIÈME PRINCIPE DE LA THERMODYNAMIQUE, LES ÉQUIVOQUES DE L'IDENTIFICATION ET LES LIMITES DE LA COMPOSITION OPÉRATOIRE. — Le premier principe de la thermodynamique, principe dit de l'équivalence où encore de la conservation de l'énergie, a donné lieu à une interprétation aisée de la part des auteurs pour lesquels le principe d'identité constitue la norme suprême de la raison : pour E. Meyerson, il manifeste à l'état pur l'identification aux prises avec le réel, c'est-à-dire qu'il constitue un principe mi-apriorique mi-apostérieur appartenant à cette sorte de notions qu'il appelle « plausibles ». Nous avons admis (chap. V § 5),

par contre, que si le principe d'équivalence constitue effectivement une notion à la fois construite déductivement et accommodée à l'expérience, il est difficile d'attribuer sa formation, pour autant qu'il relève de la raison, à la seule identification, puisqu'il implique à la fois l'invariance et la variation, c'est-à-dire une construction opératoire revêtant la structure d'un groupe et ne se réduisant pas à l'identité simple. La conservation de l'énergie traduit ainsi essentiellement un système de compositions réversibles.

Mais il y a une exception : c'est précisément l'équivalence du mouvement et de la chaleur, car, si la transformation se fait dans l'un des deux sens, elle n'est pas entièrement réalisable dans le sens inverse. Plus précisément, elle n'est réversible qu'idéalement, tandis que, en fait, l'intervention du brassage, ou mélange de plus en plus probable, impose cette irréversibilité statistique qu'exprime le second principe de la thermodynamique. Quelle est alors la signification épistémologique de ce second principe ? Il constitue assurément une résistance au groupement opératoire, mais de quelle manière faut-il interpréter la chose ? Comme on le sait assez, E. Meyerson a répondu à la question en parlant d'une résistance du réel à l'identification. Seulement, il se trouve que cet autre défenseur de l'identité qu'est A. Lalande interprète, au contraire, le principe de la dégradation de l'énergie comme une sorte d'identification graduelle incarnée dans le réel lui-même... Le principe de Carnot-Clausius est-il, d'autre part, apostériorique, comme le veut Meyerson selon la logique de son système, ou apriorique, comme le soutient Lalande selon la logique du sien ? Ou bien encore est-il les deux à la fois ? Telles sont les questions qu'il nous faut examiner maintenant, car leur discussion est de nature à éclairer l'épistémologie du hasard.

Notons d'abord que l'on ne saurait tirer aucun argument dans un sens ou dans un autre des réactions d'ordre affectif ou moral qu'ont provoquées le principe de Carnot ou, de façon générale, le spectacle de l'irréversibilité du réel, de la fuite du temps, de l'usure et du vieillissement. E. Meyerson a cité un grand nombre de théories ou de conceptions montrant bien toutes les résistances de l'esprit en présence de l'irréversibilité destructrice. Du retour éternel des Hindous et des Grecs à celui de Nietzsche ; de la notion, due à Rankine, d'une reconcentration placée à une époque « infiniment éloignée » aux contractions et dilatations de l'univers de l'abbé Lemaitre, en passant par Boltzmann et Arrhénius ; des négations puériles de

Haeckel aux imaginations de G. Le Bon, il est clair que toutes ces doctrines prouvent que l'irréversibilité du monde a le don de déplaire et d'inquiéter. Mais, que l'on cherche à la nier par des théories pseudo-scientifiques ou simplement aventureuses ne démontre encore en rien qu'elle soit contraire à la raison : cela indique simplement que, étendu à tout l'univers, le fait de l'irréversibilité heurte notre affectivité. Ce n'est donc pas la conservation rationnelle qu'il contrarie, mais la conservation des valeurs vitales, et ceci est en dehors de notre sujet. Du point de vue de la connaissance, le seul problème est de savoir si l'on a le droit d'étendre à tout l'univers des raisonnements valables sur un terrain limité, et les théories rappelées par Meyerson ont ceci de commun qu'elles postulent ce droit sans discussion : elles sont « métaphysiques » au sens le plus étymologique du terme.

A cet égard, la doctrine de Spencer mérite un rappel spécial, car ce n'est pas seulement dans le domaine de la thermodynamique qu'il se livre à des extrapolations illégitimes : c'est toute sa philosophie des sciences qui constitue en fait une « Naturphilosophie », faute d'une épistémologie critique parce que génétique. On sait assez, en effet, comment Spencer a cherché à enfermer la réalité entière, en une même « loi d'évolution », caractérisée par le passage de l'homogène à l'hétérogène avec intégration complémentaire. Or, cette différenciation progressive étant limitée par la dégradation de l'énergie, le philosophe invente simplement des demi-périodes d'organisation et de désorganisation pour concilier la marche vers l'homogène avec la tendance à l'hétérogène !

Avant de se consacrer à ses beaux travaux de logique, A. Lalande a entrepris, dans son ouvrage sur « Les illusions évolutionnistes » (paru primitivement sous le titre « La dissolution opposée à l'évolution dans les sciences physiques et morales »), non seulement la critique de Spencer, mais encore une sorte de renversement partiel du système. Bien que cet aspect de son œuvre reste un peu trop solidaire, comme il arrive souvent lorsqu'on prend le contre-pied d'un prédécesseur, de certains des caractères discutables de la généralisation spencérienne, l'effort de Lalande présente un intérêt certain par ses rapprochements imprévus. Le monde physique, selon Lalande, est déjà caractérisé par deux courants de sens contraires : l'un dirigé, selon la formule spencérienne, vers l'organisation, l'autre vers l'homogène et la « dissolution ». Or, dans les mondes de la vie, de l'activité mentale et de la société, on retrouve les

deux mêmes courants. L'évolution biologique, se prolongeant chez l'individu en égoïsme et volonté de puissance et dans la société en organisation politique et économique, constitue bien encore, comme le veut Spencer, une marche vers l'hétérogène. Mais à cette tendance vitale, irrationnelle et amoral, s'oppose le normatif sous les espèces des règles morales et logiques. Or, le normatif est essentiellement « dissolution » ou « involution », c'est-à-dire effort dirigé vers l'homogène. Du point de vue logique, en particulier, toute activité de la raison consiste à unifier, à supprimer le divers au profit du semblable, bref à tendre vers l'identique. Expliquer, c'est réduire la diversité à l'unité et faire ainsi primer l'homogène aux dépens de l'hétérogène, dans le sens d'une « assimilation » identificatrice. A cet égard, le deuxième principe de la thermodynamique serait le modèle des principes rationnels : il exprime la même tendance de l'univers à l'homogénéité que la raison nous impose à titre de norme intérieure ; tout au moins il converge exactement avec la ligne d'involution qui caractérise à la fois le renoncement moral et la soumission de la raison à l'identité normative.

Il est assez piquant, en présence d'une telle thèse, de comparer à la fois la métaphysique d'A. Lalande à celle d'E. Meyerson et la logique du premier de ces épistémologistes à celle du second. C'est même cette double comparaison qui, non seulement nous autorise, mais encore nous oblige à faire la distinction entre ce qui, chez ces deux profonds auteurs, relève de l'épistémologie proprement dite, et ce qui déborde le domaine strict de l'analyse génétique de la raison scientifique pour s'orienter dans la direction d'une thèse dogmatique.

Sur le terrain logique et épistémologique, Lalande et Meyerson sont entièrement d'accord, et cela d'autant plus que Lalande est l'initiateur d'une doctrine que Meyerson a reprise et prolongée avec l'éclat que l'on sait. Pour tous les deux, en effet, la raison cherche l'identité, cette tendance fondamentale à l'identification dissolvant la réalité apparente au profit d'une réalité plus profonde, en partie construite par la déduction et en partie faite d'éléments expérimentaux digérés et retravaillés dès la perception spatiale jusqu'aux concepts scientifiques les plus élaborés.

Mais la meilleure preuve de l'insuffisance et même de l'équivoque de cette notion de l'identification est que, partant exactement de la même thèse épistémologique, ces deux auteurs en arrivent à deux interprétations non moins exactement opposées en ce qui concerne le deuxième principe de la thermodynami-

que. Pour E. Meyerson, en effet, non seulement l'accroissement d'entropie n'a rien d'une notion rationnelle, mais encore le principe de Carnot met en évidence le plus grand irrationnel que rencontre la pensée scientifique, sans qu'elle entrevoie même l'espoir de le comprendre un jour... En d'autres termes, de deux grands philosophes pour lesquels la raison ne consiste qu'à identifier, l'un considère le principe de Carnot comme un modèle d'identification, et l'autre comme le prototype de la résistance du réel à l'identification !

Or, à examiner les raisons de cette contradiction, on discerne une première équivoque dans la notion d'identification : celle des rapports entre l'identité et la réversibilité. Pour Lalande l'identification est un processus irréversible, procédant sans retour de la diversité à l'unité, seule l'identité finale étant réversible, car si $A=B$ on peut aussi bien identifier A à B que B à A. Par contre, Meyerson n'insiste pas sur le caractère irréversible du processus même de l'identification et souligne seulement la réversibilité finale du rapport d'identité. Tous deux, en outre, s'accordent à considérer l'identification comme la source de la réversibilité et non pas l'inverse. Mais, c'est sans doute précisément en cela que, consiste l'insuffisance de la notion d'identification, car, pour concilier l'irréversibilité du processus même de l'identification avec la réversibilité des rapports terminaux, il faut à coup sûr dépasser l'identique et faire appel au jeu complexe des opérations qui, psychologiquement, tendent irréversiblement vers la réversibilité comme vers leur forme d'équilibre et qui, logiquement, constituent un système mobile et réversible dont l'identité n'est qu'un cas particulier (opérations identiques).

A cet égard, A. Lalande a certainement fait preuve d'une grande ingéniosité en comparant la marche graduelle et lente vers l'équilibre, exprimée par le principe de Carnot, à la direction suivie par la raison en son évolution, et cela malgré les différences manifestes qui séparent les deux formes finales d'équilibre : un état de repos croissant, avec l'augmentation de l'entropie, et l'équilibre mobile d'une raison vivante et active. D'une part, en effet, si l'accroissement de l'entropie est bien une marche à sens unique, l'équilibre vers lequel tend ce processus est néanmoins défini par sa réversibilité finale. D'autre part, Lalande, qui est normativiste, voit dans l'identité un idéal nécessaire, et dans l'identification une marche vers cette identité idéale, obtenue par renoncement progressif à la diversité sensible, source d'erreur et de mal. De ce double point de vue,

il y a bien une sorte de parallélisme entre la dissolution évoquée par le principe de Carnot et le nirvana rationnel que l'identique constitue dans la mesure où l'on en fait la norme suprême. Au contraire, E. Meyerson, dont la philosophie est initialement celle d'un chimiste, pense la réversibilité sous la forme des équations à double sens ($A + B \rightleftharpoons C + D$) au moyen desquelles les spécialistes de la chimie physique expriment l'équilibre entre deux réactions réciproques (telles que les corps $A + B$ du premier membre se transforment en ceux du second $C + D$ dans la même mesure que l'inverse) : cette réversibilité lui paraît alors résulter de l'identité des composants, sans qu'il ait insisté sur les rapports entre une telle réversibilité et celle de l'équilibre thermodynamique final. Mais de cette conception en quelque sorte chimique de l'identité et de la réversibilité, il résulte surtout, pour Meyerson, que l'irréversibilité propre à l'accroissement d'entropie constitue le type même du rapport irrationnel, sans qu'il ait insisté, comme Lalande, sur l'analogie formelle de ce processus avec l'irréversibilité de l'identification à titre de déroulement temporel. Il s'ajoute à cela que la métaphysique d'E. Meyerson impliquant une opposition absolue entre la raison qui identifie et le réel, dont la diversité résiste à l'esprit, tandis que, pour Lalande, l'objet comme le sujet est un mélange de rationnel et d'irrationnel, ou de bien et de mal, le premier de ces deux auteurs se refuse à retrouver dans le réel lui-même une marche vers l'identique (un peu comme Bergson se refusait à reconnaître certains aspects de la durée bergsonienne dans la notion du temps physique renouvelée par les relativistes) ; Lalande, au contraire, n'en est pas gêné.

Cela dit, il convient maintenant de chercher à tirer la leçon de ces contradictions, tant en ce qui concerne les rapports de la réversibilité et de l'identité qu'eu égard à la nature apriorique ou aposteriorique du principe de Carnot.

Soulignons d'abord, du point de vue des rapports entre l'identité et la réversibilité que cette divergence d'interprétations entre Lalande et Meyerson nous donne une preuve de plus de la thèse sur laquelle nous avons souvent insisté : que l'identité prise en elle-même est une notion essentiellement équivoque, parce que résultant de n'importe quel système d'opérations. De savoir seulement que $A = B$ ne présente pas de signification suffisante, ni scientifique ni épistémologique, car le sens de cette identité est entièrement relatif aux opérations qui ont permis de la construire. L'identique est, à cet égard,

comparable au zéro mathématique, dont la signification, qui est celle d'une opération nulle, reste toujours relative au système des opérations au sein desquelles il intervient. Il est donc erroné de penser que l'on puisse expliquer la réversibilité par le moyen de l'identité : c'est au contraire la composition réversible propre à un système d'opérations qui rend compte de l'identité, puisque celle-ci constitue le produit de l'opération directe par son inverse, c'est-à-dire seulement l'une des opérations du système et non plus son moteur unique. C'est donc dans le groupement des opérations qu'est à rechercher le ressort de la raison, et non pas dans l'un de ses aspects isolés.

Or, la réversibilité se présente, dans l'activité effective de l'esprit, sous deux formes génétiquement indissociables, l'une logique ou rationnelle, l'autre psychologique, et c'est la distinction de ces deux formes qui permet de comprendre comment la pensée tend, de façon irréversible, vers la réversibilité. La réversibilité logique consiste en la possibilité d'inverser toute opération et toute composition entre opérations. La réversibilité psychologique consiste, d'autre part, en la possibilité de parcourir un même trajet mental dans les deux sens. Ces deux sortes de réversibilité sont toujours corrélatives : p. ex., au niveau où l'enfant demeure incapable de réversibilité mentale (telle que de faire des hypothèses comme telles, puis de les écarter)¹, il est également inapte à la réversibilité opératoire ; réciproquement, la découverte des opérations logiques inverses résulte d'un développement de la réversibilité mentale. Cependant ces deux formes de réversibilité sont distinctes, puisque l'une intéresse la structure des opérations et l'autre le fonctionnement mental. Mais il y a plus : l'opération logique étant essentiellement une action, devenue réversible en fonction de sa mentalisation ou intériorisation progressives, toute l'évolution de l'intelligence, à partir de ses formes sensori-motrices initiales et irréversibles (habitudes et perceptions réunies) et au travers de ses formes intuitives progressivement articulées, est à concevoir comme une marche à sens unique (donc irréversible en elle-même) orientée dans la direction d'un équilibre mobile final constitué précisément par la composition réversible. C'est de ce point de vue que l'évolution de la raison est, si l'on veut, en partie comparable à celle que caractérise

¹ En fait le petit enfant ne sait pas faire d'hypothèses proprement dites, parce qu'il reste accroché à ses suppositions initiales même lorsqu'il les considère comme fausses et croit les avoir changées contre d'autres.

le principe de Carnot ; mais c'est à cette différence près (qui est essentielle pour qui rejette la thèse de l'identité pure) que l'équilibre réversible final de la thermodynamique est immobile et résulte d'un mélange, tandis que l'équilibre réversible progressif de la raison est d'autant plus mobile que l'intelligence est plus développée et procède de l'ordre par opposition au hasard.

Cela dit, il n'en reste pas moins que le principe de Carnot est loin de présenter la simplicité épistémologique d'un principe de conservation, et que les résistances d'E. Meyerson à adopter la thèse de Lalande au sujet de l'entropie s'expliquent aisément, sans pour autant justifier ni l'affirmation de son irrationnalité ni l'opposition fondamentale du divers réel et de l'identité logique.

La différence essentielle, du point de vue de l'épistémologie génétique, entre le second et le premier principe de la thermodynamique est que celui-ci a été postulé par la raison bien avant de pouvoir être accommodé à l'expérience (cf. son histoire, de Leibniz à R. Mayer, chap. V § 5), tandis que celui-là a été imposé par l'expérience (Carnot), avant de pouvoir être assimilé par la raison (de Clausius à Boltzmann). Or, l'explication de cette opposition historique est bien claire et résulte directement de ce que nous avons vu (§ 1 et 2 de ce chap.) de la genèse psychologique de la notion de hasard : la reconnaissance de l'existence, et surtout de l'importance réelle, du mélange fortuit suppose l'élaboration préalable d'un mécanisme opératoire relativement auquel le mélange, incomposable par les méthodes ordinaires de ce système, apparaîtra comme une résistance. C'est en ce sens, mais en ce sens relatif seulement, que le principe de Carnot, mettant en évidence le caractère irréversible de l'évolution physico-chimique, a constitué un irrationnel. Mais cet irrationnel s'est révélé provisoire, puisque la raison est parvenue à déduire l'accroissement de l'entropie avec la sécurité propre aux opérations combinatoires et au calcul des probabilités. La seule différence entre la nécessité déductive propre à cet accroissement et celle qui caractérise un principe de conservation est donc que l'augmentation d'entropie n'est que très probable ; mais en cas de fluctuations, prévues par la théorie et négligeables dans la réalité, de telles fluctuations marqueraient précisément un retour à un état antérieur, c'est-à-dire une réversibilité partielle ! Le mode de déduction propre au principe de la dégradation prolonge donc lui aussi ce que nous avons vu de la genèse du hasard, puisque,

sitôt le hasard admis à titre de système incomposable dans le détail des rencontres, il est assimilé par les opérations à titre de système combinatoire composable en son ensemble.

Dès lors, quoique né de l'expérience, le principe de Carnot a été reconstruit de manière apriorique, si l'on peut dire, tandis que le principe d'équivalence, quoique né de la raison s'est incorporé des éléments apostérieurs. Tous deux sont ainsi à la fois rationnels et expérimentaux à des degrés divers, le premier principe de la thermodynamique traduisant les opérations nécessaires à toute conservation et le second les combinaisons probables relatives au mélange, c'est-à-dire des combinaisons encore opératoires.

Par contre, si le second principe comporte des éléments rationnels comme le premier, une irrationalité véritable, mais qui ne lui est pas inhérente en propre, surgit dès que, du domaine limité des systèmes clos correspondant à sa signification scientifique, on glisse dans l'hypothèse métaphysique de son extension à tout l'univers. Comment admettre, déclare E. Meyerson avec les métaphysiciens du XIX^e siècle, que l'entropie s'accroisse continuellement dans le sens du moins au plus probable, sans se demander d'où provient l'état improbable initial, ou sans renoncer explicitement à percer le mystère ? Mais, en bonne logique, il n'y a là de mystère que si l'on commence par assimiler l'univers entier à un système clos, c'est-à-dire par lui appliquer, comme à un objet ou à un ensemble d'objets donnés, les opérations soit de composition additive engendrant la conservation, soit de combinaisons et de composition probabiliste. Or, la question préalable est précisément de savoir si cette extension est légitime. Le second principe de la thermodynamique soulève donc de façon particulièrement aiguë la question des limites de la composition opératoire d'ordre physique, sans d'ailleurs être seul à poser ce problème, qui est commun à tous les principes physiques.

Seules les opérations logiques et mathématiques se sont révélées jusqu'ici susceptibles d'extension indéfinie. L'infini mathématique témoigne, en effet, sans plus du dynamisme de la raison, c'est-à-dire de la fécondité des coordinations générales de l'action du sujet. Mais lorsque les mêmes opérations sont appliquées au réel, c'est-à-dire lorsque l'on passe des coordinations générales aux actions particulières portant sur des ensembles spécifiques d'objets, celles-ci ne sont naturellement possibles que dans les limites du domaine au sein duquel elles sont constituées. C'est ainsi que la notion de l'objet substan-

tiel présente une signification précise à l'échelle de l'action macroscopique, mais qu'elle la perd à l'échelle microphysique : l'univers entier, peut-il en ces conditions être conçu sans danger, à titre physique ou réel, comme un « objet » proprement dit, c'est-à-dire comme un système unique d'objets à la manière dont on parle d'un « espace » en géométrie ? Or, si cette confusion des échelles (ou encore des totalités physiques et mathématiques) est illégitime, que deviennent, à l'égard de cet univers irréductible à un grand objet, des principes qui, comme ceux de la dégradation ou de la conservation de l'énergie, supposent précisément l'objet ?

En ce qui concerne la conservation de l'énergie, de la matière, etc., si l'univers, conçu comme un objet total et unique, se trouve être infini, il est clair que la notion même de conservation perd alors toute signification. Mais si l'univers est fini, les questions se posent alors de savoir qu'elle est la quantité totale de son énergie, de sa masse, etc., et pourquoi il en est ainsi : or, ce sont précisément ces questions dont on peut se demander si elles gardent le même sens lorsqu'il s'agit du tout et lorsque l'on envisage des systèmes clos dont les transformations se produisent à l'échelle de notre propre action. Dans le cas du second principe, qui est un principe d'évolution, l'extension, à la totalité de l'univers, des opérations rendant cette évolution intelligible en système clos soulève en plus les problèmes du commencement premier et de la fin dernière, questions dont on voit quelle extrapolation elles supposent par rapport aux notions et opérations temporelles et causales, valables sur le plan de l'action à notre échelle.

La réponse à fournir aux pseudo-problèmes au nom desquels on voudrait nous faire accepter l'irrationalité foncière du réel est donc la réponse critique ou relativiste : les opérations d'une classe donnée, nées de certaines actions particulières dans la mesure où ces dernières sont susceptibles de coordination réversible et rigoureuse, ont, de par leur origine même, un champ d'application limité à la nature et à l'échelle de leur domaine de départ (ceci en opposition relative avec la coordination générale des actions, qui conduit aux opérations logico-mathématiques). L'extension de ces opérations particulières à l'échelle micro-physique soulève les problèmes que nous étudierons au chapitre suivant. Leur extension à l'échelle de la totalité de l'univers rencontre les difficultés symétriques en sens contraire. Mais, de même que de nombreux problèmes ont pu être résolus à l'échelle inférieure, rien ne prouve que

les questions resteront toujours sans solution à l'échelle supérieure. Avant d'attribuer ces difficultés à l'irrationalité du réel ou à une impuissance congénitale de notre raison, il faudrait être assuré de l'immutabilité des opérations rationnelles. Or, l'histoire nous enseigne que les mots « toujours » ou « jamais » sont à exclure du vocabulaire de l'épistémologie génétique. Aug. Comte, dont les prophéties ont connu une malchance proverbiale, avait annoncé la vanité de toute spéculation probabiliste portant sur le détail des faits physiques. Gardons-nous donc de l'imiter en ce qui concerne les probabilités portant sur l'ensemble : elles se sont jusqu'ici révélées vaines, parce qu'employant des opérations construites à une autre échelle, sans que la construction de nouveaux instruments opératoires ait été réussie comme en microphysique. Mais, si cette constatation permet de renvoyer aux philosophes les solutions positives et négatives élaborées à ce sujet, elle ne nous autorise, à parler ni de mystère en soi ni de mystère définitif.

§ 6. LA SIGNIFICATION DU PROBABILISME PHYSIQUE. — Depuis le temps que le calcul des probabilités est entré dans les mœurs des physiciens et que ceux-ci ont découvert, à côté des phénomènes mécaniques et électro-magnétiques de caractère réversible, la grande classe des phénomènes irréversibles relevant du mélange et du hasard, la signification du probabilisme en physique est cependant loin d'avoir été fixée de façon à rallier l'unanimité des esprits informés. Et pourtant, de 1838 à 1875 paraissaient les grands ouvrages d'A.A. Cournot, qui constituent toute une philosophie du hasard et de ses relations avec l'ordre et la raison. Mais, tout en adoptant une position de juste milieu parmi celles que nous allons être conduits à distinguer, Cournot n'est pas parvenu à créer une opinion générale, et l'on sait même combien son œuvre a été sous-estimée jusqu'à l'époque récente où l'on a découvert en lui l'une des plus fortes têtes de la philosophie du XIX^e siècle¹. En réalité, le lent avènement du probabilisme en épistémologie est sans doute le reflet, avec le décalage naturel de la réflexion par rapport aux opérations en œuvre dans la recherche physique effective, des mêmes causes que celles dont nous avons invoqué l'intervention pour expliquer le caractère tardif de la formation de l'idée de hasard.

¹ Voir en particulier J. DE LA HARPE, *De l'ordre et du hasard. Le réalisme critique d'Antoine Augustin Cournot*. Neuchâtel (Université), 1936.

On peut classer, les diverses attitudes épistémologiques : à l'égard du hasard sous trois catégories principales : celle des auteurs qui refusent d'attribuer à cette notion une signification positive et ne voient dans le calcul des probabilités qu'un pis aller dû à l'insuffisance des moyens d'analyse ; celle des esprits qui, comme Cournot, voient dans le réel un composé de séquences simples et d'enchevêtrements fortuits, et dans la connaissance un dosage (à tous les degrés) de déduction pure et d'induction probabiliste ; et enfin celle des physiciens et des philosophes pour lesquels le caractère statistique des lois de la nature est primordial, les lois simples et les mécanismes réversibles ne constituant que la résultante macroscopique, et par conséquent relative. à une certaine échelle d'observation, des enchevêtrements probables.

Parmi les adversaires de l'idée de hasard, il faudrait d'abord citer tous les auteurs dont les véritables motifs tiennent à des raisons théologiques ou politiques. Que l'artificialisme historique de Bossuet lui interdise de reconnaître le rôle du fortuit, c'est ce qui est bien naturel, et Cournot rappelle le texte, écrit sur « ce ton solennel qui lui est habituel » où le grand orateur réduit le hasard à un « nom dont nous recouvrons notre ignorance »¹. Mais même chez un auteur contemporain aussi averti des choses de la physique que R. Gérard, le probabilisme est dénoncé, sans fard comme un danger social : « Nous sommes saisis, en réalité, d'une préoccupation bien plus grave : l'avenir du raisonnement lui-même, et de la pensée cohérente de tout un groupe humain, que les divergences de certaines branches du raisonnement physique actuel, pénétré de probabilisme et d'incertitude, risquent de contaminer dangereusement (quelques fécondes qu'elles puissent s'affirmer temporairement...) en répudiant de leur langage l'intégrité du principe de causalité et l'antique déterminisme ponctuel qui en forme la base et la vie »².

Il n'est pas besoin de rappeler que les mathématiciens et les physiciens eux-mêmes, avec ou sans de telles préoccupations latentes, raisonnaient à peu près ainsi au début du XIX^e siècle : « ou puéride, ou sophistique » disait Aug. Comte de l'application du calcul des probabilités à la physique. Et Laplace, comme Bossuet, considérait le hasard comme un nom recouvrant

¹ *Matérialisme, Vitalisme, etc.*, p. 228.

² R. GÉRARD, *Les Chemins divers de la connaissance* (avec une préface de P. VALÉRY), 2^e éd. (1945), p. 41.

notre ignorance, les lois immuables de la nature étant simples et « en petit nombre ». A quoi Cournot répond avec sagacité qu'« il suffirait qu'il y en eût deux, parfaitement indépendantes l'une de l'autre, pour que l'on dût faire une part à la fortuité dans le gouvernement du monde »¹.

D'où le système célèbre de Cournot, qui unit de façon indissoluble le hasard et la probabilité aux idées d'ordre et de raison, mais sans accorder de privilège au raisonnement probabiliste.

L'idée centrale de la pensée rationnelle est, selon Cournot, la notion d'ordre qui relie les unes aux autres raisons et conséquences selon leurs connexions constructives elles-mêmes, et cela objectivement comme subjectivement. Il existe, en effet, une raison objective des choses, et de telles raisons dépendent les unes des autres selon un ordre réel, ainsi qu'une raison subjective dont les notions s'ordonnent en fonction de cet objectif : « la raison *objective* est trouvée, dit ainsi Cournot d'une démonstration, la raison *subjective* est satisfaite »², ce qui signifie que l'ordre des notions a rencontré celui de la réalité. Or, cet ordre rationnel diffère de l'ordre logique, lequel est linéaire comme celui du discours³, d'où « l'inefficacité du syllogisme pour l'avancement de la connaissance scientifique » et « le rôle de la construction ou synthèse *a priori* dans la découverte des vérités »⁴. L'existence de l'ordre rationnel se reconnaît, en effet, à ceci que plusieurs démonstrations possibles également logiques d'une même vérité n'ont pas la même valeur explicative, car seule celle qui rejoint l'ordre effectif de la « construction » rend réellement compte de cette vérité. De même, la raison des choses ne se confond pas avec leur cause : p. ex. si une « combinaison fortuite offre quelque singularité, cette singularité même a une cause, mais elle n'a pas de raison et voilà pourquoi elle nous frappe »⁵.

Cela dit, le hasard n'est pas autre chose, selon Cournot, que l'interférence soit des séries causales indépendantes, soit des séries de raisons également indépendantes les unes des autres : « l'idée de hasard, avec toutes ses conséquences, s'applique aussi bien à des séries collatérales dans l'ordre rationnel pur qu'à des séries collatérales, dans l'ordre de la causalité »⁶. Comme exemple d'interférences entre séries de raison, Cournot cite l'exemple devenu fameux de la dispersion fortuite des dé-

¹ *Matérialisme*, etc., p. 228.

² *Matérialisme*, p. 203.

³ *Ibid.*, p. 216.

⁴ *Ibid.*, p. 213.

⁵ *Ibid.*, p. 222.

⁶ *Ibid.*, p. 224.

cimales de π , résultant de l'interférence d'un rapport géométrique continu (entre le diamètre et la circonférence) avec la succession des nombres dans la numération décimale, et cela bien que chacune de ces deux opérations soit rigoureusement déterminée ainsi que leur interférence elle-même.

D'une manière générale, il y a donc de l'ordre dans la réalité et dans notre esprit, mais la multiplicité même des séries ordonnées entraîne leur indépendance à des degrés divers, puisqu'il n'y a plus de lien étroit entre les séries collatérales : or, l'interférence des séries indépendantes, c'est-à-dire dans le langage dont nous nous sommes servi jusqu'ici, le mélange des objets ou des rapports, constitue une réalité nouvelle, à la fois distincte et complémentaire de l'ordre, et qui est le hasard. En soumettant alors le hasard au calcul des combinaisons, il s'ensuit, d'une part, la théorie mathématique des probabilités, et, d'autre part, son application à la réalité physique lors d'épreuves en nombre suffisant : « c'est en ce sens que la *probabilité mathématique* peut être considérée comme la mesure de la *possibilité physique de l'événement* »¹. Quant à l'induction, elle n'est que le mode de raisonnement adapté à ce probabilisme : Cournot la compare à la méthode de l'« essayeur », qui juge de la bonne ou mauvaise fabrication d'un lot de pièces de monnaies en en pesant quelques échantillons choisis au hasard »².

Cette importante doctrine fournit assurément la plus élégante conciliation que l'on puisse concevoir entre le déterminisme causal ou l'ordre rationnel et le hasard envisagé à titre de réalité positive, mais la simplicité même de l'accord ainsi formulé repose cependant sur un double postulat que l'état actuel des recherches conduit à réexaminer : le postulat selon lequel l'ordre rationnel « subjectif » correspond à un ordre physique objectif, tel que les rapports simples et réversibles constituent le fait premier, et selon lequel seuls les entrecroisements de ces rapports simples entraîneraient secondairement le hasard « avec toutes ses conséquences ». Or, est-il toujours certain qu'un mélange physique, sur lequel le calcul des probabilités a seul prise, sans aucune possibilité d'analyse des séquences isolées, résulte d'une combinaison de telles séquences, concevables simultanément comme isolables en droit et comme interférant en fait ? Certes, il existe une analogie impressionnante, sur laquelle Cournot a eu le grand mérite d'insister d'emblée : c'est que des opérations mathématiques, rigoureusement déterminées, donnent lieu, lors-

¹ *Matérialisme*, p. 232.

² *Ibid.*, p. 237.

qu'elles interfèrent en conservant leur indépendance, à une dispersion fortuite. Le remarquable exemple de Cournot sur le nombre π a été complété depuis par bien d'autres (la dixième décimale des logarithmes, etc.). Mais de ce que ce hasard par entrecroisement d'opérations réversibles vérifie à coup sûr la thèse de Cournot quant à l'interférence des séries rationnelles, on ne saurait conclure, si ce n'est par une simple analogie qui risque d'être trompeuse, à une structure parallèle du hasard physique lui-même du moins à une certaine échelle. Il se pourrait au contraire que, dans la réalité matérielle, le fortuit et l'irréversible fussent primitifs et que seule la loi des grands nombres appliquée à notre échelle d'observation permit à la raison d'ordonner les phénomènes selon des rapports simples et réversibles : partant alors de ceux-ci et constatant qu'effectivement leur interférence produit déjà du hasard sur le plan macroscopique, nous généraliserions illégitimement ce mécanisme à toutes les échelles, sans nous douter que seule une abstraction subjective nous a conduit à isoler ces rapports simples et à les considérer comme premiers.

Sans anticiper sur l'examen des positions prises par les spécialistes de la microphysique contemporaine, auxquelles nous allons consacrer tout un chapitre, constatons pour le moment que cette conception du primat du hasard par rapport au déterminisme a été développée par plusieurs physiciens tels qu'A. Eddington dans ses « *Nouveaux sentiers de la science* » et Ch. Eug. Guye dans ses deux ouvrages sur « *L'évolution physico-chimique* » et « *Les frontières de la physique et de la biologie* ». Après avoir montré comment les lois statistiques, d'abord réservées aux sciences sociales et biologiques en vertu de leur complexité extrême, ont conquis le terrain des sciences exactes, Ch. Eug. Guye conclut : « Il semble même que ces dernières, et particulièrement la physico-chimie ne doivent leur nom de sciences exactes qu'à la loi des grands nombres, qui rend généralement les effets de fluctuations inappréciables »¹. « De façon générale, soutient-il encore, on peut dire que le déterminisme de tous les phénomènes physiques et chimiques — qu'on les envisage à l'échelle physico-chimique, moléculaire et atomique, ou infra-atomique — tend de plus en plus à être considéré par les physiciens comme un « déterminisme statistique » ;²... « la notion d'un *déterminisme absolu* pourrait bien être une de ces notions que M. Langevin appelle « familières ».

¹ *L'évolution physico-chimique*, p. 79.

² *Frontières*, p. 98.

Elle nous viendrait, en grande partie du moins, de l'observation macroscopique des phénomènes et notamment de l'étude de la mécanique à notre échelle d'observation. Peut-être serons-nous appelés un jour à nous en débarrasser tout à fait au fur et à mesure des progrès de la science ». « Ce jour-là le déterminisme absolu ne nous apparaîtrait plus que comme une *illusion macroscopique* »¹. « En définitive, il semble que la notion de déterminisme tende de plus en plus à devenir « relative » et qu'elle dépende en grande partie de l'échelle à laquelle il convient de nous placer. Dans chaque échelle, le déterminisme se trouve, en effet, modifié par des fluctuations individuelles imprévisibles »².

Il importe, pour discuter la valeur épistémologique d'une telle conception, de distinguer avec soin la question des procédés de connaissance, qui seule nous regarde ici, de la question physique de la nature de la réalité elle-même. On sait assez combien les philosophes ont cherché à utiliser le déterminisme statistique (avant même de tabler sur le principe d'indétermination de la microphysique actuelle) pour justifier la notion de contingence. Selon A. Reymond, p. ex., le calcul des probabilités supposant l'équipossibilité des cas sur lesquels porte l'analyse des combinaisons, cette égalité des cas possibles impliquerait alors elle-même une indétermination de fait (et par conséquent la contingence)³. Mais, à constater que le hasard intervient même dans l'interférence des séries opératoires (comme dans l'exemple du nombre π de Cournot), où la détermination est cependant rigoureuse, on ne peut s'empêcher de penser que l'équipossibilité ne constitue pas une indétermination en soi, mais simplement une indétermination par rapport à la seule connexion des séries considérées : l'indétermination est, en ce cas, d'ordre subjectif, et non pas nécessairement objectif, c'est-à-dire que le sujet, n'étant en possession que des deux opérations envisagées, ne peut pas déterminer par leur seul moyen leurs intersections. P. ex. si l'on pose entre trois classes la relation binaire $A + A' = B$, on sait que si x est A il est nécessairement B ; mais si l'on sait seulement que x est B , sans préciser s'il est A ou A' , il peut être alors A ou A' : la relation d'inclusion reste alors indéterminée parce qu'uninaire, faute de faire intervenir les opérations binaires inverses $B - A = A'$ ou $B - A' = A$. Il y a donc, en ce cas, indéter-

¹ *Frontières*, p. 99.

² *Frontières*, p. 100.

³ A. REYMOND, *Philosophie spiritualiste*, I, p. 364-6.

mination subjective par manque d'une opération nécessaire (à l'ensemble binaire), et non pas indétermination objective, et il en est ainsi de toutes les interférences entre opérations, où le résultat n'est jamais fortuit, c'est-à-dire indéterminé, que faute d'une ou plusieurs opérations de plus. La notion d'équipossibilité est donc essentiellement relative, et il n'est d'ailleurs nullement indispensable qu'elle soit absolue pour que les possibilités contenues dans un rapport indéterminé donnent prise au calcul probabiliste. C'est pourquoi les mathématiciens ont actuellement écarté cette notion de l'équipossibilité comme notion fondamentale du calcul des probabilités, à cause précisément de son imprécision et de la difficulté qu'il y a à la définir : on part simplement d'« une « distribution » X dont on associe la variable (ou le groupe de variables) aux résultats de la « classe d'expériences considérée »¹.

Bref, le succès de l'application du calcul des probabilités à un domaine donné de phénomènes ne prouve il lui seul ni l'indétermination objective de ces phénomènes ou leur contingence ni leur détermination sous-jacente. Par contre, la substitution forcée du déterminisme statistique au déterminisme absolu est toujours l'indice du caractère incomplet de nos opérations et la question est alors d'établir par d'autres moyens si cette indétermination opératoire tient à l'insuffisance de nos instruments matériels et mentaux d'investigation ou à la réalité elle-même.

Or, avant d'examiner la réponse fournie à ce problème par la microphysique contemporaine (voir chap. VII), il est un point essentiel à souligner une fois de plus à cet égard : c'est que le caractère complet et bien déterminé de nos opérations, ou leur caractère incomplet et par conséquent indéterminé dépend, dans la réalité physique, de l'échelle des phénomènes. En effet, tant les auteurs qui admettent une indétermination objective sous le déterminisme statistique (comme Eddington ou Ch. E. Guye) que ceux qui maintiennent le postulat d'un déterminisme nécessaire même au niveau infrastatistique, si l'on peut dire (comme M. Planck), s'accordent à relever le rôle de l'échelle d'observation dans la nature déterminée ou statistique des lois de la physique. C'est ainsi que Ch. E. Guye, dont nous venons de citer les propos indéterministes, écrit : « L'« échelle d'observation » crée le phénomène »² et donne comme exemple un gaz parfait qui, à l'échelle molécu-

¹ L. FÉRAUD, *Paramètre ignorable dans une loi de probabilité*, C. R. des séances de la Soc. de Physique de Genève, t. 62, p. 58 (1945).

² *Frontières*, p. 6-7.

laire présente une « complexité quasi inextricable » mais qui à notre échelle d'observation donne lieu à des lois très précises, ensuite des compensations statistiques (p. ex. la loi de Mariotte). Or, contrairement à cet auteur, Planck déclare qu'en physique « la détermination exacte des probabilités n'est possible que si les phénomènes élémentaires ultimes, dits microscopiques, obéissent uniquement à des lois dynamiques [= nécessaires]. Bien que l'observation, en raison de la grossièreté de nos sens, ne puisse rien nous faire connaître de ces lois, le postulat de leur caractère absolument universel et nécessaire reste cependant le fondement indispensable de toute statistique »¹. Mais malgré cette profession de foi si opposée au courant actuel, Planck poursuit en concluant que « le dualisme qui oppose lois statistiques et lois dynamiques [= nécessaires] est étroitement lié à l'opposition du macrocosme et du microcosme »², donc à des questions d'échelle.

Ce n'est pas, certes, aux épistémologistes à trancher le débat de savoir s'il existe, sous le déterminisme statistique, un infradéterminisme absolu, mais bien aux physiciens eux-mêmes ; et ils semblent avoir aujourd'hui résolu le problème dans un sens négatif, exactement contraire à celui de M. Planck³. Mais ce qui est intéressant pour l'épistémologie, c'est que Planck lui-même considère son infradéterminisme comme inaccessible à l'analyse, donc comme inconnaissable à part son existence simplement « postulée ». Ainsi les partisans comme les adversaires de l'infradéterminisme se trouvent d'accord sur deux affirmations essentielles, du point de vue de la connaissance : l'une est que notre mode de connaissance varie selon l'échelle du phénomène, cette échelle comme telle, « créant » même le phénomène selon la forte expression de Ch. E. Guye ; l'autre est que si les notions de déterminisme absolu ou de « lois dynamiques » propres à l'échelle supérieure s'appliquent aux mécanismes réversibles, donc susceptibles d'être détaillés et déroulés dans les deux sens, le déterminisme statistique exprime, par contre, le caractère global et irréversible des systèmes dont le détail, situé à l'échelle inférieure, est trop complexe pour être analysé en lui-même.

On voit alors la portée épistémologique de ces deux constata-

¹ *Initiations à la physique*, p. 63-4. Voir aussi p. 110.

² *Ibid.*, p. 64.

³ Cf. DE BROGLIE, *Continu et discontinu en physique moderne*. Paris (A. Michel) et EDDINGTON, *Nouveaux sentiers de la science*, Hermann 1936 (voir en particulier au chap. IV, la réfutation de la thèse infradéterministe du « Prof. Planck »).

tions réunies : c'est que la réversibilité des phénomènes est en partie relative à l'échelle de notre action possible sur eux, tandis que l'irréversibilité, solidaire du caractère simplement probable des lois statistiques, est en partie relative aux limites de notre action.

Considérons de ce point de vue les phénomènes mécaniques, modèle du déterminisme absolu et de la réversibilité causale : les notions d'objet, de mouvement, de vitesse le long de trajectoires continues, d'accélération, etc. qui les caractérisent correspondent toutes à des opérations simples de l'esprit, c'est-à-dire à des actions du sujet présentant le double caractère de mordre sur la réalité considérée et de traduire les transformations possibles du corps propre autant que des corps extérieurs. De la mécanique céleste aux oscillations électriques, il y a un système de phénomènes qui, bien qu'échappant aux deux extrêmes à notre action directe, sont assimilables aux schèmes de cette action, c'est-à-dire aux compositions opératoires réversibles, et cela parce que l'observation et l'expérimentation sont fonction des interactions entre notre corps et ceux qui agissent sur lui à son échelle.

Considérons au contraire les faits de conductibilité, de diffusion, de frottement, de rayonnement, de destruction des atomes dans les substances radioactives et d'autres mécanismes irréversibles à l'explication desquels le principe de moindre action ne suffit plus. Contrairement aux mécanismes réversibles qui, comme dit Planck « présentent l'inconvénient de n'être qu'idéals » mais qui expriment par cela même nos possibilités d'agir et d'opérer sur l'univers, ils sont situés à l'échelle de l'irreprésentable faute d'opérations de notre part qui soient susceptibles de traduire leurs processus intimes. Mais que se passerait-il si, au lieu d'être en possession de corps propres d'une certaine dimension, doués de mouvement, d'activité musculaire, de perception des objets à grandeurs, réelles ou apparentes analogues à la nôtre, etc., nous étions en possession d'organes tout différents, sensibles aux changements d'états et non pas aux mouvements, et de dimensions telles que nous agirions sur les éléments microscopiques et non pas macroscopiques ? La réversibilité de nos opérations demeurerait-elle liée aux lois mécaniques, ou construirions-nous, à cette autre échelle, un système de rapports idéaux là où nous ne concevons actuellement, dans nos conditions réelles d'activité, que du global irréversible ?

Tel est le vrai problème épistémologique de l'irréversibilité.

Le déterminisme absolu est lié à des opérations réversibles, idéales mais donnant prise à une action indéfinie et effective sur les choses à l'échelle humaine. Une telle forme de déterminisme est, par le fait même de sa relativité à cette échelle humaine, un produit de l'activité du sujet au moins autant que de la nature des objets. Au contraire, le déterminisme statistique, qui remplace les compositions opératoires complètes par un système d'opérations combinatoires portant sur les ensembles seuls est l'expression des limites de notre action sur les choses et ne saurait par conséquent être compris qu'en fonction de ces limites mêmes. Ainsi la vraie signification du probabilisme est de marquer les limites de l'action du sujet, action entièrement déterminée par les compositions réversibles qu'elle introduit dans le réel à une certaine échelle, mais indéterminée dans le détail lorsqu'elle en dépasse les limites, tout en restant partiellement déterminée quant aux « grands nombres », c'est-à-dire aux ensembles suffisamment compacts pour permettre la continuation probable de cette action¹. Le principe de l'induction n'exprime pas autre chose que cette assimilation du réel aux opérations, dont l'esprit affirme qu'elles seront toujours efficaces là où elles ont pleinement réussi, et avec une probabilité appréciable là où leur réussite a été partielle.

Mais, de même que, historiquement, l'analyse thermodynamique et statistique a engendré les premiers travaux sur la microphysique, de même épistémologiquement, le problème que nous venons de rencontrer se retrouve, profondément renouvelé, dans l'évolution des notions propres à ce nouvel aspect de la physique. C'est ce qui nous reste à examiner maintenant.

¹ Ce problème des limites de l'action eu égard à l'indétermination relative des événements individuels rejoint la célèbre question de la valeur de la probabilité d'un événement isolé. On sait que pour certains mathématiciens comme V. Mises et Reichenbach, toute probabilité est relative à une collection d'événements. D'autres auteurs comme E. Borel ont au contraire voulu sauvegarder l'intuition de la probabilité d'un événement unique, p. ex. le jugement d'un médecin sur le décès probable d'un tuberculeux atteint d'une forme rare de la maladie (de telle sorte que sa classe « se réduirait à la limite à un cas unique » : *Valeur pratique et Philos. des probabilités*, p. 88) ; Mais nous, avons cherché à montrer ailleurs (*La genèse de l'idée du hasard*, chap. X), que de telles intuitions probabilistes isolées sont psychologiquement toujours relatives à des expériences antérieures, c'est-à-dire à une table implicite de distributions. De même qu'en logique la compréhension et l'extension sont nécessairement solidaires et que le « nécessaire » en compréhension correspond au « toujours » en extension, de même les évaluations probabilistes portant sur les événements qualifiés se réfèrent nécessairement à une distribution, et réciproquement, le plus ou moins « probable » en compréhension correspondant ainsi au plus ou moins « fréquent » en extension.

CHAPITRE VII

LES ENSEIGNEMENTS EPISTEMOLOGIQUES DE LA MICROPHYSIQUE

L'interprétation probabiliste de la thermodynamique, conjuguée avec la théorie cinétique des gaz et avec la renaissance de l'atomisme, ont déjà à elles seules renouvelé les manières de penser du physicien. Que l'on songe, p. ex., à l'explication du mouvement brownien par Smoluchowski, fondée sur la probabilité des rencontres entre les molécules agitées par la chaleur et les particules en suspension dans les milieux colloïdaux, ainsi qu'à la vérification de cette hypothèse statistique par les travaux expérimentaux de J. Perrin, et l'on mesurera le chemin parcouru depuis les débuts de la mécanique classique et les « tourbillons » de la mécanique cartésienne. Mais, avec la découverte du caractère discontinu de l'énergie par Planck en 1900 et avec le prodigieux essor de la physique intra-atomique issue de la théorie des *quanta*, c'est la portée de presque toutes nos notions fondamentales qui est remise en question, au point qu'on a pu croire à la nécessité d'une nouvelle épistémologie pour interpréter un tel bouleversement. Comme l'a finement dit Bachelard, la métaphysique traditionnelle est aujourd'hui à remplacer par une métamicrophysique ! Seulement le danger à éviter est alors de se contenter d'une micrométaphysique, comme celle des trop nombreux auteurs qui se sont empressés de vouloir justifier une fois de plus la liberté humaine, en la fondant sur le principe d'indétermination d'Heisenberg... Mais, si l'on s'en tient au seul problème épistémologique, la microphysique verse assurément un ensemble impressionnant de faits nouveaux au dossier de l'analyse de la connaissance scientifique.

Le fait principal, à cet égard, est l'évanouissement de la notion de l'objet individuel lui-même, en dessous du seuil d'indétermination. Or, cette disparition, loin de contredire ce que

nous avons vu jusqu'ici du rôle de l'action dans la connaissance, et du caractère opératoire des interprétations de la réalité physique, en paraît au contraire la meilleure des confirmations. Les concepts ordinaires de la pensée, ou, comme les a appelées P. Langevin, les notions « familières », constituent si bien, en effet, l'expression de l'action du sujet sur les objets qu'elles demeurent relatives à l'échelle de cette action même, et que, en dessous de cette échelle, c'est-à-dire lorsqu'apparaissent les limites des activités expérimentales effectives, ces notions se révèlent toutes plus ou moins inadéquates. Le déterminisme statistique et l'interprétation probabiliste des ensembles trop complexes pour être analysés ont remédié jusqu'à un certain point à ces difficultés, et c'est ce que nous venons de constater au cours du chap. VI. Mais, à vouloir descendre sous l'apparence globale, et à vouloir atteindre le détail des phénomènes à l'extrême limite de nos moyens actifs ou pratiques d'investigation, la pensée physique a fait, en fin de compte une expérience décisive, sur laquelle il nous faut insister maintenant : c'est que les limitations mêmes de l'action se traduisent nécessairement par une transformation de la pensée comme telle !

On dira que cette corrélation est bien naturelle, et il est assurément facile de le dire après coup. Mais replacée dans la perspective antérieure à celle des travaux actuels, chacun aurait admis que les obstacles rencontrés dans l'action même de l'expérimentateur sur des objets trop petits pour être modifiés à volonté par elle sont simplement de nature à empêcher une application précise des notions classiques, sans pour autant nécessiter leur refonte totale (nous venons de voir p. ex, que Planck lui-même continue de « postuler » l'existence d'un infradéterminisme, tout en le déclarant radicalement inaccessible à nos moyens d'analyse : il a fallu une génération nouvelle de chercheurs, issus de ses travaux, pour parvenir à la liberté d'esprit nécessaire et pour pouvoir s'affranchir de ce que les générations antérieures, et Planck en personne, prenaient pour des évidences). L'impossibilité où se trouve le physicien, pour rappeler un exemple aujourd'hui bien connu, de déterminer simultanément la position et la vitesse des particules (parce que l'observation de leur position exige un éclairage qui modifie leur vitesse) aurait paru une simple difficulté expérimentale ou pratique, sans conséquence quant à l'emploi de la notion d'objet. Lorsque la particule, aurait-on dit, ne se trouve pas dans la situation artificielle où la place la recherche

de laboratoire d'être bombardée par les photons émanant de la source de lumière utilisée par l'expérimentateur, elle a objectivement et indépendamment de nous, une vitesse et une position simultanément déterminées, bien que non déterminable : rien n'est donc à changer, aurait-on ajouté, à nos manières de *penser* du seul fait de notre impuissance à *agir* à cette échelle trop petite, pas plus que l'éloignement d'une étoile, calculé en années lumières, n'exige que nous renoncions à la situer dans le même espace et le même temps que ceux de l'observateur et à synchroniser au moyen d'une simultanéité absolue les événements se produisant sur cette étoile avec ceux de l'univers entier. Or, de même que les mesures spatio-temporelles aux grandes vitesses, sont relatives à la vitesse des déplacements de l'observateur par rapport au mesuré, de même, mais de façon bien plus fondamentale encore, il s'est trouvé que, non seulement les notions de temps et d'espace intervenant dans la description du comportement des éléments microscopiques, mais encore l'ensemble des concepts indispensables à cette analyse ont dû être modifiés du seul fait des limitations de l'action à cette nouvelle échelle. C'est donc bien la solidarité reconnue des moyens d'action et de la structure des notions ou de la pensée, qui constitue le fait nouveau essentiel de la connaissance microphysique, et un tel fait n'a rien de naturel si on cherche à se le représenter dans la vision des choses d'un Descartes, d'un Newton, d'un Laplace, d'un Clausius (et, en partie, d'un Max Planck lui-même !).

Un fait décisif est, en outre, que cette relativité des notions par rapport à l'échelle de l'action exercée sur les micro-éléments ne signifie nullement un retour à l'anthropomorphisme, pas plus que la relativité propre à la mécanique einsteinienne n'a conduit à un affaiblissement de l'objectivité. Bien au contraire, les limites de l'action nous renseignent sur le réel autant que sur le mécanisme de la connaissance, et les découvertes de la microphysique se sont présentées aussi bien sous la forme d'une résistance des données expérimentales aux anticipations fondées sur les actions et les notions propres à l'échelle macroscopique, que sous la forme de nouvelles expressions mathématiques rendues nécessaires pour traduire l'action expérimentale à la nouvelle échelle (utilisation des « opérateurs »).

Historiquement, c'est le problème de la répartition de l'énergie dans le spectre normal de l'émission thermique qui a conduit Max Planck à découvrir le caractère discontinu de

l'énergie, autrement dit l'existence de *quanta* dynamiques. On pourrait dire, en ce cas, que le réel a imposé de façon imprévue un irrationnel de plus à l'effort déductif du physicien, en montrant l'impossibilité d'expliquer par la théorie classique du rayonnement les répartitions observées à l'intérieur d'une enceinte impénétrable. Mais réciproquement l'introduction d'une nouvelle algèbre pour exprimer ces données imprévisibles de l'expérience a permis ensuite à L. de Broglie de déduire de nouveaux résultats (les ondes matérielles) que l'expérimentation a confirmés ultérieurement d'une manière éclatante. C'est donc une fois de plus, et sur ce terrain neuf comme dans tous les autres domaines de la physique, l'union de la déduction et de l'expérience qui a peu à peu conduit à poser le problème général dont nous parlons ici : comment ajuster les notions du sujet à une échelle où l'action sur les objets devient si grossière, eu égard, à leur petitesse, qu'elle modifie profondément les réalités sur lesquelles elle porte au lieu de permettre de les manier sans les altérer et de les observer du dehors ?

Notons, pour terminer ces remarques introductives, que cette interaction particulière du sujet et des objets, modifiant ceux-ci par le fait de leur disproportion d'échelle avec celui-là, nous ramène, mais à l'autre extrémité de la série des échelles, au problème déjà rencontré au chap. IV à propos de la relativité : que devient la connaissance quand les actions du sujet sont intégrées dans les transformations mêmes qu'il étudie ? Mais tandis qu'à l'échelle de la mécanique céleste c'est l'observateur qui est entraîné avec ses instruments de mesure, dans les systèmes objectifs qu'il ne peut ainsi étudier du dehors, mais doit reconstituer par la coordination de ses propres opérations, à l'échelle microphysique c'est la transformation objective qui est entraînée avec ses propriétés métriques dans l'action du sujet, de telle sorte que celui-ci ne peut plus non plus les étudier du dehors et doit les reconstituer à nouveau par le mode d'enchaînement de ses propres opérations.

§ 1. L'INTERPRETATION MICROPHYSIQUE DES RELATIONS SPATIALES. — L'un des aspects les plus intéressants du système des nouvelles notions microphysiques a trait à la géométrisation du réel. Sous l'influence de la mécanique classique la physique n'a cessé dans les temps modernes de chercher à expliquer les phénomènes par les figures et les mouvements, selon l'idéal cartésien, adjoignant à cela les forces mais en tant que tac-

teurs d'accélération (donc à nouveau des variations de mouvements) ainsi que les masses et les énergies, mais conçues à nouveau comme géométrisables. La première difficulté sérieuse rencontrée sur ce chemin a été précisément constituée par les problèmes relatifs aux phénomènes irréversibles et principalement à l'entropie, qui se présente comme un changement d'état plus que comme une transformation de caractère géométrique. Mais là encore, l'interprétation probabiliste du deuxième principe de la thermodynamique est compatible avec une représentation cinématique de la dégradation de l'énergie et l'implique même jusqu'en un certain point.

Mais avec la microphysique les choses changent et l'importance croissante de la notion d'« état » soulève la question, sinon de la valeur universelle de l'explication géométrique, du moins des transformations qu'il est nécessaire d'introduire dans les schémas spatiaux pour qu'ils demeurent adéquats à une telle échelle de phénomènes. C'est ainsi que, au début de ses travaux, Niels Bohr a donné de l'atome une image planétaire, les électrons étant censés graviter autour du noyau atomique selon un système d'interactions dans lequel l'électricité aurait joué le rôle de la gravitation. Mais il s'est trouvé que l'écueil d'une telle interprétation tenait au problème de la stabilité du système, donc à celui des états : alors que le système solaire est stable, en vertu de la seule gravitation (dont on se rappelle l'explication géométrique einsteinienne, par les courbures de l'espace déformé par les masses), la stabilité de l'atome ne saurait être assurée sans plus par les interactions électriques. Il est alors apparu comme impossible d'attribuer aux électrons une trajectoire comparable, autour du noyau de l'atome, à celle des planètes autour du soleil, et la représentation géométrique elle-même de la structure interne de l'atome a donné lieu à des révisions successives qui la rendent, non seulement radicalement différente des modèles macroscopiques, mais même à proprement parler irreprésentable. D'où le grand intérêt épistémologique d'une science obligée à un tel renversement de points de vue : la considération des états stables primant celle des mouvements, la recherche en est réduite à se passer de la représentation intuitive. « Nous n'avons aucune intuition des processus atomiques, dit ainsi Heisenberg. Heureusement le traitement mathématique des phénomènes n'exige pas une telle intuition. » Et encore : « il est manifeste que l'application simultanée, sans critique, des deux représentations ondulatoire et corpusculaire conduit à des contradictions immédiates. On peut

donc en conclure que l'emploi de ces représentations doit avoir des limites fixées par la nature »¹.

Il convient à cet égard de faire deux remarques préalables. L'une est que la hardiesse des retouches apportées à la représentation des relations spatiales en microphysique a été rendue possible par les leçons que l'on doit à la théorie de la relativité. Convaincus de la relativité des grandeurs et des structures géométriques par rapport aux vitesses et par rapport aux champs à l'intérieur desquels se font les mesures, les micro-physiciens n'ont pas hésité à considérer les notions spatiales de caractère macroscopique comme ne conservant pas *a priori* leur valeur à l'échelle microscopique. Dès lors, là où la trajectoire d'un objet microscopique est devenue irréprésentable, les microphysiciens ont préféré sacrifier la représentation géométrique et la généralité même de l'idée de trajectoire à l'expression analytique des faits observés plutôt que de rester fidèles à des notions d'une autre échelle, dont l'exemple de la théorie de la relativité leur enseignait par analogie qu'elles n'avaient rien d'intangible.

En second lieu, il faudrait insister dès maintenant sur un caractère fondamental de la pensée microphysique, sur lequel nous serons conduits à revenir souvent : c'est le primat accordé à la réalité expérimentale stricte, à ce que Dirac appellera l'« observable », par opposition aux principes généraux, qui sont toujours suspects de ne présenter qu'une signification relative aux échelles macroscopiques. Or, ce primat de l'« observable » comporte deux significations principales. En premier lieu, l'observable est loin de constituer une simple donnée sensible, passivement enregistrée : il est le résultat, observé sans présupposition, d'une action expérimentale exercée sur le réel, c'est-à-dire d'une intervention active modifiant l'objet et donnant lieu à une manifestation mesurable. Il y a donc, ici comme dans le domaine de la relativité, une sorte de délégation de pouvoir de l'observateur en faveur de la mesure, et d'une mesure impliquant une étroite solidarité entre le mesurant et le mesuré. En second lieu l'observable est directement traduit en symboles opératoires, de caractère mathématique mais entièrement libres à l'égard de la représentation géométrique. Les opérations (ou plus précisément, comme nous y insisterons plus loin, les opérateurs) mathématiques, exprimant l'observable sont

¹ HEISENBERG, *Principes physiques de la théorie des quanta* (trad. CHAMPION et HOCHARD), Gauthier-Villard (1932), p. 8.

donc, en quelque sorte, le prolongement, sur le plan de la pensée déductive, des actions expérimentales ayant permis de le mettre en évidence, l'action précédant parfois l'opération intellectuelle qui la prolonge, mais pouvant être également suggérée par le jeu même des combinaisons opératoires d'ordre déductif.

On peut citer, à cet égard, un passage bien suggestif de L. de Broglie. Il est certaines régions d'un champ microscopique, nous dit cet auteur, dans lesquelles on peut suivre et localiser des corpuscules individuels ; « mais si, à un certain instant, il y a superposition, même partielle, des dites régions, il devient impossible de suivre d'une façon certaine l'individualité des corpuscules, un échange de rôles pouvant alors se produire entre eux sans qu'on puisse aucunement s'en apercevoir ultérieurement »¹. La situation est donc comparable, pour deux particules, à celle de deux jumeaux indiscernables dont on peut suivre l'individualité s'ils voyagent séparément mais dont on ne saurait déterminer duquel il s'agit s'ils sont entrés ensemble dans un bâtiment et qu'un seul ressort ensuite. « Et il est bien évident cependant, ajoute L. de Broglie, que notre incapacité à suivre le fil de ces deux individualités n'empêche pas nos jumeaux d'être des individus autonomes. Toutefois il faut ici remarquer que la physique contemporaine a une tendance nette à adopter une attitude phénoméniste et à considérer comme de pseudo-problèmes les problèmes qui ne peuvent d'aucune façon être tranchés par l'expérience. Si l'on adopte ce point de vue, la question de savoir si l'individualité des particules persiste lorsqu'elle n'est pas susceptible d'être suivie doit être considérée comme un pseudo-problème »².

Ce que L. de Broglie appelle « phénoménisme » en cet exemple frappant constitue, on le voit, le contraire du phénoménisme traditionnel, qui est sensualiste et passif : il signifie proprement que les notions gardent leur sens pour autant seulement qu'elles accompagnent une action effective et que, quand l'action de suivre une particule individualisée n'est pas possible, la notion de l'objet individuel perd son sens. C'est à peu près ainsi que, au niveau sensori-moteur de l'intelligence, le bébé ne croit pas à la permanence de l'objet individuel tant qu'il ne peut pas le retrouver par des actions coordonnées (remplaçant la notion de permanence par des schèmes de résorption et de réapparition), et qu'il en construit au contraire la notion sitôt

¹ D. DE BROGLIE, *Continu et discontinu en physique moderne*, p. 122.

² *Ibid.*, p. 123.

que les actions de retrouver peuvent être effectuées systématiquement et organisées entre elles grâce au groupe pratique des déplacements (voir chap. V § 1). Mais le caractère singulièrement surprenant de la manière de penser du microphysicien (et ce qui distingue son phénoménisme actif de celui du bébé) est que, non seulement il se refuse ainsi à admettre des notions qui dépassent l'action effective, mais encore il construit tout un système d'opérations intellectuelles et mathématiques pour traduire déductivement cette disparition de l'objet sur le plan de l'action expérimentale : le jeu des fonctions d'ondes anti-symétriques ou symétriques, les symboles de l'« état » et de l'« observable » sont là pour exprimer opératoirement les évanouissements et les réapparitions de l'objet en un système de notions à la fois mathématiquement rigoureuses et ne dépassant pas le cadre de ce qui peut être réellement atteint au cours de la manipulation pratique !

Il va de soi, dès lors, qu'en un tel système de notions, l'espace et le temps ne sauraient conserver les structures qu'ils présentent à l'échelle macroscopique. La localisation dans l'espace ou l'instant temporel, les trajectoires ou les durées, les grandeurs et les mesures, bref toutes les notions usuelles subissent, du fait même des limites de l'action expérimentale sur les objets physiques, et de la volonté de ne pas dépasser ces limites par une extrapolation illégitime de la pensée, un profond remaniement.

Le problème de la localisation dans l'espace est, à cet égard, particulièrement intéressant. Comme l'a montré G. Bachelard avec son talent habituel¹, le postulat essentiel du réalisme a toujours été la croyance en une localisation possible des objets, localisation grossière de la « place » occupée ou localisation affinée et ponctuelle. Or, si la localisation « peut donner des certitudes à l'égard d'une *action d'ensemble* » (p. 22), elle cesse de présenter une signification précise en microphysique parce que, à cette échelle, « la structure interne de la cellule topologique est une *structure de probabilité* » (p. 35). Un élément microcosmique n'étant pas individualisable, il n'est pas localisable ; plus précisément, c'est parce qu'il n'est pas localisable qu'il ne constitue pas un objet individualisé : « 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 » (p. 33). Et il en est ainsi parce que « l'expé-

¹ G. BACHELARD, *L'expérience de l'espace dans la physique contemporaine*, Presses Univ., 194.

rience de la 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 » (p. 35-6). « On ne pourrait toucher l'infiniment petit sans lui donner une vitesse infinie... Le contact est une notion de l'expérience macroscopique qui n'a pas de sens en microphysique » (p. 55-6). Autrement dit « une chose » est « toujours solidaire d'un événement » (p. 34), et le seul événement observable en microphysique est un événement provoqué par l'action de l'expérimentateur et par une action qui, étant donnée son échelle, est à la fois transformation et déplacement : « il est désormais impossible, au niveau de l'élément, de séparer géométrie et énergétique » (p. 38). « 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 sorte plus profond, moins uniquement géométrique, puisqu'il lie la géométrie et la dynamique » (p. 48). D'où enfin la frappante formule de Bachelard : pour la microphysique « enfermer c'est agiter », tandis que pour le réalisme courant « enfermer c'est stabiliser » (p. 48).

On voit ainsi de la manière la plus instructive que, à la limite inférieure de l'action sur le réel, la localisation suppose une intervention active du sujet et se trouve, par le fait même, contradictoire sous sa forme statique et ponctuelle. Un autre exemple cité par L. de Broglie fera comprendre l'attitude du physicien à cet égard. Soit un écran percé de trous au travers desquels passe un photon dirigé vers une plaque photographique qui enregistre les franges d'interférences : « ... la question de savoir... par quel trou a passé le photon n'a aucun sens, parce que le photon ne se manifeste par aucune action qui serait exercée lors de son passage à travers l'écran et n'exerce finalement une action que sur le dispositif (plaque photographique) qui enregistre les franges. On pourrait évidemment chercher à mettre en évidence le passage du photon par l'un des trous, mais alors il faudrait monter un dispositif sur lequel agirait le photon lors de son passage par le trou en question ; or si le photon agissait sur ce dispositif, il deviendrait incapable de participer au phénomène d'interférence. On ne peut donc obtenir le phénomène d'interférence que quand il est impossible de dire par quel trou le photon a passé »¹. En présence d'une manière de raisonner aussi stupéfiante pour le réalisme vulgaire, on est tenté d'arrêter le savant : dites si vous voulez, qu'il vous est impossible de déterminer par quel trou a passé l'élément, mais ne dites pas que la question n'a pas de sens, car un œil capable, par hypothèse, de discerner

¹ *Le Continu et le discontinu*, p. 35-6.

un photon le suivrait sans peine et localiserait son passage exact. Mais la question est plus subtile, car rien ne prouve que, au cours de son mouvement, le photon était déjà le corpuscule localisable qu'il est devenu en frappant la plaque photographique. Il n'était là qu'à titre de « présence potentielle »¹ et sa présence réelle avait la forme de l'onde qui lui est associée. « On peut donc dire que quand le photon manifeste son aspect corpusculaire en se localisant, son aspect ondulatoire disparaît tandis qu'au contraire quand son aspect ondulatoire s'affirme, toute localisation traduisant sa nature corpusculaire est impossible. C'est là un des aspects du fameux principe d'incertitude de M. Heisenberg ». Bref, « le photon associé à l'onde ne se localise qu'au moment où se produit un phénomène observable »². Nous retombons ainsi sur la connexion intime entre l'idée microphysique de localisation et une intervention active de l'expérimentateur, dont l'action est nécessaire pour produire un « observable ».

S'il en est ainsi, il ne saurait non plus être question de trajectoires assignables : « pendant que le photon sera en train de se propager entre la source de lumière et la plaque photographique, avant d'avoir produit aucun effet observable, on ne pourra aucunement lui attribuer une trajectoire et seule la propagation de l'onde lumineuse associée nous permettra de représenter le déplacement du photon »³. Mais une onde ne constitue-t-elle pas elle-même une sorte de trajectoire ? Nullement, car l'onde associée à un corpuscule n'est qu'une « onde de probabilité », exprimant sans plus la probabilité de retrouver les corps, et elle ne correspond pas à un déplacement continu et simple. Il en est de même des électrons et de leurs ondes associées : « L'intensité de l'onde associée à une particule matérielle représenterait en chaque point la probabilité pour que la particule se manifeste par une action observable localisée en ce point »⁴.

D'une manière générale, « les relations d'incertitude s'opposent à ce que nous puissions jamais connaître à la fois la figure et le mouvement »⁵, ce qui revient à exclure le principe même de l'explication cartésienne. Plus nous déterminons la configuration d'un système atomique et moins nous connaissons son état dynamique, et réciproquement. « La localisation imparfaite des corpuscules à chaque instant ne permet plus de leur attribuer constamment une vitesse bien définie. Elle s'oppose aussi à ce que l'on puisse représenter par une trajectoire, c'est-à-dire par une courbe continue, la suite des positions

¹ *Ibid.*, p. 36.

² *Ibid.*, p. 37.

³ *Ibid.*, p. 35.

⁴ *Ibid.*, p. 40.

⁵ *Ibid.*, p. 73.

d'un corpuscule au cours du temps. Le déterminisme des mouvements, tel qu'il était conçu en mécanique classique, s'en trouve diminué et les incertitudes d'Heisenberg... en marquent en quelque sorte les limites »¹.

La différence essentielle entre les représentations microphysiques et l'espace de la cinématique classique tient à la discontinuité inhérente aux phénomènes microcosmiques et à l'existence du « quantum d'action ». « La notion même de quantum d'action implique, en effet, une sorte de liaison entre le cadre de l'espace et du temps et les phénomènes dynamiques que nous cherchons à y localiser, liaison tout à fait insoupçonnée de l'ancienne physique »². Dès lors « si l'on pouvait imaginer (mais en réalité on ne le peut pas, car que seraient ses organes sensoriels ?) un observateur microscopique poursuivant ses investigations à l'intérieur des systèmes atomiques, les notions d'espace et de temps n'auraient peut-être pour lui aucun sens : tout au moins n'auraient-elles pas du tout le même sens que pour nous »³. « Il est d'ailleurs bien difficile de prévoir comment on pourra, si un jour on le peut, remplacer les notions traditionnelles d'espace et de temps pour parvenir à une description plus adéquate des unités élémentaires et de leurs liens naturels, d'autant plus qu'il faudra bien toujours revenir, semble-t-il, à nos conceptions ordinaires pour exprimer les prévisions relatives aux résultats possibles des observations et des expériences »⁴.

Ces réflexions du grand physicien sont hautement instructives pour une épistémologie génétique, c'est-à-dire pour une théorie de la connaissance qui cherche à expliquer la destinée des notions scientifiques fondamentales par la manière effective dont elles ont pris naissance dans le comportement du sujet. On pourrait, en effet, se demander, comme l'a suggéré R. Wavre, non pas seulement ce que penserait un observateur intraatomique, mais ce que l'on découvrirait en étudiant un « bébé atomique », c'est-à-dire un être naissant à la pensée à l'échelle microcosmique, et ce que donneraient sur le développement de cet enfant des investigations psychologiques analogues à celles que l'on peut faire sur les sujets réels⁵.

En fait, il n'est presque pas besoin d'imaginer l'observateur microscopique ou le bébé atomique pour tirer la leçon psychologique que nous donne la pensée microphysique. Le microphy-

¹ *Ibid.*, p. 118.

² *Ibid.*, p. 66.

³ *Ibid.*, p. 71.

⁴ *Ibid.*, p. 121.

⁵ R. WAVRE, *Intuitions immédiates et médiates*. Mélanges A. Reymond (Rev. théol. phil.), Lausanne 1940, p. 137-145.

sicien contemporain s'impose, en effet, de lui-même à titre d'idéal scientifique une sorte de retour au primitif, mais de retour voulu et très lucide, suggéré par cette règle essentielle de la physique atomique de ne pas dépasser par la pensée les limites de l'observation. Opérant sur une réalité qui ne dévoile ses mystères que de façon toute fragmentaire, il découvre les objets et leurs propriétés par le moyen d'actions expérimentales très circonscrites, limitées sur chaque point par la force même des choses, et d'autant plus difficiles à coordonner entre elles qu'elles sont impossibles à effectuer simultanément. Il s'efforce alors de se refaire une mentalité vierge de toute notion pré-conçues dans la mesure où ses actions habituelles se trouvent à la limite de leur échelle opérative : il s'applique comme le tout jeune enfant, à ne croire aux objets que dans la mesure où il peut les retrouver, et ne veut connaître de l'espace et du temps que ce qu'il en peut construire, en reconstituant un à un les rapports élémentaires de position, de déplacement, de forme, etc.

Or, chose infiniment instructive, ce retour au primitif (comparable en un sens à la vision naïve que les grands peintres s'efforcent consciemment de retrouver) réussit doublement : il réussit physiquement, puisqu'il a obtenu d'éclatantes victoires théoriques et n'a que trop progressé dans ses applications techniques ; mais il réussit aussi psychologiquement, si l'on peut dire, puisqu'il rejoint effectivement certains aspects de l'espace physique génétiquement élémentaire, tout comme la topologie et la théorie des ensembles retrouvent ce qui est mentalement élémentaire sur le terrain de l'espace mathématique et de la construction du nombre. Si difficiles à saisir en leur formalisme physico-mathématique (que l'on a même, d'ailleurs, axiomatisé à la manière d'une théorie pure ¹) les « espaces abstraits » et les « espaces de configuration » dont use le physicien en se donnant des dimensions en nombre égal à celui des degrés de liberté du système considéré, ne traduisent, en effet, que le résultat des coordinations les plus directes que l'action de l'expérimentateur sur la réalité parvient à établir. Ce n'est ainsi pas seulement par ce qu'ils affirment, mais surtout par les connexions habituelles dont ils sont obligés de faire le sacrifice, donc par leur aspect négatif et pas uniquement positif, qu'ils sont révélateurs.

A cet égard, l'espace microphysique présente ce double in-

¹ J. L. DESTOUCHES, *Corpuscules et systèmes de corpuscules*, Paris (Gauthier- Villars).

têrêt de n'être pas toujours archimédien, c'est-à-dire de donner le pas aux notions topologiques d'entourage et d'enveloppement sur les notions métriques de distance et de mouvement ; et, d'autre part, de n'être pas continu mais de procéder par relations entre ensembles de points finis et discontinus au lieu de s'installer d'emblée dans le continu mathématique. Or, de ce double point de vue, les relations topologiques élémentaires, ni métrisables ni même continues au sens géométrique du terme, auxquelles l'espace microphysique est obligé de se limiter en général, sont assurément parentes des rapports topologiques concrets que l'on trouve au point de départ de la notion d'espace, avant toute mesure et avant que l'idée du continu soit généralisée aux espaces vides et pleins (chap. II § 7) : l'espace lié aux limites de l'action sur le réel tend donc à ressembler par certains de ses aspects à l'espace des débuts de toute action.

C'est ainsi que J. L. Destouches, dans ses essais si captivants d'axiomatisation des espaces abstraits nécessaires à la microphysique, part du rapport de voisinage, déterminé physiquement par des « expériences de localisation » qui aboutissent à la constitution de « cellules expérimentales ». Les voisinages de celles-ci constituent alors un « quasi-espace » de caractère fini, c'est-à-dire n'admettant qu'un nombre limité de corpuscules dans le voisinage d'un micro-objet donné, ce qui introduit le discontinu dans l'espace abstrait lui-même¹. La distance métrique est en ce cas supplantée par le voisinage statistique. Quant aux espaces de configuration, qui permettent d'étudier la propagation d'« ondes de probabilités » en attribuant $3N$ dimensions à un système de N particules données, il ne s'agit plus de modèles concrets, mais de l'expression opératoire la plus libre de toute représentation, de l'observation probabiliste des faits.

De ces espaces à caractère « abstrait-concret » comme dit G. Bachelard, c'est-à-dire dont « les thèmes d'abstraction sont propres à fournir des cadres de réalisation »², on peut ainsi conclure que leur caractère épistémologique essentiel n'est pas de chercher l'élémentaire dans le plus général, comme c'est le rôle de la topologie proprement géométrique ou de la « métrique générale » de caractère mathématique : il consiste au contraire à traduire en opérations de pensée aussi dépouillées

¹ J. L. DESTOUCHES, *loc. cit.*, t. 1, p. 93.

² BACHELARD, *L'expérience de l'espace*, p. 124-134.

que possible les opérations de l'action elle-même aux prises avec une réalité dont il s'agit de reconstruire pas à pas les rapports internes, sans la possibilité d'une vision d'ensemble autre que statistique. Ce sont donc des espaces qui expriment les actes de coordination et d'organisation du sujet agissant sur la réalité corpusculaire, autant que les rapports découverts entre les micro-objets. Comme l'espace élaboré par l'activité psychologique initiale, ces espaces situés à l'échelle-limite de notre expérimentation sont donc des espaces d'action et ne fournissent pas la représentation d'un cadre immobile, puisqu'à ce niveau de réalité il n'existe pas de cadre isolable, mais bien une double solidarité entre le contenu physique et son cadre, ainsi qu'entre celui-ci et les actions exercées sur celui-là.

§ 2. LA NOTION MICROPHYSIQUE DU TEMPS ET LES RELATIONS ENTRE LES ESPACES-TEMPS D'ÉCHELLES SUPERPOSÉES. — Si la notion de l'espace est à réadapter sous de nouvelles formes à l'échelle microphysique, on comprend qu'il en soit *a fortiori* de même du temps qui, plus encore que l'espace, dépend du contenu physique qui le meuble. Nous avons constaté, en effet (chap. IV § 2), que, génétiquement, le temps ne correspond pas à une intuition simple, comme la vitesse, mais que, avant de pouvoir être traduit métriquement, il constitue essentiellement un rapport : le rapport entre l'espace parcouru et la vitesse ou entre le travail accompli et la puissance. Il est donc clair qu'en un domaine où ni le chemin parcouru ni la vitesse ne constituent des notions générales, le temps ne saurait se présenter sous la même forme qu'à l'échelle macrophysique.

Mais, dans la mesure où l'analyse géométrique est remplacée en microphysique par celle des « états », il y intervient alors un temps plus élémentaire que celui dont la réalité macroscopique montre la liaison avec les déplacements ou changements de position : c'est le temps constitué par les changements d'état. Les changements d'état $d\psi$ se succèdent, en effet, selon un ordre temporel et comportent une durée. Or cette durée constitue elle aussi un rapport, et est comparable en ce sens aux relations temporelles macroscopiques¹. On peut effectivement tirer de l'équation de Schrödinger le rapport élémentaire suivant² : $dt = d\psi / \mathcal{H}\psi$, où $\mathcal{H}\psi$ est l'« énergie totale » du système.

¹ Voir plus haut chap. IV § 3 (sous V à la fin).

² Voir A. MERCIER, *Stabilité, complémentarité et déterminabilité*. Lausanne (Rouge), 1942.

Seulement l'existence d'un tel rapport est loin de suffire à résoudre tous les problèmes fondamentaux que soulève la notion microphysique du temps. Tout d'abord si, pour un seul et même système, on conçoit que les changements d'état et les états stationnaires situés entre ces changements, constituent une suite déterminée et par conséquent un ordre de succession temporelle, comment mettre en relation de succession ou de simultanéité les événements appartenant à plusieurs systèmes séparés ? D'autre part, en quoi consiste la durée des états stationnaires et peut-on encore les situer dans le temps ? Enfin comment suivre le détail des transitions brusques et comment concilier la discontinuité essentielle qui les caractérise avec l'idée d'une durée, même exprimée sous la forme très générale du rapport que nous venons de mentionner ?

Aussi a-t-on douté de la signification des relations temporelles là où les trajectoires ni les vitesses ne sont entièrement déterminables. C'est ainsi que selon N. Bohr, nous dit L. de Broglie « l'existence pour l'atome d'états stationnaires en quelque sorte placés en dehors du temps et l'impossibilité de décrire les transitions brusques qui font passer l'atome d'un état stationnaire à un autre lui suggéraient déjà l'idée profonde qu'une description complète des phénomènes quantiques de l'échelle atomique doit, par certains côtés au moins, transcender le cadre classique de l'espace et du temps »¹. Et de Broglie lui-même ajoute : « la notion d'un espace physique à trois dimensions formant le cadre naturel où se localisent tous les phénomènes physiques, la notion d'un temps formé par la succession des instants et constituant un continu à une dimension sont des notions extraites de l'expérience sensible... » et, à l'échelle « très fine des phénomènes atomiques, où la valeur du quantum d'action cesse d'être négligeable, la localisation d'un phénomène dans l'espace et dans la durée ne paraît plus indépendante de ses propriétés dynamiques et en particulier de sa masse »². Et G. Bachelard, commentant l'axiomatique de Destouches, dit que les définitions des points « n'engagent même pas la *continuité du temps*. P. ex. 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 »³.

Bref, la continuité temporelle et le temps lui-même sont mis en question, comme l'espace continu, et cela se comprend psychologiquement, sitôt ébranlées les déterminations de positions, de trajectoires et de vitesses. Ni la simultanéité, avec

¹ *Le Continu et le discontinu*, p. 69.

² *Ibid.*, p. 70-71.

³ *L'expérience de l'espace*, p. 135.

la sériation des relations l'ordre, ni l'égalisation de durées synchrones, avec l'emboîtement des durées en un continu unidimensionnel ne sont en effet concevables sur le modèle macroscopique sans ces déterminations cinématiques. A la notion macroscopique de la vitesse (fondement du temps lui-même si le temps est bien, comme le montre le développement psychologique, une coordination des vitesses), la microphysique substitue la « vitesse dynamique », produit de la masse par la quantité de mouvement, celle-ci étant elle-même définie de façon plus générale que dans la mécanique classique. Il ne reste donc comme principe de formation du temps que les changements d'états, ainsi que nous le rappelions au début, mais avec les limitations dues à cette règle essentielle de la pensée microphysique de s'en tenir exclusivement aux observables avec leurs lacunes et leurs discontinuités, sans les relier par le moyen d'aucun cadre dépassant l'action actuelle et effective de l'expérimentateur.

Mais si ces conclusions permettent, grâce à leur aspect négatif, une vérification de l'interprétation épistémologique selon laquelle l'espace physique et le temps résultent des actions effectuées par le sujet à notre échelle autant que des caractères globaux propres aux objets macroscopiques — « l'espace-temps, dit de Broglie, apparaît ainsi comme n'ayant plus qu'une valeur moyenne et macroscopique »¹, — elles soulèvent, d'autre part, un problème relatif à leur aspect positif : comment expliquer les rapports entre la genèse psychologique de ces notions et leur genèse physique, pour ainsi parler, à partir d'une échelle inférieure où elles ne sont que partiellement valables ? Dans la préface pleine de substance qu'il a mise en tête de son ouvrage sur « Le continu et le discontinu en physique moderne », L. de Broglie pose la question d'une manière extrêmement suggestive : « Qu'est-ce, en effet, que l'espace et le temps ? Ce sont des cadres qui nous sont suggérés par nos perceptions usuelles, c'est-à-dire des cadres où peuvent se loger les phénomènes essentiellement statistiques et macroscopiques que nos perceptions nous révèlent. Pourquoi alors être surpris de voir le grain, réalité essentiellement élémentaire et discontinue, refuser de s'insérer exactement dans ce cadre grossier bon seulement pour représenter des moyennes ? Ce n'est pas l'espace et le temps, concepts statistiques, qui peuvent nous permettre de décrire les propriétés élémentaires des grains ; c'est au contraire à partir des moyennes statistiques faites sur les manifestations des entités élémentaires qu'une théorie suffisam-

¹ *Le Continu*, p. 202.

ment habile devrait pouvoir dégager ce cadre de nos perceptions macroscopiques que forment l'espace et le temps »¹. Or, si les grains échappent à la localisation spatio-temporelle, « par contre, les probabilités de leurs localisations possibles dans ce cadre sont représentées par des fonctions généralement continues ayant le caractère de grandeurs de champ : ces « champs de probabilité » sont les ondes de la Mécanique ondulatoire ou du moins des grandeurs se calculant à partir de ces ondes »... On peut donc « considérer le cadre continu constitué par notre espace et notre temps comme engendré en quelque sorte par l'incertitude d'Heisenberg, la continuité macroscopique résultant alors d'une statistique opérée sur des éléments affectés d'incertitude »².

On voit la signification extrêmement intéressante de ces affirmations qui surprennent au premier abord : c'est que l'espace physique et le temps sont construits par le sujet au fur et à mesure que ses actions procèdent sur des ensembles plus stables et plus déterminables selon une probabilité tendant vers la certitude propre à toute coordination opératoire. L'absence de relations spatio-temporelles générales à l'échelle inférieure, tiendrait réciproquement à l'impossibilité de coordinations simples entre les actions de l'expérimentateur, par le fait que celles-ci, n'ayant plus prise sur le détail des phénomènes, ne suffisent plus à les déterminer selon les compositions nécessaires à la construction d'un espace-temps : la considération des changements d'état et des états stationnaires intercalés entre ces changements fournit les éléments d'un ordre temporel et de la construction des durées et permet ainsi d'amorcer la construction du temps en fonction du changement en général et de son dynamisme ; mais cette considération est loin de satisfaire encore aux conditions d'un continu de durée, lequel ne se constituera que par une coordination des vitesses macroscopiques. Or, ce qui, en microphysique annonce le plus clairement le mode de coordination qui engendrera le cadre spatio-temporel, c'est que le mode de systématisation le plus cohérent qui ait été trouvé pour coordonner les localisations des particules selon un « ensemble spectral » consiste précisément en une composition opératoire telle que les opérateurs en jeu constituent des « groupes » comme ceux qui s'appliquent aux transformations cinématiques à l'échelle macroscopique ; mais ces groupes ne dé-

¹ *Ibid.*, p. 9.

² *Ibid.*, p. 10.

crivent pas seulement les répartitions comme telles des corpuscules : ils incluent également les actions effectuées par l'expérimentateur lui-même pour retrouver ces particules (actions de triage ou « opérateurs sélectifs »). C'est en présence de ce mode si particulier de composition propre aux opérations des micro-physiciens que l'on saisit le mieux la double nature de la construction qui, des simples changements d'état, aboutira, avec la cohérence statistique croissante des ensembles en jeu, à une systématisation spatio-temporelle générale : cette construction s'appuie bien sur le réel, en ce sens que, s'il n'existait ni changement ni mouvement dans l'univers, nous ne connaîtrions pas le temps ; mais elle résulte aussi, et en participation indissociable avec les apports de l'objet, de la coordination même des actions exercées sur les choses. A cet égard l'épistémologie microphysique du temps rejoint les enseignements de l'espace microcosmique quant aux relations entre la genèse des notions et les limites inférieures de l'action.

§ 3. L'OBJET ET LA CAUSALITE MICROPHYSIQUES. — Nous avons souvent insisté, au cours de cet ouvrage, sur le fait que la notion d'objet ne tient pas, comme on l'a soutenu, à une simple identification portant sur les perceptions, mais bien à une coordination effective des actions ou des opérations : l'objet individuel est essentiellement ce qui peut être retrouvé, d'abord grâce à de simples conduites de détour et de retour susceptibles d'être coordonnées entre elles en un « groupe » pratique des déplacements, puis par des opérations mentalisées intériorisant ces retours et détours effectifs sous la forme des opérations inverses et de l'associativité propres à tous les groupes et groupements déductifs élémentaires. Or, si cette origine active de la notion d'objet est évidente psychologiquement dès le niveau sensori-moteur (où la perception seule ne suffit nullement à engendrer la permanence des objets individuels), il est extrêmement instructif de redécouvrir à l'autre extrémité du développement mental un même mécanisme à la fois pratique et intellectuel de constitution de l'objet : que des difficultés dues aux limitations terminales, et non plus initiales, des actions de repérage qui constituent l'individualité de l'objet rejoignent ce que nous enseigne la genèse mentale de l'objet est, en effet, particulièrement de nature à confirmer l'interprétation générale des concepts microphysiques, considérés comme l'expression d'une pensée conditionnée par les limites de l'action elle-même.

C'est devenu un lieu commun que de rappeler le célèbre « seuil d'indétermination » d'Heisenberg, en dessous duquel on ne peut assigner de manière invariante à un micro-élément ni la nature d'un corpuscule ou « objet » au sens macroscopique du terme, ni celle d'une onde proprement dite, puisqu'il est tantôt l'un tantôt l'autre. Pour reprendre l'exemple des expériences photo-électriques, cité au § 1 à propos de l'impossibilité d'une localisation spatiale, l'analyse du phénomène des interférences dû au passage d'un photon à travers un écran percé de trous conduit, nous dit L. de Broglie, à la contradiction suivante. D'une part un seul photon en passant par l'écran « produit un phénomène d'interférence où tous les trous jouent un rôle symétrique, sans qu'on puisse dire que le photon ait passé par l'un au par l'autre » : il est donc onde, car, s'il était objet il faudrait lui attribuer « des dimensions inacceptables ». Mais, d'autre part, « l'effet photo-électrique nous montre le photon apportant toute son énergie dans une très petite région de l'espace et y produisant un effet tout à fait localisé »¹ : il est donc objet, puisqu'il est localisable. C'est pour sortir de telles impasses que les micro-physiciens ont été conduits à concevoir l'élément comme étant à la fois onde et corpuscule, et ceci de la manière suivante.

Il s'agit d'abord de retoucher la notion de corpuscule en retenant l'un de ses deux aspects, celui d'un « agent indécomposable susceptible de produire des effets observables bien localisés où se manifeste la totalité de son énergie »² et en écartant l'autre, « celui d'un petit objet ayant à chaque instant dans l'espace une position et une vitesse bien déterminées, et décrivant par suite une trajectoire linéaire ». Il s'agit ensuite de retoucher parallèlement la notion de l'onde elle-même dont on ne peut non plus déterminer simultanément la phase et l'amplitude. L'onde attachée à chaque corpuscule, selon la belle hypothèse établie théoriquement par L. de Broglie puis confirmée par l'expérience de la diffraction des électrons par les cristaux (analogue à la diffraction de la lumière) est une onde dont le « champ » est en réalité un champ de probabilité : l'intensité de cette onde représente « en chaque point la probabilité pour que la particule se manifeste par une action observable localisée en ce point »³. C'est la théorie de ces ondulations et de leur liaison avec les effets observables des particules, qui constitue la mécanique ondulatoire.

Il découle de telles conceptions, non seulement qu'un même élément n'est plus nécessairement permanent, mais encore que deux

¹ *Le Continu*, p. 33.

² *Ibid.*, p. 35.

³ *Ibid.*, p. 40.

échange de rôles pouvant alors se produire entre eux sans qu'on puisse aucunement s'en apercevoir ultérieurement »¹. Cette indiscernabilité ou cette discernabilité alternatives, se retrouve jusque dans le formalisme de la mécanique ondulatoire, ce qui est un exemple de la manière dont en microphysique les limites de l'action se traduisent en opérations : certaines « fonctions d'ondes » restent invariables ou changent simplement de signes quand on y permute le rôle de deux corpuscules. En outre il existe des particules à fonctions d'ondes « anti-symétriques » (notamment les électrons) : deux d'entre elles ne pouvant jamais avoir le même « état de mouvement », il s'ensuit des fonctions d'ondes à formes statistiques bien différentes selon ces « exclusions ».

Or, ces transformations profondes de la notion d'objet, dont on voit à l'évidence combien elles sont liées à l'impossibilité de « retrouver » un corpuscule par une action spécialisée et à la nécessité de remplacer ces actions différenciées par des opérations statistiques, s'accompagne de modifications corrélatives, non moins essentielles, des relations causales. C'est ainsi que l'indiscernabilité spatiale des particules entraîne la constitution de formes nouvelles d'interactions : l'« interaction d'échange » et l'« interaction d'exclusion » qui traduisent en termes de causalité les résultats de la non-permanence de l'objet. « Il existe une certaine antinomie, écrit avec profondeur à ce propos L. de Broglie, entre l'idée d'individualité autonome et celle de système où toutes les parties agissent les unes sur les autres. La réalité dans tous les domaines paraît être intermédiaire entre ces deux idéalizations extrêmes et, pour la représenter, il nous faut chercher à établir entre elles une sorte de compromis »². Autrement dit, pour employer le langage dont nous nous sommes servis au chap. VI (§ 3 et 6), l'existence d'objets individuels sur lesquels on peut agir permet la constitution de compositions additives tandis que leur indiscernabilité à divers degrés n'autorise l'emploi que de compositions non-additives exprimant un mélange. A l'échelle macroscopique ces dernières compositions s'imposent déjà dans les cas d'indiscernabilité pratique et L. de Broglie cite comme exemple du compromis dont il parle l'idée d'« énergie potentielle d'interaction entre particules »³, mais en des situations où cependant « on peut très approximativement raisonner comme si les corpuscules conservaient une masse, une localisation et par suite une individualité bien définies »⁴. Mais, ajoute-t-il après avoir comparé l'individualité et l'interaction aux réalités « complémentaires », « la notion d'énergie potentielle, dont l'aspect mystérieux a

¹ *Ibid.*, p. 122. ,

² *Ibid.*, p. 128.

³ *Ibid.*, p. 128.

⁴ *Ibid.*, p. 117.

souvent paru l'un des scandales de la Physique, traduit en réalité sous une forme profonde, bien que peut-être maladroite, la co-existence et la limitation réciproque de l'individualité et de l'interaction dans le monde physique »¹. En microphysique, par contre, l'extension de l'idée d'interaction exprime en toute clarté le démembrement de l'individualité de l'objet. C'est en particulier faute de cette individualité, ainsi que des localisations et du calcul possible des distances, que la mécanique ondulatoire a résolu le problème de l'analyse de ces interactions en les situant dans les « espaces de configuration » auxquels nous faisons allusion plus haut.

En bref, la causalité microphysique consiste essentiellement en relations d'interactions, créatrices de « totalités » distinctes de la somme de leurs parties, par opposition aux interactions de la mécanique classique, qui relèvent d'une composition additive complète (la composition des forces, p. ex.). Ce sont ces interactions, corrélatives de la non-permanence de l'objet, qui expliquent, en définitive, l'impossibilité de constituer en microphysique un cadre spatio-temporel général, puisque l'espace physique et le temps sont solidaires de leur contenu dynamique et que ce contenu consiste alors en objets et en événement à la fois discontinus et interagissant entre eux sans composition additive possible. Espace et objet, temps et causalité forment ainsi, en microphysique comme aux autres échelles, un système interdépendant de notions, puisque l'espace physique et le temps expriment la composition même des actions portant sur les objets et leurs relations causales. Mais, à notre échelle, ces actions sont directement et complètement composables entre elles, par le fait qu'elles se sont développées en fonction des objets immédiatement accessibles : il en résulte que l'espace et le temps paraissent constituer des cadres indépendants de leur contenu, parce qu'ils forment le cadre de toute action portant sur la réalité et qu'ils rejoignent ainsi sans solution de continuité ces coordinations générales de l'action que sont les opérations logico-mathématiques. Par contre aux limites supérieure et inférieure de notre activité, la dissociation entre le cadre et son contenu n'est plus possible parce que les compositions de nos actions ne sont ou plus directes ou plus complètes. Aux limites supérieures, comme nous l'avons vu, le sujet est inclus dans les phénomènes à mesurer et par conséquent ses mètres ou ses horloges sont solidaires des transformations à détecter au lieu de leur demeurer extérieurs : il y a alors

¹ *Ibid.*, p. 117.

indissociation entre l'espace ou le temps et le point de vue des observateurs, lequel dépend des vitesses, des masses, des champs gravifiques, etc. A la limite inférieure c'est la réciproque qui se produit : c'est le phénomène qui est inclus dans l'action du sujet, puisque les objets demeurent relatifs à l'action qui les retrouve et que les interactions impliquent l'« échange », c'est-à-dire la confusion possible des objets. C'est pourquoi l'espace ne peut donner lieu à une mesure directe des distances ou des trajectoires, mais demeure dominé par le voisinage ou la dispersion probables, et le temps ne peut résulter d'une coordination des vitesses, puisque celles-ci demeurent des « vitesses dynamiques » sans constituer des relations entre l'espace et le temps : d'où l'interdépendance entre le cadre spatio-temporel, ou plutôt les premiers linéaments de la composition spatio-temporelle, et le contenu formé des objets et de leurs interactions.

Quant à la solidarité entre la nature causale particulière des interactions microphysiques et la non-individualisation de l'objet, elle est d'une importance épistémologique évidente. On peut distinguer deux faces à la question : l'une mathématique ou relative aux opérations probabilistes elles-mêmes, et l'autre expérimentale ou relative aux actions comme telles de l'observateur. Mathématiquement, l'interaction est incorporée à la probabilité en elle-même : « nous n'arrivons pas, dit Eddington, à la distribution des probabilités initiale d'un essaim de particules simplement en combinant les distributions des particules isolées comme si elles étaient indépendantes. Pour cette raison, on dit qu'un essaim de particules électriques obéit à la « nouvelle statistique » ou statistique de Fermi-Dirac, par opposition à la « statistique classique » qui représente le résultat brutal qu'on obtiendrait en combinant les probabilités indépendantes les unes des autres »¹. Or, cet artifice opératoire de la pensée traduit les limitations de l'action elle-même, en ce sens que l'interaction d'échange, exprimée par la « nouvelle statistique », peut être considérée comme le résultat direct de l'impossibilité où se trouve l'observateur de dissocier les éléments individuels. Eddington, avec son humour habituel, donne un exemple « pour montrer comment des forces peuvent être créées par l'interchangeabilité. En astronomie, les deux composantes d'une étoile double sont traitées comme des particules

¹ A. EDDINGTON, *Nouveaux sentiers de la science* (Trad, GUÉNARD), Hermann (1936), p. 310.

discernables. Mais il arrive parfois qu'elles se ressemblent étroitement et qu'après un passage périastal très serré, l'observateur les interchange par inadvertance. Il en résulte une « orbite » qui correspond à une force inconnue de Newton ! Si, au lieu d'être exceptionnelle, une telle circonstance était la règle, nous serions incapables de vérifier la loi de Newton dans les systèmes d'étoiles doubles. L'astronomie des étoiles doubles... devrait s'appuyer sur une loi de force appropriée à des étoiles discernables et qui admette une certaine probabilité d'échanges faits par mégarde. On dirait alors... que cette force additionnelle correspond à l'énergie d'échange »¹. Cette boutade du célèbre astronome ne saurait faire mieux comprendre la solidarité intime entre les interactions d'échange et la composition non-additive nécessitée par la non-permanence de l'objet individuel, par opposition aux compositions additives de la mécanique réversible.

On se rappelle, en effet, la distinction introduite (chap. VI § 3) à propos des processus réversibles et irréversibles. Il est dans la réalité physique (comme dans l'esprit humain) des systèmes (de transformations, etc.) tels que la totalité du système soit égale à la somme des éléments : ce sont les systèmes réversibles, tels qu'une composition de forces, qu'un ensemble de déplacements ou qu'un groupe d'opérations algébriques. Il est au contraire des systèmes tels que leur totalité soit distincte de la somme des éléments en jeu, c'est-à-dire caractérisés par une composition non-additive ou irréversible (ce qui correspond en psychologie à la structure dite de « Gestalt » propre aux perceptions, etc. par opposition aux opérations réversibles de l'intelligence). Or, comme nous y avons insisté à propos du hasard, l'irréversibilité est précisément la caractéristique des systèmes où interviennent des interférences fortuites c'est-à-dire un mélange, par opposition aux systèmes réversibles qui sont à liaisons distinctes, d'où leur composition additive. Plus simplement dit encore, les systèmes réversibles ou à composition dite additive sont ceux dont la composition possible est complète, tandis que les systèmes irréversibles dont la totalité n'est point égale à la somme des éléments sont ceux dont la composition demeure fatalement incomplète, soit (d'abord) à cause d'un mélange croissant excluant les combinaisons peu probables, soit (à la limite) à cause « d'échanges » détruisant l'individualité des éléments. Sur le terrain de la « statistique

¹ *Ibid.*, p. 312-3.

classique » appliquée au réel, il y a déjà composition incomplète et par conséquent irréversibilité parce que si les probabilités d'ensemble sont composées des probabilités individuelles, le système total néglige cependant les probabilités trop faibles : si un système de probabilités mathématiques, reposant sur des combinaisons aléatoires idéales, est bien un système entièrement déductif, donc à composition additive ou complète, un système statistique réel ne lui est donc pas comparable, parce que ne retenant que les compositions les plus probables et aboutissant ainsi à des valeurs totales irréductibles à la somme des valeurs élémentaires (d'où l'irréversibilité du mélange thermodynamique et le caractère de composition non-additive de tout mélange). Mais, dans le cas de la « nouvelle statistique » et des interactions d'échange microphysiques, le caractère non additif de la totalité d'un système et son irréversibilité, tout en résultant également du caractère essentiellement statistique de la composition en jeu, sont encore fortement accentués du fait qu'il n'y a plus seulement mélange, mais « échange » et que, dès le départ, les probabilités d'ensemble sont posées comme distinctes de la somme des probabilités individuelles. Soit, p. ex., un système total formé de deux parties dont l'énergie est respectivement de valeur E_1 et E_2 . L'énergie totale ne sera alors pas $E = (E_1 + E_2)$ mais bien $E = (E_1 + E_2) + \varepsilon$, où ε représente l'énergie d'interaction ou d'échange entre les deux parties qui sont isolément une énergie E_1 et E_2 . Ce modèle de non composition additive s'explique ainsi par le fait que les particules en jeu sont non seulement mélangées, mais encore échangées en cours de route sans retour possible à la discernabilité, ce qui constitue assurément le *maximum* d'irréversibilité : en un tel cas, il apparaît clairement qu'une composition aboutissant à *ajouter* des caractères d'ensemble à la somme des parties consiste, non pas en une composition plus complète que la composition simplement additive ou réversible, mais en une composition *incomplète*, par défaut de liaisons distinctes sur lesquelles l'action expérimentale ou l'opération déductive puisse agir isolément.

Mais alors de telles totalités sont-elles, en définitive, subjectives ou objectives ? L'interaction d'échange repose-t-elle sur une « confusion » subjective de l'observateur, comme dans le cas de l'astronome distrait d'Eddington, qui brouille ses étoiles doubles, ou sur une indissociation réelle ? C'est ici que nous touchons au problème épistémologique le plus central posé par la microphysique, tant en ce qui concerne l'objectivité

expérimentale qu'eu égard aux notions d'« indétermination » et de probabilité, qui sont elles-mêmes susceptibles d'être prises en un sens objectif ou subjectif.

On sait assez que le principe d'indétermination, formulé par W. Heisenberg, exprime l'incapacité où se trouve le micro-physicien de déterminer simultanément les valeurs de certains couples, valeurs aisément associables sur le plan macroscopique : la figure et le mouvement, la position et la vitesse d'une particule, ou la phase et l'amplitude d'une onde. Cette incapacité tient aux conditions expérimentales elles-mêmes : si l'on détermine une position, on est obligé de localiser l'action d'un corpuscule en mouvement, mais en projetant sur lui des photons qui altèrent la trajectoire et renforcent la vitesse, etc. Cette indétermination exclut alors le déterminisme « absolu » au profit d'un déterminisme simplement statistique. Mais celui-ci recouvre-t-il, comme le pensait Planck (voir chap. VI § 6) des lois absolues d'échelle encore inférieure, ou bien un indéterminisme sous-jacent, c'est-à-dire une indétermination expérimentale inéluctable ?

Mais cette dernière est elle-même susceptible de deux interprétations épistémologiques : l'une subjective, c'est-à-dire relative à notre impossibilité d'exécuter simultanément les actions nécessaires à la détermination, sans que l'on se prononce alors sur l'existence ou la non existence d'un infradéterminisme à la manière de Planck, l'autre objective, c'est-à-dire attribuant l'indétermination aux propriétés inhérentes à la matière. Or, chose capitale, la solution apportée par les microphysiciens revient à la fois à écarter l'infradéterminisme absolu, donc à prendre parti quant à la nature du réel, et cependant à refuser de s'enfermer dans l'antithèse du subjectif et de l'objectif : ce dernier problème prend, en effet, un nouveau sens à l'échelle microphysique parce que les phénomènes physiques y englobent, à titre de composante, l'action de l'expérimentateur, destinée à les détecter, ou, ce qui revient au même, sont englobés dans les actions exercées par l'expérimentateur ! C'est ainsi que l'indétermination porterait simultanément sur le processus expérimental et sur les propriétés du réel, du fait que l'action du sujet et les transformations de l'objet constituent une totalité indissociable. Bien plus, ce n'est pas seulement du point de vue des actions de l'expérimentateur, mais du point de vue des opérations mathématiques nécessaires à sa représentation théorique, que cette indétermination s'impose ! « Pour sauver le déterminisme, dit ainsi L. de Broglie, on pourrait penser à

invoquer l'existence de paramètres cachés : les incertitudes qui nous empêchent d'établir un déterminisme causal des phénomènes à l'échelle quantique seraient alors dues seulement à l'ignorance où nous sommes de la valeur exacte de ces paramètres cachés. C'est un fait très curieux qu'il soit possible de démontrer l'impossibilité d'accepter une telle échappatoire. La forme même des incertitudes quantiques s'oppose, en effet, à ce que l'on puisse attribuer leur origine à notre ignorance des valeurs de certains paramètres cachés. La raison profonde nous paraît en être que les incertitudes quantiques dérivant de l'existence même du quantum d'Action expriment en dernière analyse l'insuffisance de la conception d'un espace-temps indépendant des phénomènes dynamiques qui s'y déroulent »¹.

En solidarité étroite avec la non-individualisation de l'objet, avec les interactions d'échange et avec les systèmes à composition non-additive dont il exprime la nature, le principe d'indétermination marque essentiellement le caractère incomplet de nos compositions opératoires et les limites de nos actions spatio-temporelles effectives. Mais ni ce caractère incomplet ni ces limitations ne signifient défaut d'efficacité. D'une part il est possible, par « correspondance », comme dit N. Bohr, avec les données macroscopiques, de retrouver le déterminisme objectif, l'individualisation des macro-objets, etc., mais en ajustant l'une à l'autre les deux échelles différentes d'observation, à la fois sur le plan des actions de l'expérimentateur et sur celui des opérations du mathématicien. D'autre part, cette « limite réciproque d'un genre tout à fait nouveau » comme de Broglie appelle le principe d'indétermination, marque, avec toute la microphysique, une interdépendance infiniment plus grande qu'on n'aurait pu le supposer entre les données du réel et l'action ou les opérations du sujet : on peut même dire que c'est dans la mesure où les actions du sujet sont limitées par l'échelle de l'objet que l'on aperçoit plus clairement la solidarité entre l'« observable » et les interventions de l'observateur ; les limites de l'action constituent ainsi comme la frontière entre la réalité physique et l'opération intellectuelle par le fait que cette opération elle-même n'est pas autre chose que la traduction, en termes de pensée ou de relations cognitives, de l'action comme telle, en tant que prise de contact expérimentale entre le sujet et le réel. Mais pour pouvoir tirer la leçon épistémologique essentielle que comporte un tel résultat, c'est

¹ *Le Continu*, p. 74.

le rôle des « opérateurs » eux-mêmes qu'il s'agit d'examiner maintenant.

§ 4. LE RÔLE DES OPÉRATEURS ET LA LOGIQUE DE LA COMPLÉMENTARITÉ. — Si l'analyse des notions directement issues de l'action expérimentale des micro-physiciens est d'un haut intérêt épistémologique, l'examen des procédés mathématiques d'interprétation de l'expérience ne le cède en rien et permet de constater, sur ce terrain microcosmique, l'existence d'une solidarité encore plus étroite que ce n'est le cas ailleurs entre les opérations mathématiques utilisées dans la déduction des faits et les actions permettant de mettre ces derniers en évidence. Effectivement, les « observables » détectés par l'action sur le réel se traduisent sous la forme d'« opérateurs » qui prolongent, en la symbolisant, cette action elle-même, tandis que les « incertitudes » dues aux limitations de l'action expérimentale aboutissent à la constitution d'une nouvelle logique, ou du moins d'une logique plus opératoire encore que celle s'appliquant aux rapports macroscopiques : la logique de la complémentarité.

Le principe de « correspondance » entre les phénomènes macrophysiques et microphysiques conduit d'abord à rechercher des équations communes à la mécanique classique et à la mécanique ondulatoire ou quantique : or ces équations communes se réduisent à la forme des équations canoniques de la mécanique rationnelle. Mais, si l'on conserve cette forme, on change complètement, par contre, la signification des termes : tandis que, en mécanique rationnelle, les symboles représentent des valeurs coordonnées selon un mode spatio-temporel, les symboles microphysiques représenteront au contraire essentiellement des opérateurs, se substituant aux positions, vitesses, énergies, etc. C'est ainsi que Dirac ¹ distingue les « états » représentés par des fonctions d'ondes (fonction ψ dont le sens est celle d'une répartition probable) et les « observables » représentés par les opérateurs. Or, chose remarquable ces derniers ne se bornent donc pas à relier des termes donnés d'une manière extérieure à eux : ils consistent en schèmes d'opérations mises en quelque sorte sur le même plan que les termes sur lesquels elles portent, comme si la transformation effectuée abstraitement par le mathématicien faisait partie intégrante des objets physiques auxquels s'applique l'équation !

Comme l'a bien dit Bachelard, le sens de l'opérateur est donc alors aussi éloigné du réalisme que du pur symbolisme :

¹ P. A. M. DIRAC, *Principle of Quantum Mechanics*, Oxford 1930.

l'opérateur : ne traduit pas une réalité, une réalité simplement extérieure à nous, puisqu'il exprime la possibilité d'actions proprement dites exercées sur le réel ; mais il n'est pas non plus un simple symbole, au sens nominaliste de ce terme, puisqu'il se réfère à une expérience possible. Il ne vient donc pas à la suite d'une expérience toute faite, qu'il décrirait après coup, ni ne se place au-dessus de toute expérience comme une simple expression symbolique : il est l'un des ingrédients de l'expérience que l'équation interprète. Bien plus, éliminant les grandeurs fixes qui interviennent dans les équations, à l'échelle macrophysique, il soutient avec les grandeurs probables de l'échelle microphysique un rapport d'un grand intérêt : « 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 »... puisque l'opérateur « inscrit la prise de moyenne dans l'opération mathématique principale »¹.

Plus catégoriquement encore, Eddington déclare, dans un passage d'une grande portée sur lequel nous reviendrons : « ce que la physique trouve finalement dans l'atome, ou en fait dans toute autre entité étudiée par les méthodes physiques, *c'est la structure d'un ensemble d'opérations*. Nous pouvons décrire une structure sans spécifier les matériaux employés : ainsi il se peut que les opérations qui constituent la structure restent inconnues. Prise individuellement, chaque opération pourrait être n'importe quoi ; c'est la façon dont elles s'enchaînent les unes aux autres qui nous intéresse. L'équation $Pb Pa = Pc$ [= le produit de deux opérations en donne une troisième du même ensemble] est un exemple d'un genre d'enchaînement très simple ». « Je ne voudrais pas vous amener à penser à tort que la physique ne peut tirer de l'atome autre chose que cette équation... Mais tout ce qu'on tire de l'étude effective (extrêmement difficile) de l'atome, c'est une connaissance du même type, à savoir la connaissance d'un groupe d'opérateurs inconnus »².

S'il est évident que le grand astronome force ici un peu la note idéaliste, tout le chapitre qu'il a consacré à la théorie des groupes appliquée aux opérateurs en jeu dans la mécanique microcosmique n'en soulève pas moins un problème d'un haut intérêt. D'une part, en effet, les grandeurs en jeu dans les équations s'orientent dans la direction de la simple probabilité, ce qui semblerait exclure toute espèce de coordination réversible dans les opérations reliant ces grandeurs entre elles. Mais, d'autre part, Eddington nous montre de la manière la plus limpide comment les opérateurs intervenant dans les mêmes équations constituent entre eux des « groupes » bien définis, c'est-à-dire

¹ *L'expérience de l'espace*, p. 102-3.

² *Les nouveaux sentiers de la science*, p. 341-2.

des modèles de composition réversible. C'est ainsi que les sauts (probables) de l'électron d'une orbite à l'autre autour du noyau de l'atome constituent un groupe : « deux sauts d'orbite successifs fournissent un état qui aurait pu être atteint par un saut unique »¹. Ne sachant rien de ces orbites ni de la forme de l'électron, ni de la trajectoire qu'il suit (ou de l'absence de trajectoire), dans ce que nous appelons un « saut », nous pouvons cependant « grouper » ces sauts à titre d'opérations possibles. De même les « opérateurs sélectifs » correspondant à une sorte de triage destiné à déterminer la localisation probable d'une particule, constituent un groupe, lequel détermine un *ensemble spectral*, car il analyse tout agrégat en ses constituants purs, de façon analogue à la manière dont un prisme décompose la lumière². Or, « un des effets de l'introduction d'opérateurs sélectifs est qu'elle écarte la distinction entre opérateurs et opérands »³ contrairement aux opérateurs de « saut ». En effet, le physicien « porte son attention non pas sur la nature de ce que donne l'opération, mais sur la nature de l'opération sélective elle-même »⁴. Eddington montre également comment un groupe d'opérateurs formant une structure abstraite bien définie a permis à Dirac de rendre manifeste un observable consistant en une nouvelle propriété cachée dans l'électron et devenue célèbre sous le nom de « spin ».

On voit alors le problème : comment expliquer le rapport, dans la connaissance microphysique, entre les données expérimentales probables et en grande partie irréversibles et les systèmes d'opérateurs groupés de façon réversible ? Ou, si l'on préfère une formule de Bachelard, comment expliquer que « la grandeur glisse vers la probabilité dans le même temps que l'opérateur prend un aspect mathématique mieux défini »⁵ ? Or, la raison en est précisément que, la connaissance microphysique supposant une solidarité entre l'action de l'observateur et le réel observé bien plus étroite que sur le plan macrophysique, on peut sans contradiction concevoir les actions de l'observateur comme des opérations réversibles susceptibles de former des « groupes » et la réalité observée comme sujette à des dispersions statistiques, à des mélanges et des échanges, des désagrégations, etc., en grande partie irréversibles. Le physicien J. Weigle a comparé la réalité étudiée par sa science à un méca-

¹ *Ibid.*, p. 339.

² *Ibid.*, p. 342-3.

³ *Ibid.*, p. 346.

⁴ *Ibid.*, p. 340.

⁵ *L'expérience de l'espace*, p. 99.

nisme compliqué enfermé en une boîte bien fermée, mais dont les parois sont percées de quelques trous d'où sortent de simples ficelles : en tirant sur l'une d'elles on en allonge une autre, on raccourcit une troisième, on en laisse certaines immobiles, etc. Le théoricien essaie alors de réunir tous ces « observables » en une équation coordonnant les faits et il n'y parvient qu'en ajoutant de temps en temps aux ficelles données d'autres en surplus et surtout en construisant pas à pas une représentation hypothétique du mécanisme caché. On conçoit alors que, même si les transformations reconstituées sont en partie irréversibles, les actions même de tirer les ficelles, de les replacer en leurs positions précédentes et de les relier au moyen de ficelles supplémentaires puissent donner lieu à la construction d'un groupe d'opérations. Que l'on ajoute maintenant à cette image la restriction qu'il est partiellement impossible de distinguer les mouvements réels des ficelles des actions exercées par l'expérimentateur, et l'on comprendra la symbiose inextricable s'établissant entre les opérateurs réversibles et les états réels irréversibles détectés grâce à leur pouvoir.

Un exemple paradoxal de cette sorte d'indifférenciation entre les opérations du sujet et les transformations de l'objet est ce que J. L. Destouches a appelé le « principe d'homomorphisme »¹. La description de l'évolution d'un système au cours du temps, c'est-à-dire l'évolution des prévisions, s'exprime à travers un opérateur d'évolution U . Or, J. L. Destouches a établi ce principe que « A un certain homomorphisme près, l'évolution d'un système entre des instants t et $t + \Delta t$ peut être compensée par une rotation autour d'un axe du repère géométrique de l'observateur considéré ». Il y a ainsi transport de l'objet au sujet de la propriété de l'évolution dans le temps, par un processus de subjectivation, et l'on voit que ce transport consiste en un passage de la succession temporelle en une opération spatiale (réversible) de rotation.

¹ Voir J.-L. DESTOUCHES, *Le rôle de l'activité subjective dans l'élaboration des notions de la physique moderne*. Synthèse (Amsterdam), t. VII (1948-9), p. 77. Nous lisons dans le même article (résumé de la Conférence de St-Graveland de 1948) : « Hier, M. Piaget distinguait deux sortes d'abstractions : celles faites à partir des objets et celles faites à partir des actions. Le changement qui s'opère quand on passe de la physique classique à la physique moderne est le passage d'abstractions issues des objets et des abstractions issues de l'action : il ne s'agit plus de propriétés intrinsèques d'objets, mais de mesures effectuées par des observateurs, c'est-à-dire d'actions d'un certain type, et de prévisions, c'est-à-dire de l'évaluation par avance du résultat de certaines actions » (p. 76).

Mais il y a plus. En combinant les symboles en jeu par des opérations multiplicatives, on peut construire, comme nous le disions au début de ce chapitre, une nouvelle algèbre non commutative, telle que AB ne soit pas équivalent à BA . Or, deux observables A et B qui ne commutent pas ne peuvent précisément pas, dans l'action expérimentale, être déterminés simultanément : si l'un d'eux est mesuré avec précision, l'autre reste indéterminé et réciproquement. C'est là l'expression la plus générale du principe d'indétermination. Mais, comme on le voit, cela ne signifie nullement que l'une des deux possibilités — tant mathématique qu'expérimentale — soit exclue définitivement par l'autre : elles sont vraies toutes les deux, mais non simultanément. Par exemple un micro-objet n'est ni onde ni corpuscule, il est les deux alternativement, selon que l'on exerce une action expérimentale ou l'autre, ou que l'on traite le formalisme mathématique selon l'un des deux sens non commutatifs de l'association AB ou BA .

Niels Bohr a proposé l'adoption d'une nouvelle notion logique pour exprimer ce rapport entre deux propriétés d'un même être, qui ne sont ni compatibles à la fois ni incompatibles successivement : la notion de « complémentarité ». Or, ce « principe de complémentarité » comme on l'appelle aujourd'hui est d'un évident intérêt épistémologique. Il caractérise, en effet, un nouveau point de vue logique : ce n'est pas qu'il introduise, entre deux jugements simples, contradictoires entre eux, tels que A est x et A est non- x , un *tertium* à mi-chemin du contradictoire et du non-contradictoire, mais il établit la possibilité d'un rapport nouveau entre deux systèmes opératoires d'ensemble. Si l'« incertitude » est une notion caractérisant surtout le réel ou l'objet, la « complémentarité » est donc une notion essentiellement relative aux opérations du sujet, et c'est ce caractère opératoire que nous aimerions souligner.

Chacun sait que le principe de contradiction ne nous indique jamais à lui seul ce qui est contradictoire et ce qui ne l'est pas : il nous interdit seulement d'affirmer simultanément A et non- A , mais pour savoir si A est contradictoire ou non avec B , il s'agit d'établir si B implique non- A ou l'exclut. Or, comment découvre-t-on que B implique ou exclut non- A ? En définissant A et B de façon univoque et en « groupant » les classes ou relations résultant de ces définitions : c'est donc seulement en fonction d'un « groupement » (au sens du chap. I § 3), ou d'un « groupe » d'opérations que la non-contradiction ou la contradiction entre A et B prend un sens. Ce sens ex-

prime simplement la possibilité ou l'impossibilité d'une composition réversible englobant simultanément ces deux termes. La contradiction ou la non-contradiction de deux jugements isolés portant sur A et B est donc toujours relative à un groupement ou système opératoire d'ensemble.

Cela dit, la « complémentarité » consiste en une relation non pas entre termes isolables, mais entre les totalités opératoires elles-mêmes. Qu'un micro-objet soit tantôt onde tantôt particule signifie qu'il peut être inséré tantôt dans un système de rapports tantôt dans un autre, mais non pas dans les deux à la fois. Or, si nouveau que soit ce mode de raisonnement, il faut noter que, une fois mis en lumière par les physiciens, il éclaire par ailleurs de façon très comparable bien d'autres domaines où interviennent précisément les totalités opératoires comme telles, et cela dès les rapports logico-arithmétiques élémentaires.

Soit p. ex. une suite d'éléments A, A', B', C', etc. Nous pouvons les réunir selon leurs ressemblances et constituer ainsi des classes logiques telles que $A + A' = B$; $B + B' = C$; $C + C' = D$; etc. Nous pouvons également les réunir selon leurs différences et constituer ainsi des séries de relations asymétriques, dont l'une sera $A \rightarrow A' \rightarrow B' \rightarrow C' \dots$ etc. Dans une telle série nous appellerons a la relation $A \rightarrow A'$; a' la relation $A' \rightarrow B'$; b la relation $B' \rightarrow C'$; etc., d'où l'emboîtement des relations $a + a' = b$; $b + b' = c$; $c + c' = d$; etc., emboîtement portant donc sur les termes A, A', B', etc. mais par l'intermédiaire de leurs relations comme telles. Or, ces deux groupements, de classes ($A + A' = B$; etc.) ou de relations ($a + a' = b$; etc.), tout en étant isomorphes, ne peuvent être effectués simultanément, c'est-à-dire réunis en un seul groupement qui comprennent les deux sortes d'opérations à la fois, car il est impossible de réunir les mêmes éléments à la fois en tant que semblables et en tant que différents : si l'on groupe les ressemblances ($A + A' = B$; etc.) on construit, en effet, des classes (ou des relations symétriques) et l'on procède par addition commutative en faisant, par cela même, abstraction des différences ; au contraire si l'on groupe les différences comme telles ($a + a' = b$; etc.) on construit des relations asymétriques transitives par addition non-commutative (donc conservant l'ordre), en faisant par là même abstraction des ressemblances. Les deux systèmes d'opérations (soit la classification et la sériation) sont donc incompatibles simultanément, puisqu'on ne peut les réunir en un seul tout et composer leurs opérations entre elles, mais ils sont parfaitement compatibles successivement et applicables aux mêmes éléments

A , A' , B' , etc. considérés tantôt en tant que semblables (ce qu'ils sont en partie) tantôt comme différents (ce qu'ils sont aussi en partie) : ces deux systèmes sont donc « complémentaires » au sens même des physiciens¹, du moins dans la mesure où l'on tient compte des qualités propres aux éléments considérés. Par contre, si l'on fait abstraction des qualités, en prenant chaque individu A , A' , etc. pour une unité, on peut les classer et les ordonner simultanément, ce qu'on fait précisément en les dénombrant (voir chap. 1 § 6), puisque le nombre entier résulte d'une fusion opératoire entre les opérations de classes et celles de relations asymétriques. Mais alors on retrouve la complémentarité d'une autre façon : on ne peut simultanément (c'est-à-dire au moyen d'un système unique d'opérations) compter les objets et les englober en un système de classes ou de relations asymétriques qualitatives, car les opérations de dénombrement font abstraction des qualités, tandis que les seconds systèmes les réintroduisent : il y a donc complémentarité entre la logique qualitative et les opérations numériques.

On voit ainsi que la complémentarité est en réalité une propriété générale caractérisant les rapports, non pas entre éléments ou opérations simples, mais entre totalités opératoires. Seulement, dans la logique usuelle, qui porte sur la réalité à l'échelle macroscopique, la permanence des objets individuels rend aisé le passage d'un système opératoire aux systèmes qui lui sont complémentaires, de telle sorte que les mêmes objets peuvent être traités tour à tour comme éléments qualifiés d'une hiérarchie de classes logiques, comme unités numériques, comme parties d'une configuration spatiale, etc., sans que l'esprit éprouve aucune difficulté à relier en un seul tout les caractères simultanément virtuels, mais successivement actualisés de chaque objet individuel. A l'échelle des limitations de l'action expérimentale et par conséquent de l'algèbre qui les exprime, la perte de son individualité qui caractérise le micro-objet impose, par contre, à l'esprit la prise de conscience de la succession des opérations qui déterminent les caractères alternatifs de cet objet, et empêchent de relier ces caractères en un seul tout permanent. C'est pourquoi il est naturel que ce soient les micro-physiciens qui aient découvert la complémentarité, et énoncé ce rapport fondamental dans le concret et non pas dans l'abstrait : une fois de plus les résultats de la limi-

¹ C'est ce que nous avons cherché à montrer jadis en notre ouvrage *Classes, relations et nombres* (Vrin, 1942), p. 257.

tation du champ de l'action convergent avec ceux que permet de dégager la genèse même des actions, dans leur prise de contact avec le réel.

§ 5. LA SIGNIFICATION ÉPISTÉMOLOGIQUE DE LA MICROPHYSIQUE. — Selon les points de vue, le système des notions microphysiques peut apparaître comme une grande nouveauté dans l'histoire des idées ou au contraire comme l'aboutissement logique et naturel de l'ensemble des procédés de pensée antérieurs du physicien. Comme l'a dit W. Heisenberg, tandis que la théorie de la relativité permet encore de déterminer les coïncidences spatio-temporelles et par conséquent de maintenir une séparation plus ou moins nette entre l'objet et le sujet, par contre dans la microphysique « les notions de « coïncidence à la fois dans l'espace et dans le temps » et d' « observation » demandent une révision radicale. Dans la discussion de quelques expériences, nous prendrons particulièrement en considération l'action réciproque de l'objet et de l'observateur. Dans les théories classiques, cette interaction a toujours été considérée soit comme négligeable, soit comme éliminable dans les calculs grâce à des expériences de contrôle. Dans la physique atomique cette hypothèse est inadmissible, car, à cause de la discontinuité caractéristique des faits atomiques, cette interaction peut provoquer des modifications relativement grandes et incontrôlables »¹. Et encore : « Notre manière habituelle de décrire la nature, et en particulier notre croyance en l'existence de lois rigoureuses entre les phénomènes naturels reposent sur l'hypothèse qu'il est possible d'observer les phénomènes sans les influencer sensiblement. Associer une cause déterminée à un effet déterminé n'a de sens que si nous pouvons observer à la fois cause et effet sans en même temps intervenir et troubler leur relation. La loi de causalité sous sa forme classique ne peut donc, à cause de son caractère même, être définie que dans un système fermé. Or, en microphysique, de la « complémentarité » de la description dans l'espace et dans le temps, d'une part, et de l'enchaînement causal d'autre part, résulte l'indétermination caractéristique de la notion d' « observation ». En effet, c'est toujours arbitrairement que l'on décide quels objets seront considérés comme faisant partie du système observé et quels objets seront considérés comme moyens d'ob-

¹ W. HEISENBERG, *Les principes physiques de la théorie des Quanta* (trad. CHAMPION et HOCHARD), p. 2-3.

servation »¹. Autrement dit, le rapport entre le sujet et l'objet est en un sens le même en microphysique qu'en physique classique, à une différence près, qui est de degré dans l'ordre de grandeur des interventions du sujet ; mais, en un autre sens, cette différence de degré atteint une limite, dans le contrôle et les corrections possibles, telle que, passée cette limite, on peut parler d'une différence de nature.

A. Eddington, comparant également la microphysique à la physique macroscopique, dans le passage déjà cité (§ 4) sur le réel et les opérations groupées, ajoute : « C'est le mode d'enchaînement mutuel des opérations, et non leur nature, qui est responsable de ces manifestations de l'univers extérieur qui finalement atteignent nos sens. D'après notre attitude actuelle, c'est le principe fondamental de la philosophie de la science »². Principe commun, par conséquent, à toutes les échelles considérées par la physique, mais mis en évidence avec une particulière netteté à l'échelle microcosmique, à laquelle les opérations du sujet se trouvent jouer un rôle spécialement visible dans le processus de la connaissance.

La connaissance microphysique, peut-on donc dire, constitue le prolongement logique de la connaissance physique en général, mais les difficultés de l'action à cette limite inférieure des échelles rendent particulièrement évidents les rapports entre l'action expérimentale et les opérations déductives servant à l'interprétation de l'expérience, tandis que les mêmes rapports frappent moins l'esprit aux échelles supérieures. En quoi consistent-ils donc ? C'est la réponse à cette question fondamentale que nous avons à chercher à l'école des microphysiciens.

Or, l'essentiel de cette réponse tient à un fait devenu très naturel et qui domine aujourd'hui toute l'interprétation à donner de la pensée physique. Dans la physique des principes, il y avait lieu de distinguer, d'une part, les faits expérimentaux détectés grâce aux techniques de laboratoire et, d'autre part, un cadre déductif de plus en plus éloigné de ces faits, mais dans lequel il fallait que ceux-ci entrent de gré ou de force ; la pensée déductive complétait (et parfois déformait) ainsi les faits en vertu d'exigences devenues *a priori*. Sous l'influence de la microphysique on s'aperçoit au contraire que les opérations déductives servant à traduire et à interpréter les faits de l'expérience constituent le prolongement des actions effectivement

¹ *Ibid.*, p. 51-2.

² *Nouveaux sentiers*, p. 342.

exécutées par l'observateur au cours de son expérimentation. Ce n'est donc plus directement la pensée qui enrichit le réel de son apport : c'est l'action, et alors, d'une part, l'action expérimentale et le réel constituent une symbiose indissociable ; tandis que, d'autre part, la pensée prolonge cette action elle-même sans la plier d'avance à des exigences inaccessibles. C'est ainsi que là où le cadre spatio-temporel ne donne plus lieu à une représentation adéquate, le micro-physicien n'hésite pas à le sacrifier au lieu de le maintenir grâce à ces « coups de pouce » si subtilement analysés par Poincaré : la représentation cède alors le pas à une formulation en apparence beaucoup plus abstraite, de nature algébrique et analytique, mais qui en fait épouse bien davantage les lignes et les sinuosités de l'action elle-même. C'est parce qu'il en est ainsi qu'Eddington a pu attribuer la connaissance physique en général, y compris son aspect sensible, à l'enchaînement des opérations plus qu'à leur nature, un système d'actions devenant, en effet, opératoire par le seul fait de son enchaînement même.

Or, l'immense service rendu à l'épistémologie par la microphysique est de nous faire comprendre qu'il en est en réalité de même à toutes les échelles. Que l'on pense, p. ex., à la mesure spatiale la plus élémentaire : reporter la distance AB sur une autre distance $A'B'$, en la détachant du contexte des masses, du travail, des vitesses, etc., et en combinant simplement une partition et un déplacement (voir chap. III § 8), comme si ces partitions et ces déplacements étaient des choses physiquement simples. Une telle opération consiste à nouveau à prolonger une action effective, en réalité extrêmement complexe, irréversible physiquement comme physiologiquement, mais rendue simple et réversible sitôt qu'elle est considérée comme une unité composable avec d'autres. Lorsque le microphysicien, ne pouvant déterminer à la fois une position et une vitesse traduit sa manière d'agir ou d'expérimenter en un système algébrique non-commutatif portant sur des opérateurs qui correspondent aux observables et sur des fonctions d'ondes qui correspondent aux états, il construit lui aussi un système d'opérations prolongeant le plus directement possible un système d'actions, rendues seulement plus difficiles à coordonner par le fait de l'échelle des objets sur lesquelles elles portent.

Le problème est alors de caractériser cette relation générale entre le sujet et les objets. L'action expérimentale dont procède psychologiquement l'opération déductive est en réalité une interaction entre l'observateur et l'observé : comment donc dé-

terminer la part de chacun, ou la nature d'une telle interaction si ces parts sont indissociables?

Dans le cas de la mesure simple, l'observateur agit sur l'observé en déplaçant réellement ou en pensée son mètre et en sectionnant effectivement ou en pensée le réel à mesurer ; mais en déplaçant ou en sectionnant, il se soumet lui-même aux nécessités que lui impose la réalité extérieure, de telle sorte que ses propres mouvements expriment cette réalité spatiale et mécanique autant que les objets déplacés ou sectionnés traduisent son action. Seulement comme cette interaction demeure superficielle parce que située à une échelle où suffit une analyse globale et grossièrement statistique (par rapport aux micro-objets), les modifications réciproques de l'objet par le sujet (assimilation) ou du sujet par l'objet (accommodation) n'altèrent pas profondément les choses : il en résulte que le sujet a l'illusion de connaître une réalité en soi, indépendante de son action, et d'exister à titre de sujet en soi, indépendamment de l'action des objets.

Mais dans les mesures des relativistes aux grandes vitesses, lorsqu'il s'agit de déplacer en pensée des unités de longueurs à des vitesses solidaires de mesures temporelles effectuées par le moyen de signalisations, l'interaction du sujet et de l'objet présente des caractères déjà bien différents. L'action du sujet est profondément modifiée par les distances dans l'espace et dans le temps et par l'existence, indépendante de lui, d'une constance de la vitesse relative de la lumière, qui lui imposent des limitations étranges et inaccoutumées dans la détermination des simultanéités et des longueurs. Réciproquement son activité de sujet sera d'autant plus considérable qu'augmentera le nombre et la complexité des relations à construire : loin de se borner à des enregistrements passifs, ses signalisations et les équations qui les exprimeront l'obligeront à établir un système de réciprocity multiples entre les divers points de vue possibles, de telle sorte qu'il sera conduit à détruire sans cesse le réel immédiat au profit d'une réalité plus dépouillée, mais enrichie par ailleurs d'un ensemble d'opérations bien « enchaînées ». Seulement le produit de ces opérations, obligeant le sujet à se situer lui-même dans l'univers ainsi construit, lui donnera encore l'illusion réaliste d'un ensemble de rapports indépendants de lui.

Sur le plan microphysique enfin, c'est-à-dire à l'autre extrémité des échelles d'observation, l'interaction entre le sujet et les objets se présentera sous un jour ne laissant plus guère

d'occasions à ces illusions réalistes propres aux échelles plus grandes. Pour connaître les objets, le sujet est, en effet, toujours obligé d'agir sur eux, c'est-à-dire de les modifier d'une manière ou d'une autre. Mais, tandis qu'aux échelles moyennes et surtout supérieures, cette modification consiste surtout à les enrichir de rapports nouveaux sans les altérer profondément, les objets sont cette fois d'un ordre de grandeur considérablement inférieur à celle du sujet et de ses appareils, les actions de localisation, ou de mesure des vitesses, etc., introduisent des changements relativement très grands dans la disposition de ces objets. Il s'ensuit alors que la réalité connaissable est constituée par un complexe indissociable de rapports dus, les uns aux objets et les autres à l'intervention opérative du sujet : celui-ci ne se trouvant jamais en présence que d'un tel complexus ne saurait donc plus tomber dans l'illusion d'atteindre un réel situé au delà de son action. Mais inversement, cette activité est conditionnée comme il va de soi par les propriétés des objets, puisque c'est la valeur du quantum d'Action qui, comme celle de la vitesse de la lumière à l'autre extrémité des échelles, oblige le sujet aux complications expérimentales que l'on sait.

La question épistémologique se précise donc sous la forme suivante. A toutes les échelles, la connaissance physique implique que le sujet agisse sur les objets, et réciproquement, autrement dit qu'il y ait assimilation des objets aux opérations du sujet et accommodation de celles-ci à ceux-là. Est-il donc possible de concevoir un état d'interaction entre les objets et le sujet tel que les opérations transformant les objets se confondent avec les effets déterminés par l'objet sur le sujet lui-même ? C'est à ce prix qu'une connaissance intégrale serait possible par une sorte de fusion fonctionnelle du sujet et de l'objet, c'est-à-dire de correspondance exacte entre les opérations du premier et la causalité du second.

Or, le premier point à noter à cet égard est que, si bas que l'on descende vers la limite de la déterminabilité, on se trouve toujours en présence d'un compromis inévitable entre certaines opérations réversibles, que l'on peut caractériser comme dessinant le canevas des actions possibles du sujet sur les objets, et une distribution probable, en partie fortuite, marquant la frontière de ces mêmes actions. Assurément l'« incertitude » d'Heisenberg, qui empêche de pousser plus loin l'analyse, ne suffit pas à exclure l'éventualité, non pas (on l'a montré) d'une existence de paramètres cachés, mais d'opérations

émanant de sujets à structures physiologiques et mentales toutes autres que les nôtres et qui parviendraient à des déterminations plus poussées. C'est donc relativement à notre structure de sujets humains d'un certain niveau mental que le dualisme entre un réel statistique, simplement probable, et des opérations à enchaînements certains demeure irréductible, et il faut réserver le point de vue de l'« observateur microscopique » de L. de Broglie ou d'un sujet dont les coordinations réversibles ne seraient pas spatio-temporelles et porteraient directement sur les changements d'état. Mais, au seul point de vue auquel il est légitime que nous nous placions, on trouve au terme actuel de l'analyse physique, des opérateurs, d'un côté, « conçus comme des distributeurs de valeurs probables »¹, et ces valeurs probables, de l'autre, expression de la réalité sur laquelle opèrent les premiers.

Le second point à noter est que les uns comme les autres, de ces instruments intellectuels ou de ces réalités, cessent de donner lieu à des « représentations » proprement dites, à l'échelle atomique. Si tributaires qu'ont été longtemps les microphysiciens des images atomistiques, ils ont abouti, comme l'a si bien dit L. Brunschvicg en 1922 déjà, à un « atomisme sans atomes », au sens étymologique du terme². « En résumé, conclut Louis de Broglie au terme d'une étude sur le rapport des théories abstraites et des représentations concrètes, les physiciens de l'école abstraite, qui rejettent les représentations concrètes, et voient dans les formules reliant les phénomènes l'essentiel des théories, paraissent bien, en principe, avoir raison et le développement des théories quantitatives contemporaines apporte une très forte confirmation de leurs vues »³. On pourrait il est vrai objecter à cela que le triomphe apparent du discontinu paraît parler en faveur des intuitions représentatives, mais il est exagéré de voir dans les théories quantiques un triomphe pur et simple du discontinu sur le continu, car si la notion même de *quantum* introduit le discontinu dans ce qui était conçu comme continu, les notions microphysiques de l'« interaction » et du « champ » rétablissent une continuité relative : la suite des conquêtes alternatives du continu et du discontinu décrite par Hoeffding n'est donc peut-être pas près de prendre fin.

¹ G. BACHELARD, *loc. cit.*, p. 28.

² L. BRUNSCHVICG, *L'expérience et la causalité physique*, p. 385.

³ L. de BROGLIE, *Le continu et le discontinu dans la Physique moderne*, p. 107-8.

Ainsi le dualisme relatif de la réversibilité opératoire et de l'irréversibilité statistique, joint à l'irreprésentabilité croissante des phénomènes contraint, du point de vue de la connaissance, de distinguer deux parts possibles dans la réalité microphysique. Il y a d'abord une action réciproque et indissociable entre les opérations, lignes de l'action virtuelle du sujet, et les secteurs du réel sur lequel elles ont prise : les valeurs probables sont, en effet, relatives aux opérations qui les ordonnent autant que ces opérations sont, de leur côté, relatives à la distribution des choses sur lesquelles agit le sujet. Le sujet, autrement dit, se retrouve dans la réalité assimilée autant que le réel se retrouve dans l'action et la pensée assimilatrices. Mais, il y a, d'autre part, l'inassimilé et peut-être — car il ne faut préjuger de rien dans un sens ni dans l'autre — l'inassimilable pour des sujets à notre échelle et de notre structure mentale : cet inassimilé n'est pas seulement le non-représenté, car la représentation intuitive n'est que le symbolisme imagé de l'opération pure, mais le non-formulé, en particulier tout ce qui relève de l'action détaillée des éléments semi-individualisés dont la statistique quantique nous donne un tableau d'ensemble.

Or, le vrai problème de l'idéalisme et du réalisme porte sur cet inassimilé : c'est de lui et non pas de la réalité assimilable qu'il s'agirait de savoir, pour répondre à la question ultime que pose la connaissance, s'il est en définitive de nature extérieure aux actions du sujet — de tout sujet quel qu'il soit — ou si sa structure demeure isomorphe à celle de la pensée vivante et donnera lieu à une assimilation indéfinie.

Mais c'est ici précisément que la science n'a nullement dit son dernier mot. Ce jugement ultime n'appartient point, en effet, au seul physicien, pas plus, naturellement, qu'à l'épistémologiste. Il est en réalité du ressort de l'« observateur microscopique » ou du « bébé atomique », qui pourrait donner raison, soit à l'idéaliste en nous mettant en garde contre les illusions réalistes attachées à nos représentations humaines, soit au réaliste en nous apprenant qu'il a lui aussi à lutter contre un réel hostile et résistant, soit aux deux à la fois (ce qui reviendrait à les renvoyer dos à dos) en nous montrant que ces actions soutiennent avec sa réalité le même rapport que nos opérations avec la nôtre. Or, cet « observateur microscopique » qui fait figure de chimère si on l'imagine sous les traits d'un très petit être humain, pourrait bien prendre place un jour parmi les choses observées ou les « observables » eux-mêmes, sous la forme

d'un micro-organisme voisinant avec les « micro-objets ». Comme l'a dit avec une grande profondeur Ch. Eug. Guye, une physique plus « générale » que la nôtre (et non pas plus particulière) engloberait en son domaine les mécanismes élémentaires de la vie, et le problème des « frontières de la physique et de la biologie » est d'ores et déjà posé par les micro-physiciens.

Or, si l'on se place au point de vue réaliste, selon lequel les actions de notre organisme et les opérations de notre esprit sont le reflet du réel, ce n'est certes pas sous la forme trop simple d'une pression de l'expérience immédiate et externe, exercée par l'intermédiaire des organes des sens individuels, que le réel interviendrait de la manière la plus efficace sur le sujet : c'est par le canal des mécanismes formateurs de l'organisation vivante elle-même, dont dépend l'organisation mentale. Et comme l'esprit humain est tributaire, de ce point de vue, de l'histoire multimillénaire qui rattache l'homme, de la façon la plus continue, aux organismes les plus primitifs, le problème des rapports entre le sujet et l'objet se trouve, en définitive, décentré eu égard à l'homme et situé au cœur même des relations entre l'organisation vivante et la matière inorganique qui lui sert de milieu ou peut-être de source première.

Ce n'est pas à l'épistémologie à spéculer sur ce que pourront fournir un jour, à la théorie des rapports entre l'organisme et le milieu, l'étude des régions limitrophes situées entre la microphysique et la biologie. Il convient donc de clore ce chapitre. Mais si la prudence s'impose ainsi, elle doit s'appliquer aussi bien dans un sens que dans l'autre. Le réel encore inassimilé, et éventuellement même inassimilable à l'échelle des limites de notre action expérimentale, peut constituer le modèle de ces obstacles extérieurs résistant à toutes les tentatives de l'esprit. Mais il pourrait aussi bien fournir un jour la clef des relations entre le vivant et l'inerte, et par conséquent tôt ou tard, des rapports entre le comportement actif de l'organisme et le milieu physique sur lequel s'exerce son action. Ce jour-là, l'hypothèse réaliste et l'hypothèse idéaliste sont susceptibles d'aboutir à de tout autres relations entre elles que celle d'une simple antithèse. C'est ce que nous verrons déjà, à propos des êtres vivants réels et connus, en passant de l'étude de la pensée physique à celle de la pensée biologique (Partie III : chap. IX et X).

CHAPITRE VIII

LES PROBLEMES DE LA PENSEE PHYSIQUE REALITE ET CAUSALITE

Après avoir étudié quelques problèmes se rapportant à la mécanique, aux principes de conservation, au hasard et à la microphysique nous pouvons nous demander maintenant ce qu'est l'explication en physique et quelle sorte de réalité tend à appréhender la pensée du physicien.

La pensée mathématique aboutit à l'assimilation du réel aux opérations du sujet. En son point de départ numérique ou spatial, elle prolonge même directement les actions, dont les opérations constituent la composition réversible, mais, au lieu d'extraire, grâce à une telle activité, les caractères expérimentaux de la réalité, que les structures analytiques ou géométriques traduiraient ainsi sous forme d'abstractions, la mathématique consiste, en son essence, à coordonner les actions ou les opérations entre elles : ce qu'elle exprime, c'est donc moins le réel que les actions opératoires exercées par le sujet sur lui, et encore ne retient-elle de ces actions que leur aspect de composition générale, et non pas leur contenu qualitatif. C'est pourquoi, si la pensée mathématique ne provient pas de l'expérience physique, n'en est-elle pas moins adaptée, et même constamment préadaptée, à la réalité, parce que la coordination exacte des actions correspond nécessairement aux transformations du réel : cette coordination plonge, en effet, dans le réel par l'intermédiaire de l'organisme psycho-biologique qui en est issu, c'est-à-dire par une voie intérieure et non pas par le canal de l'expérience externe comme telle.

Avec la pensée physique débute la conquête de la réalité elle-même, par opposition aux coordinations opératoires qui l'assimilent simplement à l'activité du sujet. Ce réel n'est jamais connu, lui aussi, que par l'intermédiaire des actions exercées sur lui. Seulement, en plus de leur coordination, qui

rend possible la mathématisation de l'objet, intervient alors leur contenu ou leur différenciation, c'est-à-dire les aspects qualitatifs particuliers des divers types d'actions. C'est ainsi que, à une même coordination spatiale de l'action, source de vérité géométrique, peuvent correspondre des vitesses différentes du sujet, des efforts, des actions de soupeser, etc., et ces expériences de la vitesse, de l'accélération ou du poids vont engendrer des notions dépassant le mathématique pur et constituer ainsi le point de départ des relations physiques (étant entendu, répétons-le une fois de plus, que les deux sortes de connaissances se constituent simultanément).

Le rapport entre le sujet et les objets, en cette connaissance physique initiale, est à la fois très voisin et cependant déjà différent du rapport correspondant propre à la pensée mathématique. Lorsque le sujet déplace un objet de A en B, il imprime bien au solide un mouvement objectif autant qu'il se meut lui-même pour produire ce mouvement. Mais, d'une part, le mouvement du sujet serait en tout point pareil (du point de vue de l'espace seul) sans objet réel pour lui servir de point d'appui ; et, d'autre part, ce mouvement n'est concevable que moyennant un système complexe de relations d'ordre et de distance (coordonnées), de congruences, etc., bref selon toute une structuration de l'espace témoignant de la manière dont les actions du sujet enrichissent de rapports nouveaux le réel sur lequel elles portent. Qu'il s'agisse, au contraire, d'imprimer une vitesse à l'objet ou d'évaluer sa vitesse, de le peser, etc. (ou même, ce qui rentre également dans la connaissance physique, de déterminer ses propriétés spatiales intrinsèques), ici l'action est différenciée non pas, seulement dans ses modes indéfinis de coordinations ou de compositions, mais dans ses qualités spécifiques. Même sans métrique, la vitesse suppose déjà, p. ex., la constatation d'un dépassement entre deux mobiles parcourant dans le même sens des trajectoires parallèles, à partir de mêmes points et du même instant de départ. Ce sont là encore des coordinations, donc des compositions logiciables et mathématisables, mais il s'ajoute à la coordination comme telle un élément d'expérience ou d'intuition qui ne porte plus seulement sur les actions comme telles, en tant que coordonnées entre elles, mais aussi sur leur résultat extérieur : la vitesse et le temps supposent, en effet, une mise en relation entre les objets eux-mêmes, et cette mise en relation objective, par opposition aux coordinations simplement formelles, se reconnaît, dans l'action du sujet, à l'intervention d'effets mus-

culaires et d'une résistance des objets, que ne comporte pas un pur déplacement effectué ou conçu sans tenir compte des obstacles à vaincre.

Cela dit, le problème essentiel que soulève la pensée physique est de comprendre le mécanisme de cette prise de contact entre l'esprit (donc, en son point de départ, entre l'action) et l'expérience de la réalité extérieure. Cette prise de contact, dit-on communément, s'effectue d'abord au moyen des perceptions et par le canal, des organes sensoriels. Mais rien n'est plus inexact, comme nous l'avons vu sans cesse, qu'une telle affirmation lorsqu'elle n'est pas complétée par une référence à l'action. Les perceptions qui fournissent, p. ex., une impression de poids, une vitesse, etc. sont essentiellement relatives à des actions de soulever, de se mouvoir plus ou moins facilement ou de suivre des yeux un mouvement, etc. et elles traduisent donc simultanément une donnée extérieure et un état actif du sujet, la première étant assimilée au second. La pensée physique comme la pensée mathématique, repose donc sur les actions du sujet, mais sur des actions particulières indissociables, de leur résultat extérieur et non pas sur les coordinations générales, faciles à abstraire de ces actions particulières. Le problème est alors de comprendre comment le développement de la connaissance physique parvient à dissocier jusqu'à un certain degré ces éléments subjectifs et objectifs donnés dans les actions spécialisées (dès l'action sensori-motrice), pour construire dans la mesure du possible une réalité indépendante du moi. Nous avons étudié cette construction dans un certain nombre de cas : le temps et la vitesse, la force, les notions de conservation, le hasard, etc. Mais, il reste à chercher les lignes générales de ce processus commun à toutes les notions physiques.

Le premier problème est, à cet égard, celui de l'évolution même de l'explication ou de la causalité, à supposer que l'on puisse dégager les lois de développement régissant un tel ensemble de notions. Après quoi la question se posera de savoir en quoi consiste cette explication physique : se réduit-elle, comme le veut le positivisme, à une simple description des faits généraux, autrement dit à l'établissement de lois schématisant les constatations et rendant la prévision possible, ou bien, au contraire, la pensée physique fait-elle, comme la pensée mathématique, appel aux opérations elles-mêmes, mais dans le but de produire et d'expliquer le mode de production de phénomènes réels. Si c'est le cas, en quoi consiste alors la cau-

salité ? Faut-il y voir, avec Kant et sa postérité, une application de la déduction à l'expérience ? Mais quelle est la nature et le rôle de cette déduction ou de cette application ? Enfin, et là est la principale question, si la déduction physique est une sorte de production ou de reproduction, quel est alors le type de réalité que constitue, pour le physicien, le réel extérieur ? Est-elle distribuée sur un plan unique, le même au point de départ perceptif et au point d'arrivée constitué par la théorie physique la plus élaborée, ou se distribue-t-elle selon des plans variables dont il serait possible de déterminer la loi de succession ?

§ 1. LA GENÈSE ET L'ÉVOLUTION DE LA CAUSALITÉ DANS LE DÉVELOPPEMENT INDIVIDUEL. — Sans préjuger de ce qu'est la causalité, on peut néanmoins étudier à son sujet l'histoire des interprétations que l'intelligence se donne de la réalité. Il est possible que ces interprétations, qui débudent ou qui se manifestent assurément, à un certain niveau, par la construction de causes proprement dites, finissent par éliminer toute notion causale au profit de notions simplement légales : il y aurait cependant en ce cas évolution de la causalité, mais avec tendance à l'élimination de cette notion. L'examen préalable de l'évolution de la causalité ne présuppose donc aucune solution *a priori* à son égard, mais contribue au contraire à l'établissement d'une solution *a posteriori* et objective.

De ce point de vue, il est indispensable de partir de la psychogenèse de l'idée de cause, car cette notion, quelles que soient les formes sous lesquelles elle intervient en physique, est le modèle des notions de sens commun : aussi est-ce toujours sur le terrain de la pensée spontanée que les théoriciens de la causalité ont commencé par se placer avant de se prononcer sur la valeur de ce concept dans la connaissance physique elle-même. C'est en particulier par l'analyse des formes les plus élémentaires de causalité que l'on a toujours cherché à justifier l'origine empirique du rapport causal.

I. On trouve effectivement, dans les réactions les plus primitives du jeune enfant, certains aspects de la mise en relation causale qui semblent militer en faveur d'un primat de l'expérience externe, tandis que d'autres paraissent de nature à rattacher la causalité à l'expérience intérieure. La comparaison de ces deux sortes de manifestations et surtout leur évolution ultérieure semblent, au contraire, montrer que la cau-

salité est d'abord essentiellement assimilation des séquences aux actions du sujet, après quoi elle se développe en fonction de leur composition même ; celle-ci est déjà source des opérations logico-mathématiques, mais la composition causale ou explicative englobe, en plus, un élément de succession temporelle emprunté à l'expérience externe ou interne ; c'est en quoi cette composition est causale au lieu de demeurer simplement déductive ou implicative, mais l'élément de succession ne suffirait pas à constituer le lien causal sans une assimilation aux actions propres, puis à la composition opératoire.

Certaines formes initiales de causalité illustrent, il est vrai, de façon frappante le phénoménisme de Hume et semblent ainsi militer en faveur d'une genèse empirique de la causalité, en fonction de l'expérience en général, surtout extérieure, et des habitudes contractées à son contact. Ayant saisi par hasard un cordon pendant de la toiture de son berceau, un bébé de 4 à 5 mois voit cette toiture s'ébranler et entraîner dans son mouvement tous les objets suspendus à elle : il met alors immédiatement en rapport causal tous les éléments de ce spectacle, sans cependant comprendre en rien le détail des connexions ¹. La preuve qu'il y a mise en relation est qu'il suffit de suspendre une nouvelle poupée à la toiture pour voir l'enfant rechercher et tirer le cordon qui la mettra en mouvement. Mais la preuve qu'il y a incompréhension des connexions réelles (contacts spatiaux, etc.) est que, en présentant au sujet des objets suspendus à 2 m. de lui, sans aucun lien avec le berceau ni avec sa toiture, il agitera également le même cordon pour mettre l'objectif en mouvement, comme si le procédé découvert pouvait agir indifféremment, et à n'importe quelle distance, sur tous les jouets suspendus. Cet exemple peut être pris comme prototype d'un ensemble de conduites qui durent jusqu'assez tard : p. ex. vers 4 ans encore on voit des enfants attribuer à un trait d'encre, marqué un instant auparavant devant eux sur le verre d'un bocal, le fait que le niveau de l'eau ne redescend pas après que le sucre immergé ait fondu ; ou attribuer à la lanterne d'une bicyclette la marche de celle-ci ; etc. A constater la fréquence de tels faits, on serait donc tenté de penser, avec Hume, que la causalité à ses débuts se réduit simplement aux associations habituelles : de deux phénomènes quelconques rapprochés par l'expérience, l'antécédent serait considéré comme cause du conséquent dans la mesure où l'association est consolidée par la force de l'habitude, et sans aucune raison intrinsèque.

¹ Voir, pour cette expérience, *La Construction du réel chez l'enfant*, Delachaux et Niestlé), chap. III, § 2.

Mais deux circonstances empêchent de considérer le schéma de Hume comme suffisant. En premier lieu, ce ne sont pas des rapprochements quelconques entre un événement A et un autre événement B qui déclenchent la construction d'une relation causale : durant toute une première période du développement mental, il est nécessaire, pour que A soit considéré comme la cause de B, que A constitue une action du sujet lui-même. Dans l'exemple, cité à l'instant, du cordon suspendu au toit du berceau, la cause A de l'événement B, consistant en mouvements de la toiture, n'est pas simplement le mouvement du cordon : c'est l'acte global de tirer le cordon, c'est-à-dire que la cause consiste en une action du sujet lui-même, laquelle englobe simplement certains objets servant d'intermédiaires. Ce n'est qu'ultérieurement et secondairement qu'un pouvoir causal est délégué aux objets comme tels, encore que le premier de ces objets soit en général constitué par le corps d'autrui¹. Il ne suffit donc pas, pendant presque toute la première année du développement, que des événements se succèdent devant les yeux de l'enfant, même de façon régulière, pour qu'ils constituent des séquences causales : ils demeurent à eux seuls de simples tableaux successifs, et pour qu'ils acquièrent un caractère causal, il faut que l'action propre intervienne parmi eux. Ce n'est qu'ultérieurement que « n'importe quoi » pourra être conçu comme produisant « n'importe quoi », mais en certaines situations exceptionnelles dues à l'incompréhension complète des mécanismes en jeu : p. ex. la marque de l'encre ou la lanterne de bicyclette citées plus haut. La première forme de causalité est donc liée à l'action propre et ce n'est que par une sorte de délégation des pouvoirs de celle-ci, que certains objets sont ensuite, mais ensuite seulement, revêtus de vertu causale.

En second lieu, lorsque ces objets extérieurs au corps propre sont considérés comme des causes indépendantes de l'action individuelle, ils ne sont pas simplement perçus ou conçus tels qu'ils apparaîtront lorsque se développera une pensée physique susceptible d'objectivité : ils sont revêtus de qualités émanant encore du sujet lui-même ou de ses activités. C'est ainsi que la lanterne conçue comme cause du mouvement de la bicyclette, ou que la marque d'encre censée retenir l'eau au niveau indiqué, seront considérés comme animés d'intentions, de forces, etc. ou comme revêtus de pouvoirs émanant de la

¹ Voir *La Construction du réel chez l'enfant*, chap. III § 2 et 3.

volonté adulte, bref seront assimilés aux schèmes de l'action propre. Or, un tel fait serait inexplicable si la causalité résultait exclusivement d'associations ou d'habitudes imposées par l'expérience seule, tandis que cette assimilation s'explique aisément si la causalité procède de l'action.

II. Mais alors, ne faut-il pas simplement invoquer l'expérience intérieure et regarder la causalité, avec Maine de Biran, comme le produit d'une lecture directe de l'action volontaire, ou d'une « induction » analogique conduisant à imaginer les choses sur le modèle du moi ? Et, de fait, l'évolution des notions de causalité chez l'enfant semble au premier abord justifier la doctrine biranienne, pour autant qu'elles débordent le pur phénoménisme de Hume : le rôle nécessaire de l'action propre dans la genèse du lien causal, et les concepts animistes de la force, de la finalité, etc., paraissent résulter de l'expérience directe de la causalité volontaire, au sens où le célèbre philosophe prenait ces notions dans ses essais d'analyse réflexive. Mais il importe de répéter une fois de plus que l'intervention d'une action dans la formation d'une notion n'implique en rien que celle-ci dérive de l'« expérience intérieure », car, autre chose est d'agir sur le réel en assimilant les choses aux schèmes de cette action, et autre chose est d'introspecter correctement l'action elle-même jusqu'à pouvoir saisir de façon immédiate le mécanisme de sa causalité effective. Dans le premier de ces deux cas, il peut y avoir assimilation des objets au schème d'une action sans que celui-ci donne lieu à une prise de conscience adéquate : du point de vue de la conscience il jouera alors le rôle d'une structure pour ainsi dire *a priori*, même si les actions antérieures dont il résulte ont consisté en interactions entre le sujet et les objets. Or, pour Maine de Biran, la notion de cause proviendrait d'une introspection adéquate du rôle de la volonté dans l'action, tandis que l'examen des données psychogénétiques paraît aboutir à la conclusion inverse : si l'action est bien à la source de la causalité, c'est seulement en tant qu'elle impose ses schèmes aux objets ; c'est de cette relation entre l'objet et le schématisme en partie inconscient de l'action que procède la prise de conscience du sujet, et celle-ci ne consiste pas en une lecture directe du mécanisme intime des actes.

En effet, loin de découvrir dans les premières actions intentionnelles le rôle de sa volonté et l'existence de son moi, le bébé

bébé ne parvient que tard (vers la fin de la première année) à dissocier ce moi du monde extérieur, et sa prise de conscience procède de la périphérie au centre et non pas le contraire. Aussi les premières expériences sensori-motrices de la causalité n'ont-elles rien de pures expériences intérieures : un rapport extérieur, de caractère phénoméniste, est toujours englobé au début dans le schème causal, aussi bien qu'une action propre. Dans l'exemple cité à l'instant de la ficelle qui actionne les mouvements du toit d'un berceau, il y a le rapport phénoméniste reliant les déplacements de la ficelle à ceux de la toiture, et ce rapport, perçu en fonction de l'acte lui-même de tirer la ficelle, intervient comme lui dans la construction du lien causal initial. La prise de conscience ne part donc pas du centre, c'est-à-dire du courant d'innervation reliant le cerveau à la main, mais bien du résultat global de l'action. Ce n'est que dans la suite que la conscience parviendra simultanément à remonter de ces résultats aux intentions et à descendre d'un antécédent externe à son conséquent également extérieur.

Au total, le point de départ psychologique de la causalité n'est à rechercher ni dans les rapports purement phénoménistes fournis par l'expérience extérieure, ni dans les données introspectives de l'expérience interne^[*] mais bien dans une assimilation des données de l'expérience aux schèmes de l'action propre. En d'autres termes, Hume et Maine de Biran ont vu chacun un aspect de la réalité, mais ils se corrigent l'un par l'autre : cela revient à dire que la causalité ne saurait résulter d'aucune « expérience » proprement dite, mais bien, et dès le principe, d'une organisation de l'expérience en fonction du schématisme de l'action.

Mais en quoi consiste ce schématisme assimilateur ? Est-il voisin de celui qui engendre les opérations logico-mathématiques, et en particulier spatiales, tout en en différant par l'intervention de données empruntées au réel, ou est-il d'une autre nature ? Et, qu'il en soit voisin ou non, débute-t-il seulement sur le plan de l'intelligence, ou donne-t-il lieu, comme les intuitions spatiales, et comme les intuitions prélogiques et prénumériques elles-mêmes, à une « perception de la causalité » précédant la représentation comme telle, ainsi que l'intelligence pratique (ou sensori-motrice), de la causalité ?

III. En de très intéressantes expériences¹, A. Michotte a récemment réussi à démontrer l'existence d'une perception de la causalité, comparable par ses lois de structuration d'ensem-

¹ A. MICHOTTE, *La perception de la causalité*, Louvain, 1946.

[*Note FJP : Nous avons substitué « interne » à « externe ».]

ble à la perception des formes spatiales, et qu'il a voulu interpréter selon le modèle des explications dites « gestalistes ». Il a présenté à ses sujets diverses figures, telles qu'une forme rectangulaire A animée d'un mouvement de translation, et se dirigeant vers un objet de forme analogue B : celui-ci, lors de l'impact, entre en mouvement à son tour. Or, il s'est trouvé qu'en certains cas les sujets « perçoivent » le mouvement de A comme provoquant causalement (par choc, entraînement, etc.) le déplacement de B, tandis qu'en d'autres cas, les deux mouvements sont perçus comme indépendants et se succédant simplement. Il ne s'agit nullement, selon Michotte, d'un jugement porté sur des perceptions, mais, au sens le plus strict, d'une perception du lien causal lui-même, en tant que propulsion. Et le grand intérêt de ces faits est de témoigner d'une différenciation précise à cet égard : il suffit de modifier tant soit peu les grandeurs en jeu (distances, dimensions, durées et vitesses) pour transformer la perception elle-même et donner lieu à des impressions bien distinctes, chacune relativement constante.

Précisons d'abord que les faits comme tels semblent incontestables. Nous les avons reproduits dans notre laboratoire (avec Lambercier) et avons retrouvé les mêmes réactions perceptives que Michotte ; nous les étudions actuellement chez l'enfant. Assurément, la question préalable consisterait à déterminer jusqu'à quel point de telles réactions sont constantes à tous les âges (y compris les premiers mois de l'existence) et dans quelle mesure elles dépendent de structures héréditaires (maturation, etc.), ce qui, selon le cas, renverrait les problèmes de genèse à la biologie elle-même. Mais, à défaut de solution sur ces points fondamentaux, il est déjà possible de dégager les principaux enseignements épistémologiques des données actuellement connues.

En premier lieu, les faits découverts par Michotte présentent l'intérêt de constituer, en tant que « préfiguration » de la causalité notionnelle dans la causalité perceptive, un nouveau cas de ce phénomène si général qu'est la répétition des mêmes constructions génétiques d'un niveau à l'autre de la hiérarchie des conduites, avec décalage dans le temps et élargissement de la construction sur chaque nouveau palier. L'organisation d'abord perceptive puis notionnelle, de la causalité est comparable à cet égard, à ce que nous avons déjà vu de la structuration, par paliers successifs, de l'espace (chap. II) ou du temps (chap. IV § 2), etc.

Deux stades, ou types successifs, sont en effet à distinguer dans la causalité perceptive : la perception tactilo-kinesthésique liée aux mouvements propres des membres ou de la tête, et susceptible de s'exercer dès la vie fœtale, et la perception visuelle ultérieure, pouvant porter sur les contacts entre mobiles indépendants du corps propre aussi bien que sur les actions de ce dernier. Or, ces deux paliers de la causalité perceptive correspondent de façon frappante à ce que seront, sur le plan de la causalité notionnelle, la causalité par assimilation à l'action propre et la causalité par composition proprement dite, c'est-à-dire par assimilation à une coordination d'actions ou d'opérations.

Effectivement, dans le cas de la perception visuelle de la causalité (entraînement d'un objet par un autre, propulsion, déclenchement, etc.), le phénomène général de l'« ampliation » perceptive du mouvement¹ se présente, comme Michotte y insiste lui-même, avec tous les caractères d'une composition mécanique (c'est-à-dire non pas seulement cinématique, mais bien dynamique, par le fait des accélérations positives et négatives). Dans le cas de l'effet d'« entraînement », nous avons même déjà la perception d'un mouvement inertial : l'objet B est vu immobile par rapport à l'objet A qui l'entraîne, tout en changeant de position par rapport au système de référence extérieur (il y a alors ce que Michotte appelle un « dédoublement phénoménal », indépendamment de la question de savoir à quel niveau mental apparaît un tel dédoublement). L'impression de « productivité » (comme dit Michotte), propre à la causalité perceptive, est donc due à la composition comme telle des mouvements perçus (ou des changements de position et de forme) et non pas à l'un d'entre eux par opposition aux autres. Autrement dit, la causalité en tant que production d'un effet nouveau ne tient pas à une qualité particulière perçue dans les objets A ou B (dimensions, masse, etc.), mais à la décomposition et à la recomposition des mouvements c'est-à-dire à ce que Michotte appelle l'« ampliation » : la cause perceptive du changement de B n'est donc pas l'objet A, ni même le seul mouvement (ou le changement de forme) de A, mais bien la composition d'ensemble des rapports spatiaux (dimensions et intervalles), temporels (successions et durées) et cinématiques

¹ MICHOTTE, *loc. cit.*, p. 213-219. L'ampliation est la décomposition du mouvement de l'agent en deux mouvements ou déplacements perçus comme liés l'un à l'autre : celui du patient et celui de l'agent lui-même.

(vitesses et accélérations) qui déterminent l'impression de *communication du mouvement*. Il s'ensuit que l'impression perceptive de causalité tient à une résultante globale, déterminée de façon précise par les rapports en jeu, mais demeurant globale en tant qu'elle émane, non pas d'un rapport particulier parmi les autres, mais bien de la composition d'ensemble de tous les rapports donnés.

Comparons, p. ex., la perception d'un carré (immobile) à celle d'un effet de propulsion. Dans le premier cas, on perçoit la figure comme une *réunion*¹ de tous les éléments et de leurs rapports (égalité des côtés et des angles, fermeture, etc.) : on voit donc chaque élément comme une *partie* (ou une relation constitutive partielle) du carré. Dans le cas de la propulsion, par contre, on voit des longueurs, des successions temporelles, des vitesses, des modifications de vitesses (accélération), etc., mais la causalité n'est nullement perçue comme une simple réunion, simultanée ou successive, de ces éléments ou rapports, sans quoi on ne percevrait qu'un système exclusivement cinématique. La causalité est au contraire perçue à titre de *résultante* de la composition en jeu : on voit un mobile gagner en mouvement ce que perd le moteur ; ou bien (entraînement) on voit le mobile se mettre en mouvement à la même vitesse que l'objet moteur après que celui-ci l'ait rejoint (d'où l'impression d'inertie). En tous les cas où l'on perçoit une causalité, il s'effectue ainsi comme un jeu de compensations entre les mouvements (ou changements de forme) du moteur et les mouvements (ou changements de position ou de forme) du mobile, c'est-à-dire comme l'équivalent perceptif d'une sorte de calcul des vitesses. A défaut de quoi, il y a simplement perception de successions cinématiques. En d'autres termes, loin d'être perçue comme une réunion d'éléments ou de rapports (ou *a fortiori* comme un *jeu de transformations* dont elle constitue phénoménalement la résultante globale,² c'est précisément en tant que

¹ Réunion dans le sens, non pas naturellement d'un système d'associations entre éléments préexistants, mais d'une configuration d'ensemble.

² La meilleure preuve en est que, objectivement parlant, c'est-à-dire en se plaçant au point de vue des données physiques présentées, il y a simple succession cinématique et non pas causalité dans les tableaux offerts à la perception du sujet : celui-ci y introduit donc la causalité par l'intermédiaire d'un système de transformations perceptives, qui sont à la causalité effective ce que les mouvements stroboscopiques sont au mouvement réel. Pour autant que la causalité réelle est perçue comme la causalité dans l'effet Michotte (à la

pareille composition totale que la causalité perceptive ajoute aux rapports géométriques et cinématiques perçus une impression de *productivité* ; celle-ci serait inexplicable si elle ne résultait pas de la composition comme telle, et effectivement aucun des rapports en jeu (intervalle, succession, mouvement, etc.) n'est perçu comme une « partie » de cette productivité (à la manière d'un côté du carré, ou de l'égalité de ses angles, etc.) : il ne constitue que l'une des conditions de la transformation perçue.

Bref, cette « productivité » causale, quoique lue perceptive-ment dans la succession des changements de forme et de position, suppose les compositions d'un sujet psychologiquement et physiologiquement actif, c'est-à-dire implique une activité perceptive d'un degré supérieur à la perception d'un point ou d'une ligne. De même que la causalité rationnelle résulte d'une composition opératoire due à l'activité du sujet et attribuée aux objets comme tels, de même la causalité perceptive émane donc déjà d'une activité du sujet (puisque surgissant à l'occasion de certains rapports cinématiques, mais ne correspondant pas, nécessairement à une causalité physiquement réelle), tout en étant perçue dans l'objet.

Il va de soi, par conséquent, que la notion de causalité ne saurait être extraite par abstraction des objets ou des événements perçus eux-mêmes. Il se pourrait, tout d'abord, que les compositions opératoires qui constitueront la causalité rationnelle ne tirent pas directement leurs éléments de la causalité perceptive (pas plus que les formes logico-mathématiques et physiques de conservation ne s'appuient directement sur les « constances » perceptives de la grandeur, etc.). Mais, pour autant que la causalité opératoire puise indirectement ses composantes dans la causalité perceptive, il s'agira alors d'une abstraction portant, non pas sur le spectacle des objets comme tels, dans lesquels la composition perceptive introduit l'impression spécifique de productivité, mais sur cette composition perceptive elle-même, c'est-à-dire sur l'activité perceptive du sujet qui relie en un tout causal perceptible l'ensemble des rapports donnés (selon une structuration quasi immédiate et indépendante de la présence réelle d'une causalité physique dans les objets présentés).

manière dont le mouvement réel est perçu comme le mouvement stroboscopique), cela signifie ainsi qu'il y a toujours composition perceptive, donc activité du sujet, dans la perception d'un lien causal quelconque.

Dans le cas de la causalité tactilo-kinesthésique, il en va d'ailleurs déjà ainsi : la notion de la causalité par assimilation de l'effet à l'action propre n'est pas tirée de la perception tactilo-kinesthésique en tant que perception des seuls mouvements du corps ou des résistances extérieures, mais en tant que composition de tous les rapports en jeu, lesquels dépendent en l'espèce précisément de l'action envisagée dans son organisation même ¹.

Dans les deux cas, il n'y a donc pas empirisme causal, au sens de Hume ou de Maine de Biran, mais, ou bien apriorisme ², ou bien rapport indissociable entre le sujet et l'objet : la raison en est, en un mot, que la perception de la causalité résulte, comme la causalité opératoire elle-même, de la composition comme telle des rapports en jeu, et non pas de l'un quelconque des rapports composés.

IV. Une action isolée, source d'un rapport causal défini (p. ex. pousser un objet) est comparable à une action isolée source d'un futur rapport opératoire de nature logico-mathématique (p. ex. réunir deux objets en un seul tout), mais la différence entre elles réside en ceci que, dès le départ, la première de ces deux sortes d'actions englobe des éléments empruntés à l'objet lui-même (sa résistance ou masse, etc.), tandis que la seconde n'emprunte rien aux objets et se borne à leur imprimer une structure ou disposition émanant de l'action elle-même (leur résistance, etc., n'entrant pas en considération dans leur réunion). Quant aux actions coordonnées entre elles (p. ex. se servir d'un objet comme intermédiaire pour en pousser un autre), elles sont comparables aux coordinations qui sont à la source des compositions opératoires de caractère logico-arithmétique (p. ex. se servir d'un moyen terme comme instrument de comparaison), mais la séquence causale constituée par les premières de ces coordinations fait à nouveau intervenir, en plus de la coordination des actions elles-mêmes, une modification des objets comme tels (interactions mécaniques, etc.), tandis que les secondes de ces coordinations (sériations, em-

¹ Aussi bien, Michotte souligne-t-il (p. 263-9) l'accord possible entre ses propres résultats et les nôtres, tout en interprétant ce que nous avons appelé l'« efficace » de la causalité sensori-motrice primitive dans un sens qu'il croit plus proche de Maine de Biran que nous ne l'avions voulu (p. 265) : l'efficace est déjà assimilation, c'est-à-dire composition dans un sens que préfigure la « productivité » propre à la causalité perceptive sous son aspect tactilo-kinesthésique.

² En cas d'hérédité des structures causales, et d'hérédité à origine endogène.

boitements, etc.) se bornent à relier les actions du sujet. Dès le point de départ de la causalité, on constate ainsi qu'elle prend source, comme les opérations logico-mathématiques, dans l'activité du sujet et que la connexion causale s'appuiera donc tôt ou tard sur des coordinations entre actions, c'est-à-dire précisément sur des liaisons de même nature que les liaisons logico-mathématiques (d'où la parenté ultérieure de la causalité et de la déduction) ; mais tandis que, dans le cas des liaisons ou des opérations logico-mathématiques, cette activité du sujet se borne à grouper les objets sans les modifier autrement que par enrichissement ou apport de relations nouvelles, dans le cas des liaisons causales, elle modifie les objets et englobe ces modifications dans les compositions mêmes. Mais alors ces modifications tout en fournissant la connaissance des qualités physiques de l'objet (poids, résistance, etc.) ne peuvent être conçues que par analogie avec les actions ou les opérations du sujet, puisque c'est seulement à l'occasion de l'exercice ou de la composition de celles-ci que de telles modifications de l'objet sont découvertes : c'est ainsi que naît la causalité, par une extension de l'action ou de l'opération à l'objet lui-même, dont les modifications seront assimilées, dans la mesure du possible, à des opérations proprement dites. Plus brièvement dit, les opérations logico-mathématiques consistent en actions exercées par le sujet sur les objets, tandis que la causalité ajoute à ces actions (qu'elle comprend également), des actions analogues prêtées à l'objet comme tel : dans la causalité, ce sont donc les transformations de l'objet qui deviennent des opérations, en tant qu'elles sont englobées dans la composition des opérations mêmes du sujet.

L'évolution de la causalité suivra donc exactement les étapes du développement opératoire, dans la mesure où ce progrès aboutira à structurer les interactions entre le sujet et les objets ainsi qu'entre les objets eux-mêmes et non pas seulement les coordinations générales de l'action. Or, le développement des opérations logico-mathématiques consiste d'abord en une coordination des actions sensori-motrices, puis en une reconstruction intuitive de ces mêmes actions, avec les défauts de composition et de réversibilité qui caractérisent toute intuition, et enfin en une composition réversible d'opérations concrètes, puis formelles. Le développement de la causalité consiste réciproquement en une assimilation d'abord égocentrique des modifications du réel aux actions du sujet, puis en une assimilation décentrée à ses opérations proprement dites. Mais,

par le fait que la réalité extérieure intervient différemment dans le lien causal et dans les opérations logico-mathématiques, l'accommodation aux objets concomitante à cette assimilation se traduit, non pas simplement, comme dans le cas de ces opérations, par une soumission initiale aux données perceptives actuelles puis par un affranchissement à leur égard et par une correspondance avec toutes les situations perceptives possibles, mais d'abord par un phénoménisme systématique qui décroît ensuite, puis par une accommodation aux aspects de plus en plus profonds de la réalité (profond signifiant s'éloignant toujours davantage de l'action immédiate).

En d'autres termes, aux niveaux inférieurs du développement individuel de la causalité, les petits (jusque vers 7 ans), sont à la fois plus près et plus loin des choses que nous, plus près parce que s'en tenant à l'apparence phénoméniste, mais plus loin parce que doublant ces rapports empiriques par des adhérences subjectives tenant à leur assimilation à l'action propre. C'est ainsi que les enfants croient jusque vers 6-7 ans que la lune les suit (voir chap. IV § 7) parce que l'apparence phénoméniste suggère, en effet, cette croyance, mais ils ne peuvent s'empêcher d'interpréter ces mouvements apparents de la lune, soit en s'attribuant le pouvoir de la faire avancer, soit en admettant qu'elle désire elle-même les suivre. Au contraire, à partir du niveau des opérations concrètes, la causalité se détache à la fois du phénoménisme et de l'égoïsme pour s'engager dans la direction de la déduction appliquée au réel. Toute l'évolution de la causalité, au cours du développement individuel, est donc commandée par ces deux processus, d'une part de désobjectivation, et, d'autre part, de remplacement de l'apparence empirique par la découverte de modifications plus profondes, non perceptibles mais déduites opératoirement.

De cette origine simultanément subjective, par assimilation égocentrique à l'action propre, et phénoméniste de la causalité, et de ce double processus d'affranchissement à l'égard du moi et à l'égard de l'apparence des choses, résulte une évolution marquée par la succession de quatre périodes principales, sans revenir sur la période sensori-motrice dont il a été question au début de ce §.

Lorsque procédant de l'action pure à la représentation imagée et verbale, les petits de 2 à 4-5 ans commencent à imaginer les causes et non plus seulement à les engendrer par le mouvement, on retrouve (en vertu d'un décalage général de l'acte à la pensée) des formes de causalité à la fois égocentriques et phénoménistes au *maximum*, comme dans l'exemple sensori-moteur cité plus haut du cordon pendant du toit d'un

berceau et devenant un intermédiaire pour agir sur n'importe quoi. C'est ainsi qu'un enfant de 5 ans¹, découvrant qu'en agitant la main à la manière d'un éventail on produit un léger courant d'air, s'est servi de la notion baptisée par lui-même l'« amain » pour expliquer divers phénomènes qui le frappaient : p. ex. pivotant sur lui-même jusqu'à se donner le vertige, il attribuait le fait que tout tournait autour de lui à un ébranlement réel des objets, provoqué par l'« amain » dû à son propre mouvement giratoire ; par contre les grandes personnes ne voyaient rien tourner du fait que, étant plus élevées, elles se trouvaient situées dans l'« amain bleu » immobile (c'est-à-dire dans l'air du ciel), par opposition à l'« amain blanc » (= transparent) sujet au tourbillon. On voit combien ce concept de l'« amain » illustre à la fois l'assimilation égocentrique des phénomènes à l'action propre, et le phénoménisme des apparences extérieures. Or, on trouve au même niveau bien d'autres exemples de cette même causalité liée à l'action propre : les ombres et la nuit, le mouvement des astres, etc. sont rattachés ainsi comme celui de l'air à l'activité égocentrique.

Durant une seconde période (4-5 à 7-8 ans en moyenne) cette précausalité se systématisait par délégation aux objets eux-mêmes. L'accroissement du nombre des « pourquoi » ou des questions de caractère à la fois finaliste et proprement causal, l'animisme et un artificialisme mêlés à une notion égocentrique de la force (chap. IV § 5), etc. manifestent ainsi une causalité toujours liée à l'action mais attribuée aux choses elles-mêmes. Il n'y a donc encore à ce niveau ni notions de conservation nécessaire (chap. V § 2), ni hasard (chap. VI § 1), ni composition des mouvements, des vitesses et du temps (chap. IV § 2-4).

Au niveau des opérations concrètes logico-arithmétiques et spatiales, le phénoménisme et l'égocentrisme commencent par contre à diminuer au profit d'une causalité ne procédant plus de l'action simple, mais de compositions de nature opératoire : tels les premiers schèmes atomistiques découlant de la conservation naissante des quantités physiques (voir chap. V § 2 et 4) et les compositions cinématiques élémentaires. Par contre, les tendances animistes et artificialistes subsistent à l'état résiduel dans un dynamisme assez général, que l'on observe notamment dans l'explication enfantine du mouvement des projectiles (chap. IV § 5).

Enfin, au niveau des opérations formelles (vers 11-12 ans), la construction des derniers schèmes élémentaires de conservation et d'atomisme, le début de la composition des mouvements relatifs, avec leurs vitesses, la compréhension combinatoire du hasard, etc., marque l'achèvement des formes communes de la causalité.

¹ Voir *La formation du symbole chez l'enfant* (Delachaux et Niestlé), p. 272-4.

Procédant de formes initiales à la fois égocentriques et phénoménistes issues de l'action simple la causalité aboutit ainsi à une déduction véritable née de la coordination des actions et susceptible de dissoudre les apparences pour leur substituer un ensemble de compositions intelligibles oscillant entre l'opérateur proprement dit et la combinaison probable. Une telle évolution des structures causales ne saurait donc s'expliquer ni par l'expérience externe ni par l'expérience interne à elles seules : elle témoigne au contraire de coordinations opératoires croissantes, issues de l'activité propre, et décentrant cette dernière au profit de la composition elle-même. Mais cette composition, au lieu de s'en tenir aux seules opérations du sujet, englobe un élément réel tiré des objets par le moyen de l'expérience, et remplace ainsi la pure succession logique des implications par une succession temporelle. Seulement la réalité qu'atteint la causalité par opposition aux opérations pures est une réalité vicariante : partant de l'apparence sensible, elle s'en éloigne ensuite toujours davantage pour se réfugier sous les données immédiates, et ne plus laisser prise qu'à la déduction, vérifiée et non plus asservie par l'expérience.

§ 2. LES ÉTAPES DE LA CAUSALITÉ DANS L'HISTOIRE DE LA PENSÉE SCIENTIFIQUE ET LE PROBLÈME DE L'EXPLICATION CAUSALE. — L'évolution de la causalité au cours de l'histoire est analogue, en ses formes initiales, à ce que nous venons de voir de son développement individuel. Mais, s'élevant ensuite à des niveaux beaucoup plus élevés, cette évolution soulève, à la fois par son déroulement propre et par la comparaison des structures les plus évoluées avec celles que la psychogenèse révèle les plus élémentaires, le problème central de la causalité : si celle-ci est, à toutes les étapes, une assimilation du réel aux actions puis aux compositions opératoires du sujet, quels sont les éléments de la réalité que la déduction causale parvient à s'intégrer, ou, pour mieux dire, à quelle réalité aboutit cette réduction de l'univers physique aux opérations constructives du sujet ?

De la pensée préscientifique ou « primitive » à cette identification, conçue par Descartes, entre la cause physique et la « raison » déductive (*causa seu ratio*), on peut distinguer dans le foisonnement des types historiques d'explication causale, antérieurs à la constitution de la physique moderne, un certain nombre de modèles tels que la causalité magico-phénoméniste, la causalité animiste et artificialiste, le dynamisme

aristotélien et enfin le mécanisme spatio-temporel. Or, leur succession, malgré toutes les sinuosités et les régressions momentanées, permet de retrouver un processus d'élaboration de la causalité analogue à celui que met déjà en évidence la formation psychogénétique de l'idée de cause : d'abord une assimilation égocentrique du réel à l'action simple, avec accommodation demeurant phénoméniste, puis une assimilation aux actions composées, ou coordinations opératoires, avec délégation de l'opération à des transformations du réel toujours plus éloignées de l'apparence immédiate.

Il est frappant, en effet, de constater combien toutes les formes préscientifiques de causalité consistent en assimilations directes du réel aux actions humaines, exécutées individuellement ou surtout en commun. C'est ainsi que la magie, dont tout semble indiquer qu'elle constitue la première forme de causalité représentative (par opposition à la causalité en partie sensori-motrice demeurant immanente aux techniques élémentaires), n'est pas autre chose que le déploiement des croyances en l'efficace des actes, c'est-à-dire des gestes et même des paroles. Dans la magie imitative, en particulier, il s'établit une participation directe entre les nuages ou la pluie, p. ex., et la fumée du feu allumé par le sorcier ou l'eau qu'il verse à terre : la mise en connexion causale, impliquée dans l'action directe sur l'objet et dans la technique, est ainsi prolongée, indépendamment des contacts et des distances, en une action généralisée qui est la première des causes et rejoint, aux yeux du magicien, la causalité naturelle. Or, cette causalité initiale est à la fois égocentrique au *maximum* et phénoméniste au *maximum* également, en ce qu'elle soumet, d'une part, les choses à l'action propre et imite, d'autre part, le phénomène lui-même en ces liaisons les plus apparentes. Ces deux pôles de la causalité initiale se retrouvent en toutes les formes « primitives » de la causalité, à des dosages divers. De la causalité dite mystique qui attribue les événements à l'intervention de puissances occultes, aux liaisons phénoménistes telles que de rattacher le déclenchement d'une épidémie au portrait de la reine Victoria ou une pêche exceptionnelle aux ombres chinoises faites la veille par un voyageur, les formes élémentaires de causalité oscillent ainsi entre l'acte humain et la succession empirique, mais avec toujours un mélange des deux. Il est vrai que, dans sa profonde critique de l'ouvrage de L. Lévy-Bruhl consacré à la causalité mystique¹. Meyerson insiste sur l'élément de conservation qui intervient déjà dans le ritualisme des

¹ I. MEYERSON, La mentalité primitive, *Année psychol.*, t. XXIII (1922), p. 214.

primitifs. Mais cette attitude de conservation naissante ne saurait être que dérivée, par rapport à la formation même de leurs vieilles coutumes, et celles-ci n'en demeurent pas moins, en leur source, à la fois sociomorphiques, c'est-à-dire intellectuellement égocentriques, et phénoménistes.

Dans les formes supérieures de causalité préscientifique, cette assimilation de la réalité matérielle à l'action prend une forme à la fois plus générale et plus décentrée, en ce sens que les choses elles-mêmes deviennent sources systématiques d'actions sur le modèle de celles des humains, mais aussi des êtres vivants quels qu'ils soient. C'est ainsi que l'« Ordre du monde » des anciens chinois¹, comme leur hiérarchie des « Pouvoirs », fournissent un exemple de ce transfert de l'action à la réalité elle-même.

La causalité ou plutôt les multiples formes de connexion causale utilisées par les présocratiques fournissent par contre un exemple particulièrement suggestif du passage de la causalité-action à la causalité par composition opératoire concrète. La réduction de l'univers à une substance unique, susceptible de conservation et se transformant, grâce à un jeu de compressions et de décompressions, jusqu'à revêtir les diverses formes sensibles de la multiplicité des corps, c'est là de toute évidence un progrès considérable dans le sens de la causalité opératoire ; la chose est d'autant plus claire que ces nouveaux schèmes d'explication, fondés sur les compositions qualitatives analysées au chap. V ont abouti à un atomisme systématique. Il n'en reste pas moins que, si les processus de partition, de raréfaction et de condensation, etc. sont dorénavant conçus sur le modèle, non plus d'actions simples prêtées aux objets, mais bien d'actions composées ou d'opérations réelles, la substance unique des Milésiens, source de ce début de coordination rationnelle, est elle-même en partie considérée comme un être actif en un sens encore biomorphique : sans parler de l'« hylozoïsme » de ces premiers physiciens, qui pourrait avoir été une simple philosophie superposée à leurs notions causales effectives, le terme même de $\varphi\upsilon\sigma\iota\varsigma$ dont ils se sont servis pour désigner la « substance primordiale » conserve un sens de croissance vitale² (p. ex. dans l'expression $\varphi\upsilon\sigma\iota\varsigma \delta\epsilon\nu\delta\rho\omega$ = la croissance des arbres) ou d'activité créatrice. La $\varphi\upsilon\sigma\iota\varsigma$ présocratique est ainsi comme le terme de passage entre l'action vivante attribuée à l'objet et la composition opératoire rendant compte de ses transformations.

Or, tandis que le platonisme entrevoyait la possibilité d'une

¹ M. GRANET, *La religion des Chinois*, Paris (Gauthier-Villars), 1922.

² Voir A. BURGER, *Les mots de la famille de $\Phi\Upsilon\Omega$ en grec ancien*, Paris (Honoré Champion), 1925.

causalité physique par coordination opératoire, fondée sur une déduction régressive qui eût appliqué les schèmes mathématiques aux phénomènes, Aristote cède à un esprit de réaction par rapport aux présocratiques eux-mêmes et, revenant au sens commun, retourne en réalité à une causalité par assimilation aux actions simples elles-mêmes. L. Brunschvicg a excellemment montré comment, lorsqu'il invoque la quadruple nécessité de causes à la fois efficientes et finales, formelles et matérielles, Aristote parle tour à tour le langage du biologiste, et du sculpteur, c'est-à-dire d'un animisme et d'un artificialisme réunis : ce qui revient à dire qu'il réduit à nouveau les causes à des actions immédiates et non composées, par opposition aux coordinations opératoires.

Malgré Archimède, les débuts de l'astronomie mathématique et le retour au platonisme effectué lors de la Renaissance, il faut attendre en fait jusqu'à Galilée, Pascal et Descartes pour que la causalité se libère enfin de l'action directe, à la fois égocentrique et phénoméniste, et atteigne définitivement le niveau de la composition opératoire, c'est-à-dire des coordinations mêmes de l'action, mais appliquées à la succession temporelle et non pas simplement formalisées en opérations logico-mathématiques. A cet égard Descartes, mathématicien plus que physicien, va non seulement droit au but, mais encore le dépasse à certains égards jusqu'à assimiler sans plus, par une simplification à la fois outrancière et admirable d'audace, le réel entier aux compositions géométriques les plus élémentaires. L'explication causale ne se distingue alors presque plus de l'implication logique, ou la cause de la raison déductive : *causa seu ratio*. Au seuil de la science moderne, le lien causal apparaît comme idéalement réductible à une équation, c'est-à-dire à une composition d'opérations dépouillées de tous les éléments égocentriques adhérant aux actions dont procèdent ces opérations ; mais cette équation, au lieu de symboliser simplement les opérations logico-mathématiques qu'il est possible d'appliquer au réel, acquiert un sens causal dans la mesure où elle exprime en outre une part du réel lui-même : si l'effet est égalé à la cause, celle-ci n'en demeure pas moins antérieure dans le temps et tous deux sont censés se produire au sein des choses comme telles. Quant à cette égalisation, elle est le signe de la construction opératoire de l'effet par la cause, et, c'est en cette construction, déléguée à la réalité elle-même, que consiste dorénavant la causalité. Or, si Descartes a voulu la causalité strictement spatio-temporelle, c'est que la construction est alors, du point de vue opératoire, la plus simple possible : éliminant tous les autres aspects de la réalité, elle en relègue les uns (comme le déclenchement ou l'arrêt spontané des mouvements, par opposition à la conservation inertielle) dans le domaine des apparences phénoménistes et les autres (la finalité

et la force) dans celui des illusions égocentriques. La figure causale du réel devient ainsi bien différente de celle de la réalité immédiate : plus pauvre en un sens, puisque le spatio-temporel se dissocie des qualités superficielles ou illusoire, mais plus profonde et plus riche en un autre sens, puisqu'elle participe de la fécondité des constructions rationnelles. Relatif aux opérations qui ont prise sur l'objet, et cependant conçu comme indépendant d'elles, tel est, en première approximation, ce réel de la causalité mathématique ou déductive, sous la forme mécanique : il n'est proprement que le système des modifications objectives assimilables aux transformations opératoires de la géométrie analytique, mais envisagés selon un ordre de succession temporelle.

Mais aussitôt les résistances ont surgi, du fait de la trop grande simplicité des opérations envisagées, et elles se sont succédées selon une courbe historique dont le prolongement est visible jusque dans la microphysique contemporaine. La causalité mécanique initiale, sous son aspect purement spatio-temporel, s'est heurtée d'emblée à une réalité irréductible aux localisations dans l'espace euclidien et dans le temps, lesquelles garantissaient sa simplicité et ses espoirs de composition indéfinie : il est ainsi apparu qu'une réduction de la causalité à des opérations trop simples peut elle-même côtoyer les dangers propres à l'assimilation égocentrique ou déformante, en tant que favorisant les constructions mentales du sujet aux dépens de la complexité de l'objet. Pour rendre compte de la gravitation, Newton introduit l'hypothèse d'une force dont l'action serait à la fois instantanée et s'exerçant à distance, heurtant ainsi de front le mécanisme cartésien ainsi que l'action par contact inhérente à l'explication atomistique renaissante. A la simplicité exagérée de la composition opératoire propre à la causalité selon Descartes, Newton remédie donc par l'introduction de coordinations plus poussées, englobant en un seul tout la masse, l'accélération et la force. Mais, dans la mesure où cette force demeure mal intégrée dans le système des opérations, parce que jouissant de privilèges aussi inacceptables que cette action instantanée à distance, la causalité newtonienne cesse de demeurer purement opératoire : elle réintroduit, en réalité, sous le couvert d'une généralisation hardie des nouvelles compositions dynamiques, une « action » isolée, par opposition aux coordinations d'ensemble, et même une action théologique plus qu'humaine. Le schéma newtonien, grâce à sa capacité néanmoins réelle de composition, est ensuite généralisé par la physique des « forces centrales », et se concilie avec l'atomisme, mais il est à son tour battu en brèche par la découverte d'actions relatives à certains milieux continus, dont l'état est caractérisé par la mesure possible de grandeurs en chaque point de l'espace qu'ils occupent : les « champs » électro-

magnétiques. A la gravitation, conçue comme une donnée première, irréductible aux causes mécaniques purement spatio-temporelles, est ainsi substituée une nouvelle donnée première : celle de la grandeur des champs, variant au cours du temps. Avec l'équivalence des diverses formes d'énergie, d'autre part, la thermodynamique et la physique énergétiste aboutissent à un nouveau type de connexion causale, tenant simplement à la mise en relation de certaines grandeurs d'état, indépendamment des localisations dans l'espace et dans le temps. Bref, une série de formes distinctes de causalité, choisissant successivement comme donnée première un rapport déterminé, fourni par l'expérience, transforment à chaque nouvelle étape la figure du réel, tout en subordonnant chaque fois cette dernière aux opérations (actions expérimentales et opérations mathématiques) ayant prise sur lui.

Avec Einstein, qui parvient à réduire la gravitation, c'est-à-dire la principale des forces centrales, à la notion de champ tout en interprétant celle-ci au moyen d'une nouvelle géométrisation spatio-temporelle, un retour à la causalité cartésienne paraît possible, qui englobe l'énergétique elle-même en interprétant la conservation d'« impulsion d'univers » au moyen de cette géométrie non-euclidienne et à quatre dimensions. Mais, d'une part, les champs gravifiques et les champs électro-magnétiques ont résisté à la tentative de les ramener les uns aux autres. Et surtout, d'autre part, l'atomisme est resté irréductible aux lois des champs, et cela au sein de l'électro-magnétisme lui-même.

On constate donc que, dès avant la physique atomique contemporaine, le seul principe constant de la causalité physique a été celui de la composition opératoire rigoureuse, avec, comme corollaire, une égalisation métrique entre la cause et l'effet. En outre, à l'échelle macroscopique, c'est-à-dire avant que la considération des changements d'états ou de la stabilité des états prime celle des vitesses spatialisables, la cause a toujours été conçue comme simultanée ou antérieure à l'effet (même dans le temps relatif d'Einstein, qui n'intervert pas l'ordre temporel). Mais le contenu de la causalité, c'est-à-dire de ces compositions opératoires appliquées à la succession temporelle, a sans cesse varié : le lien causal se transforme au fur et à mesure des données expérimentales nouvelles qu'il tend à assimiler aux opérations déductives. Bien plus, rigide et simple au début, il a dû faire une part toujours plus importante au mélange et au hasard, la causalité statistique, seulement probable et non plus nécessaire, s'étant révélée indispensable à un nombre croissant de domaines étendus.

Avec la microphysique contemporaine, enfin, les divers courants précédents se retrouvent en une synthèse caractérisée par deux aspects principaux. D'une part, les lois des champs et celles

de la localisation spatio-temporelle se révèlent inconciliables simultanément, les opérations nécessaires à la détermination, dans l'un de ces domaines, le modifiant de façon telle que l'autre s'en trouve momentanément indéterminable, et réciproquement : la relation entre les lois des champs et celles de la localisation de l'objet est ainsi subordonnée à un seuil d'indétermination exprimant la dépendance mutuelle des opérations en jeu, et cela aussi bien dans le calcul que dans l'expérience. Rien ne confirme mieux qu'une telle découverte le fait, déjà apparent dans l'histoire antérieure de la causalité, que le lien causal suppose nécessairement un choix parmi les données, celles que l'on choisit comme causes ne pouvant être isolées et déterminées que moyennant une modification du réel qui diminue la précision des déterminations complémentaires. D'autre part, et en vertu de ce fait même, le caractère statistique et probabiliste des lois observées, au lieu d'être conçu comme secondaire et comme résultant de l'interférence de séquences indépendantes, isolables à l'état simple, s'impose dès le départ en tant que lié à la mise en connexion opératoire de l'expérience et de la déduction.

La succession de ces quelques étapes de l'histoire de la causalité est susceptible de nous éclairer sur la nature même de cette notion essentielle :

1. Le premier point à noter est l'équilibre progressif des formes opératoires de causalité par opposition aux formes pré-scientifiques que nous avons caractérisées par une assimilation du réel à des actions simples, non composables entre elles. A comparer ainsi les diverses explications du mouvement données au cours du développement de la causalité, on s'aperçoit que toutes restent vraies à une certaine échelle d'observation, à partir de Galilée et de Descartes, tandis que les explications antérieures ont toutes dû abandonner le terrain de la physique elle-même. L'explication animiste du mouvement demeure p. ex. exacte si l'on veut, mais à la condition d'être réservée à la description globale des comportements psycho-physiologiques. L'explication d'Aristote, contraire au principe d'inertie et attribuant une finalité à tout mouvement naturel, est de même physiquement fautive et ne conserve une légitimité approximative que sur le plan biologique des mouvements réflexes ou instinctifs. Par contre, l'explication galiléenne et cartésienne du mouvement rectiligne et uniforme, qui aboutit à remplacer la vitesse, comme mesure du mouvement, par le changement de vitesse ou plutôt d'impulsion (mv) reste entièrement exacte à

une certaine échelle de l'observation physique. Il en est de même de l'explication newtonienne des mouvements célestes, par combinaison de l'inertie et de la gravitation, explication qui garde toute sa valeur pour des vitesses éloignées de celle de la lumière. Les équations de Maxwell continuent de régir les champs électromagnétiques, cessant seulement d'être vraies à l'échelle atomique ; etc. Bref, chacune des relations causales établies par une composition d'opérations logico-mathématiques portant sur certaines données délimitées de l'expérience reste indéfiniment valable (pour autant naturellement qu'il n'y ait pas d'erreur dans la lecture même des faits), quitte à ce que son domaine restreint de validité soit ensuite incorporé à des ensembles plus vastes qui complètent cette première approximation.

Mais comment s'obtient cet équilibre progressif des relations causales ? Est-il comparable à celui des opérations mathématiques, qui procède par construction généralisatrice, ou bien l'incorporation d'éléments extérieurs à la connexion opératoire elle-même, donne-t-elle lieu à des « crises » de caractère plus imprévisible et plus contingent ? Rappelons d'abord que, en mathématiques pures, de pareilles crises n'ont jamais fait entièrement défaut, car, si les opérations nouvellement découvertes se relient toujours logiquement aux précédentes, c'est après coup, la découverte comme telle demeurant fréquemment fortuite. Il se pourrait donc bien que les données nouvelles, brusquement imposées par l'expérimentation, jouent un rôle analogue, sans que, pour autant, la systématisation après coup des relations causales cesse d'être comparables à une composition de caractère purement opératoire.

2. Un second aspect général de l'évolution de la causalité permet de résoudre la question précédente par une comparaison avec ce qu'on appelle l'« abstraction » progressive des notions mathématiques : c'est le fait que chaque nouvelle forme de rapport causal est contrainte de sacrifier une partie des éléments qui caractérisaient la forme antérieure. C'est ainsi que l'explication péripatéticienne du mouvement sacrifie la conscience du mobile, intervenant dans l'animisme, mais y gagne la possibilité de localisation que lui fournit l'hypothèse du « lieu propre », point de départ et d'arrivée des déplacements. Le principe d'inertie sacrifie cette localisation possible, ce qui aboutit à limiter la causalité aux changements d'impulsion : le gain est alors la généralité du schéma des mouvements relatifs.

Newton sacrifie l'action par contact pour admettre comme donnée première l'attraction instantanée à distance, et y gagne la gravitation universelle, qui semble ensuite pouvoir s'appliquer à toutes les échelles. La théorie des « champs » aboutit au contraire avec Hertz à abandonner l'espoir d'une réduction de l'éther à un modèle mécanique : le champ devient la donnée première, les variations de ses grandeurs au cours du temps étant déterminées par les équations de Maxwell sitôt connues leurs valeurs initiales dans l'espace occupé par le champ. Avec l'énergétisme, une relation encore plus abstraite est acceptée comme donnée première : l'équivalence générale des énergies au cours de leurs transformations, indépendamment de leurs localisations spatio-temporelles. Chacun sait, enfin, comment la théorie de la relativité a sacrifié le temps et l'espace absolus, ainsi que les conservations respectives et séparées de la masse et de l'énergie, pour aboutir à une synthèse plus vaste, et comment la microphysique a finalement renoncé à la synthèse directe des schémas énergétiques et atomistes pour admettre la complémentarité entre les rapports de localisation spatio-temporelle de l'objet et les rapports dépendant de la nature des champs.

Mais la grande différence entre ces sacrifices successifs et l'abstraction graduelle des opérations mathématiques est que cette dernière s'éloigne de la réalité immédiate dans la direction de la construction libre du sujet, tandis que l'abstraction progressive propre à la causalité s'éloigne de la même réalité immédiate, mais dans la direction d'une réalité plus profonde, de telle sorte que la nature des sacrifices consentis au cours des deux sortes d'abstractions n'est pas la même dans les deux cas. L'abstraction mathématique étant une abstraction à partir des actions exercées par le sujet sur les objets et non pas à partir des objets comme tels, les aspects caractéristiques des opérations élémentaires ne sont à proprement parler nullement « sacrifiés » par les opérations supérieures qui les négligent en retenant les seuls aspects généraux, mais ils sont simplement dépassés et réduits au rang de cas particuliers : à ce titre ils sont alors contenus dans le cas général, non pas au sens où une sous-classe est incluse dans une classe supérieure sans pouvoir en être déduite, mais au sens où un sous-groupe est contenu dans un groupe à titre de système particulier d'opérations nécessaires à la cohérence du système total. C'est pourquoi l'abstraction mathématique au lieu de contredire le réel en s'éloignant de la réalité immédiate, l'enrichit en l'englobant

dans des cadres qui lui correspondent tout en le dépassant toujours davantage.

L'abstraction propre aux formes successives de causalité tout en participant partiellement à ce même processus — dans la mesure où la connexion causale est elle-même une composition opératoire toujours plus complexe en sa structure mathématique — présente par ailleurs un aspect bien différent, dans la mesure où elle englobe des éléments expérimentaux de provenance extérieure. Les caractères antérieurs que la causalité est sans cesse contrainte de sacrifier ne conservent, en effet (et à partir seulement du niveau de la causalité opératoire) qu'une valeur de premières approximations valables à une échelle d'observation ; de ce fait, ils apparaissent donc après coup comme entachés d'une certaine illusion : l'illusion qui faisait croire à leur adéquation précise. Que l'on compare, p. ex. la géométrie euclidienne, envisagée à titre d'opérations logico-mathématiques, par rapport aux géométries non-euclidiennes, et l'espace physique de caractère euclidien, intervenant dans la causalité newtonienne, par rapport aux espaces physiques non-euclidiens invoqués par la causalité einsteinienne : pour le mathématicien la géométrie euclidienne reste rigoureusement aussi vraie après qu'avant la découverte des géométries non-euclidiennes, mais elle est simplement englobée à titre de cas particulier dans l'ensemble des géométries métriques (la seule illusion décelable après coup ayant été de croire qu'elle était unique à pouvoir réaliser ce modèle de géométrie métrique). Pour le physicien, au contraire, l'espace newtonien ne demeure valable qu'à une certaine échelle et par conséquent à un certain degré d'approximation, et il perd toute valeur de vérité dans ses connexions avec les rapports généraux (champ gravifique, etc.) que Newton prétendait lier à son sort. C'est pourquoi, malgré l'équilibre progressif des formes de causalité dont nous venons de parler (sous 1), chaque transformation de la causalité conduit, non pas seulement à une nouvelle hiérarchie des échelles d'approximation, ce qui aboutit à diminuer le degré de validité des formes causales antérieures, mais encore à reléguer, soit dans le domaine des apparences phénoménistes, soit dans celui des relations égocentriques, certains aspects des caractères sacrifiés.

Bref, le progrès de la causalité, sans consister exclusivement en un tel processus (puisque'il reste solidaire du progrès de la composition opératoire), témoigne avant tout d'une véritable abstraction à partir de l'objet, c'est-à-dire d'une extraction

toujours plus fine des caractères généraux de la réalité : c'est ainsi que les notions de force, d'énergie, de champ, en sont effectivement des notions extraites du réel (et même selon un degré toujours plus poussé d'abstraction) et non pas des notions abstraites de la coordination des actions et par conséquent ajoutées par le mécanisme opératoire à la réalité elle-même. Ces dernières notions interviennent aussi dans la causalité, répétons-le, mais elles ne sont pas seules, et là où intervient une abstraction à partir de l'objet, les formes antérieures de causalité n'apparaissent pas comme des cas particuliers des formes ultérieures entièrement dans le même sens où les opérations élémentaires des mathématiques constituent des cas particuliers des opérations supérieures. Sans doute peut-on tirer la gravitation newtonienne de la gravitation einsteinienne, en réduisant à zéro certains rapports nouveaux en jeu dans les formules de la relativité, mais c'est là une pure déduction mathématique, et, du point de vue physique, le cas particulier n'est en fait lié au cas général qu'à titre de domaine restreint délimité grâce à certaines simplifications permises, mais non rigoureuses.

3. Mais ce processus d'abstraction progressive caractérisant l'évolution de la causalité s'accompagne d'un processus complémentaire de généralisation, qu'il convient d'examiner avec le plus grand soin, car c'est de son mécanisme que dépend en définitive la valeur d'explication elle-même inhérente à la causalité physique. Il ne suffit pas, en effet, de savoir que les formes successives de causalité sont toujours mieux équilibrées et que cet équilibre croissant est dû à une abstraction graduelle : il reste à comprendre pourquoi les formes les plus abstraites qui l'emportent en stabilité sur les formes plus phénoménistes et plus égocentriques aboutissent à une meilleure explication du réel ; or, cette meilleure explication provient précisément du processus de la généralisation.

La théorie du mouvement chez Aristote, était obligée de distinguer les mouvements naturels et les mouvements violents, les mouvements sublunaires et les mouvements célestes. La cinématique galiléenne est au contraire beaucoup plus générale, parce que plus abstraite, et s'applique à tous les mouvements à la fois. Peut-on donc dire que la causalité en jeu dans la mécanique classique est plus explicative parce que plus générale, et que signifierait en ce cas ce rapport entre la généralité et le pouvoir explicatif ? La mécanique relativiste englobe de son

côté la mécanique classique, mais en rendant les lois naturelles indépendantes de tout système de référence et en conférant ainsi au nouveau schème une généralité bien supérieure encore. Les deux mêmes questions se retrouvent alors, et dans les mêmes termes. Les équations de Maxwell englobent les anciennes lois des forces centrales, mais en les complétant en un ensemble de lois plus générales rendues possibles par l'abstraction qui confère à la notion de champ électro-magnétique la valeur d'une donnée première : est-ce à nouveau cette généralité plus grande qui rend compte du caractère explicatif de la physique des champs, mais en quel sens ? De même les lois statistiques apparaissent comme plus générales que les lois strictement mécaniques, puisqu'elles les englobent : est-ce alors cette généralité plus grande qui les explique ? Enfin la complémentarité introduite entre l'onde et le corpuscule, en attribuant à l'onde le caractère de discontinuité des objets élémentaires, en introduisant les *quanta* dans le champ électromagnétique lui-même et en concevant le corpuscule comme dû à une sorte de concentration des ondes, est assurément plus générale que les notions particulières d'onde et de particule au sens classique du terme. Partout et toujours le progrès de l'explication s'appuie donc sur un progrès de la généralisation elle-même. Mais que signifie cette généralisation, et en quel sens est-elle source de l'explication ?

Il existe, en fait, deux sortes de généralisations, dont on peut suivre les manifestations successives dès les débuts de l'intelligence enfantine jusqu'aux sommets de la pensée scientifique. La première ne comporte aucun pouvoir explicatif et ne satisfait l'esprit que provisoirement : c'est celle qui procède du fait individuel à la loi, c'est-à-dire du rapport plus spécial au plus général. « Pourquoi ce trottoir est dur ? » demandait un enfant cité par Claparède à un adulte peu imaginaire : « Parce que tous les trottoirs sont durs », lui fut-il répondu et il s'estima satisfait. Assurément une telle généralisation marque un progrès dans la connaissance, et elle s'apparente à celle dont témoigne l'établissement de toute loi générale. Mais il est difficile d'y trouver une explication proprement dite, ou du moins le problème se pose de savoir si la curiosité du savant ne poursuit pas d'autre but que la découverte de telles lois, à des degrés d'abstraction variés. La seconde forme de généralisation procède au contraire par composition opératoire et s'accompagne alors d'un pouvoir explicatif lié à la nécessité des compositions en jeu. C'est ainsi que sitôt comprise la réversibilité de la décomposition partitive, l'enfant de 7-8 ans admettra la con-

servation de la matière en cas de sectionnement ou de déformation d'une boulette d'argile ; tandis qu'il en doutait jusque-là pour des modifications trop grandes : la loi générale est alors explicative dans la mesure où elle apparaît comme nécessaire, et elle devient telle dans la mesure où la généralité est construite et non pas constatée, et où la généralisation de la construction émane de sa nécessité opératoire.

Le problème est donc de savoir de quelle forme est la généralité croissante des connexions causales. On aperçoit d'emblée la portée de cette question, puisque, si l'abstraction graduelle des structures de causalité nous a paru traduire principalement leur aspect expérimental et l'apport spécifique de la réalité extérieure, la généralisation conforme au second des types distingués à l'instant exprime au contraire (et en opposition précisément avec le premier type), le caractère opératoire ou constructif de la causalité. Pour autant, par conséquent, que l'abstraction progressive des liaisons causales s'accompagne d'une généralisation du second type, ou opératoire, nous retrouverons dans la causalité ces caractères d'intime union entre l'opération et le réel qui nous ont frappé dès l'abord.

Mais on sait assez que le problème ainsi soulevé n'est autre, en fait, que celui des conflits séculaires entre le positivisme et le rationalisme, le positivisme prétendant éliminer la notion de cause au profit de la généralisation du premier type et les diverses formes de rationalisme maintenant sa légitimité au nom des généralisations du second type.

§ 3. LA CAUSALITÉ SELON AUG. COMTE ET L'INTERPRÉTATION POSITIVISTE DE LA PHYSIQUE. — Le positivisme semble au premier abord lié à l'esprit même des sciences. Le propre d'une théorie scientifique étant de délimiter aussi exactement que possible son objet, par opposition à la philosophie qui veut être une connaissance totale, il est dans la logique de toute science de restreindre les hypothèses à l'indispensable et de se dissocier de la « métaphysique ». Le positivisme pousse, il est vrai, cet esprit d'ascèse ou de restriction jusqu'à un recul devant l'explication comme telle, c'est-à-dire jusqu'à une élimination de la causalité. Mais ce glissement de l'attitude proprement scientifique à l'interdiction d'expliquer se comprend lui aussi aisément : au cours d'une phase préliminaire par laquelle passe toute connaissance scientifique, il s'agit au préalable d'établir le bien-fondé de certaines lois avant de songer à pouvoir les expliquer ; c'est durant cette période délicate de croissance, au

cours de laquelle l'appel à des explications prématurées et surtout étrangères au domaine envisagé constitue une tentation réelle pour le savant, que l'explication en général peut paraître illégitime et partant « métaphysique ».

Aussi bien ce positivisme en quelque sorte provisoire et méthodologique est-il aussi vieux que la science expérimentale et renaît-il sans cesse de ses cendres, d'ailleurs fort heureusement puisqu'il protège le savant du risque des conclusions trop rapides. C'est ainsi que L. Brunschvicg a pu considérer Galilée comme un positiviste malgré lui. La formule célèbre de Newton, *Hypotheses non fingo*, témoigne de la même tendance, ce qui n'a pas empêché ensuite son auteur de se rallier, faute d'autres hypothèses convenables, à une explication de la plus belle des lois par une notion causale de la force qui eût suffi à justifier tous les Auguste Comte. Lorsque Lagrange construisit sa « mécanique analytique » sur le modèle de la Géométrie de Descartes, l'élimination des « figures » et le recours exclusif aux équations différentielles proviennent d'un même besoin de réduire les interprétations au *minimum*. On sait comment la « Théorie analytique de la chaleur » de Joseph Fourier, non seulement a convergé avec l'idéal de Lagrange, mais encore a inspiré directement le « Cours de philosophie positive » d'Aug. Comte.

Le passage du positivisme méthodologique au positivisme doctrinal, ou, comme le dit si bien L. Brunschvicg, de « la philosophie de la science positive » à « la philosophie positiviste de la science »¹, est alors accompli. Le propre du positivisme doctrinal n'est pas de dissocier la science de la métaphysique, ce qui définit simplement l'idéal scientifique lui-même : c'est de décider *a priori*, c'est-à-dire définitivement et dogmatiquement, ce qui relève de la science et ce qui ressortit à la métaphysique. On a souvent ri ou l'on s'est attristé — selon ses sympathies — des prophéties malheureuses et des interdictions imprudentes d'Aug. Comte. Mais il faut bien comprendre que, sans de telles interdictions définitives et sans une anticipation de l'avenir des sciences, il n'existerait pas de positivisme, puisque précisément le positivisme diffère de la science elle-même en ce qu'il est une doctrine fermée et non ouverte. Peu importe donc le contenu des interdictions : l'essentiel pour une philosophie positiviste est qu'il en existe. Le néo-positivisme du Cercle de Vienne, bien que rendu prudent par les aventures du fondateur

¹ *L'expérience humaine et la causalité physique*, p. 337.

de la philosophie positive, retombe lui aussi, et très logiquement, dans ce système des *veto* sans appel : p. ex. les « propositions sans signification » dont abusent les philosophes de l'École de Vienne, si heureux que soit souvent l'effort ainsi fourni pour se garder de la métaphysique, risquent bien de connaître un jour le même sort que les anathèmes d'Aug. Comte lui-même.

Or, parmi les interdictions formulées par Aug. Comte dans le dessein de marquer les frontières définitives de la science « positive » figure précisément, et même au premier rang, la défense de rechercher les « causes ». L'objet propre de la science serait ainsi l'établissement des lois, c'est-à-dire des relations constantes de succession et de similitude, ainsi que de leur coordination, et nullement la connaissance de la « nature intime » des choses : dès lors, vouloir atteindre le « mode essentiel de production » des phénomènes constitue un but illusoire et pour toujours inaccessible à la théorie scientifique. Cette conception est d'autant plus curieuse qu'Aug. Comte a entrevu la liaison entre la connaissance et l'action, il est vrai dans un sens très étroit : le but dernier des sciences, enseigne-t-il, n'est pas tant de connaître que d'agir, et par conséquent n'est pas d'expliquer, mais de prévoir, comme si l'action se bornait à utiliser des prévisions au lieu de produire et de construire. L'explication dans les sciences, loin de constituer pour Comte une poursuite des causes, se doit donc de réduire exclusivement les rapports observés à des lois, et de coordonner entre elles les lois établies jusqu'à obtenir les lois les plus générales possibles ; la fonction épistémologique de ces lois et de leur coordination est alors simplement de permettre la prévision, et par conséquent l'utilisation fondée sur une telle anticipation. Quant à la forme mathématique des lois ou de leur coordination, elle n'est qu'un moyen d'expression précis, parce qu'appuyé sur un puissant instrument d'analyse, mais la déduction analytique ne joue nullement le rôle d'une construction proprement explicatrice : elle ne constitue au contraire que le moyen le plus sûr pour atteindre la généralité sans faire appel à l'imagination ontologique ou représentative.

La généralité des lois est en outre tempérée, selon Aug. Comte, par les données objectives de l'expérience. Loin de prétendre déduire l'univers phénoménal tout entier à partir des rapports géométriques ou analytiques les plus généraux, il s'est au contraire appliqué lui-même à tracer les frontières « définitives » des diverses familles de phénomènes, et cela précisément

parce qu'il se soumet pragmatiquement à la diversité du réel et qu'il considère les mathématiques comme un pur instrument d'« analyse » et non pas comme une construction. D'où d'une part, sa fameuse classification des sciences, dont la signification profonde consiste à insister sur l'irréductibilité des divers plans de réalité, hiérarchisés dans l'ordre de la généralité décroissante et de la complexité croissante ; d'où, d'autre part, le refus d'assimiler les uns aux autres, à l'intérieur même du champ de la physique, des domaines reliés par de pures « analogies gratuites ». De cette double méfiance à l'égard de toute génération progressive s'ensuivent alors une série de conséquences surprenantes : hétérogénéité de l'astronomie, de la physique et de la chimie ; refus d'étendre les schémas mécaniques ou gravitationnels au delà d'un terrain limité ; refus de comparer l'ondulation lumineuse à la vibration sonore, etc., et volonté d'interpréter à part chaque ensemble de phénomènes par les seules ressources de l'analyse mathématique, soi-disant faute d'une coordination intrinsèque entre les faits physiques comparable à ce qu'est la coordination interne des données astronomiques.

Du point de vue où nous sommes placés en ce qui concerne les deux types de généralités (voir la fin du § 2), l'interprétation comtiste de la pensée scientifique et spécialement physique fournit donc le modèle d'une épistémologie fondée exclusivement sur le premier de ces deux types : généralité par simple inclusion, et non pas par composition opératoire. La causalité, comme nous l'a montré son développement psychologique, puis historique, se présente sous deux formes bien distinctes, quoique la seconde dérive de la première : d'abord une assimilation aux actions simples et non composées entre elles, d'où les formes égocentriques et anthropomorphiques d'explication, puis une assimilation aux actions composées entre elles, c'est-à-dire aux opérations et à leurs coordinations nécessaires. Or, Aug. Comte, condamnant avec raison la causalité sous sa forme initiale d'assimilation à l'action humaine, englobe ensuite illégitimement dans sa condamnation la causalité sous sa forme opératoire et déductive. Il s'ensuit que, en présence du problème de la généralité, il ne reconnaît l'existence que de la généralité inclusive ou purement formelle, sans apercevoir la fécondité de la généralisation opératoire, dont les constructions se trouvent précisément aptes à rendre compte du mode de transformation, et par conséquent de production, des phénomènes. Tout le problème de l'épistémologie comtiste se centre

ainsi sur celui de la généralisation : tant l'interdiction de l'explication causale (opérateur aussi bien que par assimilation à l'action) au profit de l'établissement des lois seules, que les limitations imposées aux différents domaines légaux (conçus comme irréductibles les uns aux autres et tout au plus susceptibles d'un simple emboîtement hiérarchique), constituent, en effet, les deux conséquences logiques d'une interprétation de la science physique par la généralité purement formelle ou inclusive.

Il est inutile de commencer la critique de la pensée comtiste par le rappel de ce fait, sur lequel E. Meyerson a si vigoureusement insisté, que la pensée scientifique a constamment poursuivi, malgré toutes les interdictions du positivisme, la recherche des causes et l'étude du « mode essentiel de production » des phénomènes. La question dont il convient par contre de partir est celle des limites entre la science et la métaphysique. On peut, en effet, se demander si, dans la mesure même où la science est une perpétuelle conquête sur la métaphysique, il n'y a pas contradiction à prendre une position antimétaphysique, pour le présent et même pour l'avenir, et à classer une fois pour toutes les questions en scientifiques et métaphysiques. L'histoire des sciences consiste en un perpétuel déplacement des frontières entre ces deux domaines, et il est aussi vain et aussi « métaphysique » de spéculer sur les frontières futures de la science qu'il est sage et « scientifique » de respecter les limites assignées, en un stade donné du développement historique, entre le vérifiable (expérimentalement ou axiomatiquement) et l'improvisation subjective. Que le positivisme joue un rôle utile en pourchassant la métaphysique personnelle que tant de savants cherchent à faire accrédi-ter grâce à l'autorité due à leurs découvertes, on n'en saurait douter. Mais, qu'il proclame la « fermeture » définitive des frontières et tout effort d'invention créatrice est pour autant menacé.

La notion de cause, en tant que visant le mode de production des phénomènes n'est donc en soi ni scientifique ni métaphysique : le problème est à résoudre à propos de chacune de ses formes et encore selon le contexte dans lequel elle intervient. Mais il y a plus : non seulement la notion de cause est susceptible de revêtir un caractère scientifique, mais encore son évolution même, qui procède de l'assimilation aux actions humaines à la coordination opératoire, aurait pu être invoqué par Comte comme un vivant exemple de la loi des trois états ! Il est très frappant, à cet égard, de constater que toutes les pré-

misses du système de Comte auraient dû le conduire à une interprétation « positive » de la causalité, alors qu'il en est resté à mi-chemin. D'une part, l'analyse de l'« état théologique » lui a montré que les premières explications du réel ont consisté à le concevoir comme soumis à des actions imitant les actions humaines, la causalité initiale se réduisant ainsi à une extension de l'action intentionnelle et de l'action fabricatrice. D'autre part, il considère l'« état positif » comme celui de l'action effective sur les choses, l'objet de la science étant non pas de connaître à la manière du métaphysicien, mais de savoir agir. Seulement l'action, selon Aug. Comte, se borne à utiliser des rapports prévisibles, sans qu'il ait voulu reconnaître qu'elle consiste essentiellement à produire et à reproduire effectivement ou en pensée, c'est-à-dire à opérer et à composer, ce qui revient précisément à expliquer causalement mais par coordination opératoire et non plus par actions simples et égocentriques.

C'est ici que nous retrouvons le problème de ce que Comte appelle la « coordination », c'est-à-dire la question de la généralisation des lois. Admettons avec lui que la science se borne à établir des lois et à les « coordonner » entre elles. Il est vrai qu'il a prédit l'insuccès de tout atomisme futur, parce que l'atomisme constitue un schème explicatif. Mais il pourrait répondre aujourd'hui que la physique nucléaire se réduit, elle aussi, à un certain nombre de lois reliées les unes aux autres grâce à une coordination mathématique, beaucoup moins géométrique qu'analytique, et que la réalité intime correspondant à ces lois est à peu près irréprésentable. Il en pourrait dire autant de la physique des astres, des recherches de Regnault sur la compressibilité des gaz, de la statistique physique et de tant d'autres domaines où, malgré les erreurs de prédiction dues à son système fermé, il pourrait encore actuellement justifier son opinion sur le primat des « lois ».

Mais en quoi consiste la coordination de ces lois ? Et que penser aujourd'hui de son refus à rechercher une réduction progressive des divers paliers de la hiérarchie des sciences ou même des différents domaines intérieurs à la physique, jugés irréductibles à cause de leurs caractères qualitatifs distincts ? C'est sur de tels points que l'on aperçoit le mieux les lacunes de sa conception de la généralisation, et par conséquent de son interprétation des rapports entre la construction mathématique et l'explication causale du réel.

Si les mathématiques constituent un simple moyen d'analyse

par rapport aux faits physiques à formuler, et par conséquent un langage essentiellement formel, visant tout au plus à dégager des « équations semblables » sans atteindre les analogies réelles, il est alors clair que, plus une loi sera générale et moins elle embrassera de réalité concrète : d'où cette double conséquence que les lois ne sont pas explicatives et que, le général n'expliquant donc pas le spécial, il s'agit de limiter la généralisation pour conserver l'originalité des divers secteurs spécifiques de phénomènes. Le complexe plus spécial, est bien alors à jamais irréductible à l'élémentaire plus général, dans la hiérarchie des sciences, de même que les domaines qualitativement hétérogènes de la physique sont à jamais irréductibles entre eux, sauf par leurs seules analogies formelles.

Mais, que la généralisation mathématique consiste au contraire en une construction opératoire telle que le général soit plus riche et non pas plus pauvre que le spécial ou le singulier, parce que, s'il ne possède pas les qualités propres aux cas particuliers, il revêt le mode de composition permettant de construire l'ensemble de ces cas et de les transformer les uns dans les autres, alors la question se pose en de tout autres termes. Certes les lois générales ne seront pas toutes explicatives, car la généralité par inclusion simple peut subsister à côté de la généralité par composition opératoire. Mais l'effort de la réduction d'un domaine légal à un autre ne se borne précisément pas à atteindre cette généralité purement inclusive, sans quoi la réduction même échoue en devenant formelle : il tend à dégager les lois de transformations comme telles, permettant de passer indifféremment de l'inférieur au supérieur et réciproquement ou de l'un à l'autre de deux domaines juxtaposés. Or, la causalité opératoire (par opposition à la causalité simple) n'est précisément pas autre chose que cette composition des rapports (donc des lois) selon le modèle de la généralisation constructive. C'est pourquoi, si le développement de la causalité est marqué par une suite de sacrifices successifs (voir §2), la généralisation qui accompagne cette abstraction graduelle est féconde dans la mesure où elle procède par composition opératoire. En abandonnant, p. ex., l'hypothèse des forces centrales au profit de la notion abstraites de « champ », on semblait se condamner à une généralité stérile et renoncer en particulier à pouvoir rendre compte du mouvement des corpuscules. Mais la synthèse entre les deux domaines a consisté à considérer les lois statistiques des mouvements corpusculaires comme rendant compte des variations

spatio-temporelles de la grandeur des champs, tandis que ces mouvements eux-mêmes étaient conçus comme déterminés par des forces entièrement définies au moyen de ces grandeurs de champs. Le critère de caractère opératoire de cette synthèse est que la totalité ainsi construite se caractérise par des principes de conservation (énergie totale des champs et corpuscules et conservation de l'impulsion) comparables à ce que sont des invariants de groupe dans les transformations mathématiques. Que cette synthèse ait été remise en question par la microphysique, peu importe : la nouvelle synthèse née de nouvelles abstractions, et qui consiste à considérer comme « complémentaires » les aspects relatifs aux champs et les aspects corpusculaires constitue précisément un nouvel exemple de généralisation opératoire et non pas simplement inclusive.

Bref, l'erreur centrale de l'interprétation de Comte n'est pas d'avoir affirmé le primat des lois par rapport aux schémas représentatifs de caractère imagé ou même simplement géométrique, car la géométrie et l'analyse se correspondent terme à terme et ce qui subsiste tôt ou tard des représentations imagées n'est précisément qu'un ensemble de lois, simplement situées à une échelle différente, inférieure à celle du phénomène d'ensemble qu'il s'agissait d'expliquer. Le défaut essentiel de la philosophie positiviste classique — et nous allons en retrouver un nouvel aspect dans le néo-positivisme du cercle de Vienne — est d'avoir manqué la solution du problème de la généralisation, et par conséquent de la coordination des lois entre elles. Or, la raison en est sans doute à chercher dans sa sociologie insuffisante et ses préjugés anti-psychologiques. Il a bien aperçu qu'il existait un rapport social et mental entre la connaissance et l'action, mais il n'a envisagé celle-ci que sous l'angle de son utilité finale, sans comprendre que la pensée procède des actes sous la forme d'opérations, et sans voir à quelle interprétation opératoire des mathématiques une telle connexion conduit nécessairement. Faute alors d'admettre que la généralisation par composition des opérations entre elles constituait une construction proprement dit, donc une « production » susceptible de correspondre au « mode de production » intime des phénomènes, il n'a vu en cette construction qu'un langage, sans saisir qu'elle est susceptible d'« expliquer » les lois les unes par les autres en assimilant les transformations physiques elles-mêmes aux transformations opératoires ainsi organisées. Dès lors, la coordination des lois entre elles se réduisant pour lui à une simple inclusion, il a été obligé

de limiter le rôle de la généralisation, tandis que la coordination opératoire conduit à l'assimilation réciproque entre domaines distincts, y compris les domaines jugés inférieurs ou supérieurs selon leur rang dans la hiérarchie des sciences. C'est pourquoi la suite des sciences constitue en réalité un ordre cyclique et non pas rectiligne comme sa conception du général et du spécial l'obligeait à l'admettre.

§ 4. LE NOMINALISME DE P. DUHEM ET LE CONVENTIONNALISME D'H. POINCARÉ. — Entre l'interprétation de la physique par le positivisme d'Aug. Comte et les théories néo-positivistes dont nous allons voir (§ 5) qu'elles remettent en question tous les rapports de la déduction avec l'expérience, s'est produit un événement capital pour l'intelligence de ces mêmes rapports : la critique des principes généraux de la physique mathématique par Poincaré. La portée de cette critique ne saurait, en effet, être sous-estimée, même si le progrès ultérieur des connaissances a conduit à en rendre caducs certains aspects. D'une part, et malgré la position antilogistique de Poincaré, son « conventionnalisme » constitue l'une des sources des théories modernes qui font de la logique et des mathématiques un langage ou une « syntaxe » tautologique. Mais surtout, d'autre part, la pensée de Poincaré a conduit à faire redécouvrir le rôle de la déduction et de la généralisation-mathématiques dans l'élaboration des théories et des « faits » physiques eux-mêmes. Dans la mesure où il a dépassé son propre conventionnalisme il a ainsi, pourrait-on dire, retraduit Kant en langage physique moderne, mais l'a du même coup corrigé dans le sens de la mobilité logique et psychologique.

La doctrine de Duhem constitue, à cet égard, l'intermédiaire entre le positivisme de Comte et l'attitude de Poincaré. Soucieux de démontrer que la théorie physique n'atteint pas le réel en lui-même (mais cela pour des raisons inverses à celles d'Aug. Comte, puisqu'il s'agit pour lui de protéger une certaine métaphysique contre la science et non pas de protéger la science contre la métaphysique...), P. Duhem en est venu à découvrir¹ que le fait physique est toujours le produit d'une élaboration complexe et n'existe dès lors que relativement à une interprétation théorique, autrement dit à l'activité mathématique d'un sujet.

Duhem, on le sait, était thomiste et pensait que la réalité est

¹ P. DUHEM, *La théorie physique, son objet, sa structure*. Rivière (2^e éd.), 1914.

en définitive conforme aux cadres de la philosophie aristotélicienne¹. Mais, assez critique pour admettre qu'une telle philosophie ne saurait rallier tous les suffrages, ni surtout être démontrée par la physique moderne, il en vient donc à soutenir, avec Aug. Comte, que l'explication causale est à jamais interdite à la science. La connaissance scientifique ne saurait donc dépendre d'aucun système métaphysique, et cette dernière notion, aussi large sous sa plume que sous celle de Comte, comprend notamment le mécanisme cartésien, l'atomisme de Huyghens et le dynamisme de Newton autant que le recours aux qualités sensibles de l'« école péripatéticienne » (p. 14). C'est qu'« une théorie physique n'est pas une explication. C'est un système de propositions mathématiques, déduites d'un petit nombre de principes, qui ont pour but de représenter aussi simplement, aussi complètement et aussi exactement que possible un ensemble de lois expérimentales » (p. 24). Quant à cette représentation, elle consiste non pas en images mais en « jugements portant sur les propriétés physiques des corps » ; « ces jugements on les compare aux lois expérimentales que la théorie se propose de représenter ; s'ils concordent avec ces lois... la théorie a atteint son but... » (p. 25-6). « Ainsi une théorie vraie, ce n'est pas une théorie qui donne des apparences physiques une explication conforme à la réalité ; c'est une théorie qui représente de façon satisfaisante, un ensemble de lois expérimentales » (p. 26). Economie intellectuelle, comme dit Mach, « classification » des lois (p. 30), et même « classification naturelle » (p. 32) c'est-à-dire dont « nous soupçonnons que les rapports qu'elle établit entre les données de l'observation correspondent à des rapports entre les choses » (p. 35) (mais sans que cette conviction provienne d'une autre garantie que d'un « acte de foi », p. 36) ; enfin capacité de prévision : telles sont ses trois utilités principales. Aussi Duhem condamne-t-il avec la même énergie qu'Aug. Comte les « théories représentatives » (p. 40) et les « modèles mécaniques » (p. 77), œuvre des esprits amples et superficiels par opposition aux théories abstraites dues aux esprits profonds et étroits.

Si tel est l'objet de la théorie physique, voyons-en la structure. C'est sur ce second point que Duhem, dont on connaît les élégants travaux sur la thermodynamique et la chimie physique, fournit sa contribution la plus intéressante. La théorie physique est essentiellement mathématique (p. 157), c'est-à-dire qu'elle porte sur les quantités ou grandeurs reconnaissables à leur additivité (p. 159-163) : « chaque quantité est la réunion, par une opération commutative et associative, des quantités moindres que la première, mais de même espèce qu'elle, qui en sont les parties »

¹ *Ibid.*, voir l'appendice (p. 413-472) intitulé « *Physique de croyant* ».

(p. 163). La théorie physique ignore donc la qualité, dont l'intensité est bien exprimable par les signes =, > et < (p. 164), mais dans la « catégorie » de laquelle « on ne trouve aucune opération à la fois commutative et associative, qui puisse mériter le nom d'addition et être représentée par le signe + ; sur la qualité, donc, la *mesure*, issue de la notion d'addition, ne saurait avoir prise » (p. 166). Cependant la physique exprime par des nombres les diverses intensités d'une même qualité (p. 170), mais l'échelle métrique repose alors sur « quelque effet quantitatif ayant pour cause cette qualité » (p. 175), laquelle n'est donc pas mesurée en elle-même, car « dans le domaine de la qualité la notion d'addition n'a point de place ; elle se retrouve au contraire lorsqu'on étudie l'effet quantitatif qui fournit une échelle propre à repérer les diverses intensités d'une qualité » (p. 175).

Cela dit, on comprend qu'une théorie physique suppose toute une élaboration du réel. A elle seule déjà, « une expérience de physique n'est pas simplement l'observation d'un phénomène ; elle est, en outre, l'interprétation théorique de ce phénomène » (p. 217), parce que, entre le fait brut, tel que l'oscillation d'une bande sur un miroir, et le fait physique correspondant, en l'espèce la résistance électrique d'une bobine, il s'intercale toute une interprétation, essentiellement relative aux théories admises (p. 217-8) : « cette interprétation substitue aux données concrètes réellement recueillies par l'observation des représentations abstraites et symboliques qui leur correspondent en vertu des théories admises par l'observateur » (p. 222). L'expérience de physique est donc toute autre que l'expérience physiologique, « récit de faits concrets, obviés » (p. 222). Et cette interprétation est davantage qu'un langage, car un énoncé abstrait peut se réaliser d'une infinité de manières différentes (p. 224 et 229) et inversement « à un même fait pratique peuvent correspondre une infinité de faits théoriques logiquement incompatibles » (p. 229). Les lois physiques elles-mêmes ne sont donc, à proprement parler, ni vraies ni fausses mais approchées, provisoires et relatives, parce qu'essentiellement symboliques (p. 263) et parce que reposant sur une correspondance, « nullement immédiate », « d'une chose signifiée au signe qui la remplace » (p. 251) : chaque loi constitue donc le produit d'une abstraction, solidaire de « tout un ensemble de théories » (p. 254). Il en résulte qu'« une expérience de physique ne peut jamais condamner une hypothèse isolée, mais seulement tout un ensemble théorique » (p. 278) : « *l'experimentum crucis* est impossible en physique » (p. 285). De plus, certains principes échappent à la vérification expérimentale tout en intervenant dans des théories d'ensemble soumises à cette vérification ; en effet « la contradiction expérimentale porte toujours en bloc sur tout un ensemble théorique,

sans que rien puisse désigner quel est, en cet ensemble, la proposition qui doit être rejetée » (p. 229) : c'est pourquoi on est toujours libre de conserver les principes, c'est-à-dire « ces hypothèses qui sont devenues des conventions universellement acceptées », quitte à « renverser de fond en comble de tels principes » (p. 322) lorsqu'on « se lasse d'attribuer à quelque cause d'erreur » les écarts observés au cours des expériences.

Tel est, dans les grandes lignes, le « nominalisme » de Duhem. Indépendamment de l'importance qu'a eue sa conception symboliste de la théorie mathématique en physique, reprise et remaniée par les néo-positivistes (voir § 5), l'intérêt principal de son œuvre tient à l'analyse de l'élaboration intellectuelle si complexe conduisant du fait brut au fait et à la loi physiques, et, par delà, à la théorie d'ensemble. Sur tous ces derniers points nous ne saurions que prendre acte de la convergence entre les résultats obtenus par Duhem et ceux de l'investigation psychologique : le fait brut n'est pas simplement imité par le fait conceptualisé^[*] ou physique, il est *assimilé* aux schèmes logico-mathématiques et c'est le produit de cette assimilation qui constitue la loi. Mais, faut-il conclure de là que la théorie physique qui « représente » les lois en un schéma d'ensemble n'a qu'une portée « symbolique » et échoue à toute explication ? Il est possible que Duhem, métaphysicien ontologiste, ne se soit pas douté combien Duhem, critique de la connaissance physique, faisait la part large à l'activité du sujet dans l'élaboration du savoir : seul, en effet, un sujet capable de toutes les constructions opératoires parviendra à élaborer le donné jusqu'à le traduire symboliquement en coordinations mathématiques superposées à la réalité qualitative. Ou bien, au contraire, s'en est-il trop douté, et est-ce pourquoi il a voulu réduire le sujet au rang de simple fabricant de symboles, le nominalisme scientifique de Duhem étant alors une précaution contre ce qu'une trop grande activité du sujet pourrait avoir de contradictoire avec une métaphysique faite d'ontologie aristotélicienne. On pourrait répondre que ceci n'a rien à voir avec la vérité épistémologique de la doctrine. Cependant, si Duhem a eu le double mérite de corriger le positivisme de Comte, d'une part en rétablissant ainsi le rôle du sujet, et d'autre part en appuyant ses jugements épistémologiques sur une très large et très précise information historique (on connaît ses beaux travaux sur « *Le Système du Monde. Histoire des doctrines cosmologiques de Platon à Copernic* »), sa perspective historico-critique est parfois singulièrement influencée par sa métaphy-

[*Note FJP : nous avons substitué « conceptualisé » à « conceptualité ».]

sique : n'est-il pas allé jusqu'à comparer la thermodynamique, dont le second principe marque une tendance vers le repos final, à la théorie péripatéticienne du « lieu propre », les « mouvements naturels » d'Aristote étant interprétés, comme l'accroissement (pourtant statistique et probabiliste) de l'entropie, par une marche vers « un état d'équilibre idéal, en sorte que cette cause finale est, en même temps, leur cause efficiente » (p. 470-1) ?

Le problème de savoir si l'élaboration mathématique due à l'activité du sujet aboutit à un simple symbolisme est assurément lié, comme Duhem y insiste fortement, au passage de la qualité à la quantité : c'est dans la mesure où la qualité demeure irréductible à la quantité que le langage mathématique peut être dit purement symbolique, et c'est pourquoi Duhem insiste avec tant de vigueur sur cette irréductibilité, en recourant à la conception aristotélicienne (aujourd'hui insoutenable après tous les travaux de la mathématique qualitative) de deux « catégories » distinctes et sans voir qu'il n'existe pas de qualités sans quantité et réciproquement. Il est, en effet, surprenant d'admettre que les qualités connaissent les rapports $>$, $=$ et $<$ sans en conclure qu'elles connaissent aussi l'addition, car si $(A < B)$ et $(B < C)$, on a alors : $(A < C) = (A < B) + (B < C)$, c'est-à-dire que la différence qualitative entre A et C est l'addition des différences partielles ou intermédiaires AB et BC : ce n'est pas là une mesure, mais bien une addition¹ et tant le nombre que la mesure procèdent d'une composition opératoire de telles opérations initiales (voir chap. I § 3 et 6 et chap. II § 8). Comme nous l'avons vu (chap. I § 3), la quantité n'est autre chose que le rapport d'extension entre les termes qualifiés, et il n'existe, entre les quantités intensives et les quantités extensives, y compris métriques, que la différence du logique au mathématique : or, cette différence ne tient pas à l'addition commutative et associative des parties en un tout, comme le dit Duhem (car cette addition est déjà constitutive de l'addition logique), mais à la mise en relation des parties entre elles et notamment à la constitution de l'unité.

Or, s'il n'existe ainsi aucune opposition de principe entre la qualité et la quantité, mais au contraire une interdépendance étroite, rien n'exclut que la théorie physique serre la

¹ Si l'addition des différences $(A < B) + (B < C) + \text{etc.}$, n'est pas commutative en droit (puisque conservant l'ordre), elle l'est cependant en fait ; et l'addition des intervalles déterminés par ces différences est commutative en droit comme en fait.

réalité de toujours plus près et présente ainsi un caractère explicatif et non pas seulement symbolique. Sur ce point, l'énergétisme pur de Duhem a été soutenu, dans l'histoire des idées, au moment précisément de la renaissance de l'atomisme et au début des travaux de l'atomisme expérimental. On sait assez qui l'a emporté depuis...

Mais le nominalisme de Duhem a trouvé par ailleurs, dans le conventionnalisme et la pensée entière d'H. Poincaré à la fois une expression beaucoup plus rigoureuse et la réfutation de ses exagérations.

Les mathématiques sont d'abord, pour la physique, un langage précis, soutient Poincaré avec le positivisme. Mais un langage est beaucoup plus qu'un simple symbolisme : il est avant tout un instrument de généralisation. « Toute vérité particulière peut évidemment être étendue d'une infinité de manières », dit Poincaré avec Duhem, mais « dans ce choix qui nous guidera ? ». « C'est l'esprit mathématique, qui dédaigne la matière, pour ne s'attacher qu'à la forme pure. C'est lui qui nous a enseigné à nommer du même nom des êtres qui ne diffèrent que par la matière, à nommer du même nom, p. ex., la multiplication des quaternions et celle des nombres entiers »¹. Cette allusion aux quaternions nous montre d'emblée la différence entre la généralisation purement logique, à laquelle pense Duhem (lequel critique en particulier l'usage des quaternions et des algèbres compliquées des Anglais, parce que consistant en modèles opératoires !) et la généralisation opératoire à laquelle songe Poincaré. Si Maxwell, déclare ce dernier, est parvenu aux progrès que l'on sait, en électrodynamique, c'est que « en les envisageant sous un biais nouveau, Maxwell a reconnu que les équations deviennent plus symétriques quand on y ajoute un terme, et d'autre part ce terme était trop petit pour produire des effets appréciables avec les méthodes anciennes. On sait que les vues *a priori* de Maxwell ont... devancé de vingt ans l'expérience. Comment ce triomphe a-t-il été obtenu ? C'est que Maxwell était profondément imprégné du sentiment de la symétrie mathématique ». Mais aussi « c'est que Maxwell était habitué à « penser en vecteurs » et pourtant si les vecteurs se sont introduits dans l'analyse, c'est par la théorie des imaginaires »², (c'est-à-dire par l'extension de mécanismes purement opératoires)³. Bien plus, les mêmes équations se retrouvent dans les domaines les plus divers : en ce cas les « théories sem-

¹ *La valeur de la science*, p. 142-3.

² *Ibid.*, p. 144-5.

³ Voir à ce propos chap. I § 10.

blent des imagés calquées l'une sur l'autre ; elles s'éclairent mutuellement en s'empruntant leur langage ; demandez aux électriciens s'ils ne se félicitent pas d'avoir inventé le mot de flux de force, suggéré par l'hydrodynamique et la théorie de la chaleur »¹.

Mais, bien que la généralisation procède donc à l'ordinaire par composition à la fois spatiale et analytique, elle peut aussi « renoncer à pénétrer dans le détail de la structure de l'univers » pour « tirer des conclusions qui resteront vraies quels que soient les détails du mécanisme invisible qui les anime »² : elle engendre alors les principes qu'elle soustrait, par cela même aux vérifications de l'expérience. Seulement, à un certain degré de généralité, si le principe « peut tout expliquer, c'est qu'il ne permet de rien prévoir ; il ne nous permet pas de choisir entre les différentes hypothèses possibles, puisqu'il explique tout d'avance. Il devient donc inutile »³.

C'est ici qu'apparaît le conventionnalisme de Poincaré, en même temps que s'en dessinent les limites : les principes généraux sont en réalité des conventions, puisque précisément soustraits à la vérification expérimentale. Mais, sur ce point, Poincaré distingue avec précision trois phases dans l'évolution d'un principe : d'abord vérité d'expérience, il devient en second lieu proposition générale et conventionnelle pour être enfin, lors d'une troisième phase, ébranlée par l'expérience, mais indirectement et en tant simplement que rendu inutile⁴.

Or, cette troisième phase, il ne l'a pas aperçue d'emblée parce que, au début de sa carrière, aucun fait ne conduisait à mettre en doute les principes. A la suite de diverses découvertes retentissantes, dont celle de Michelson et Morley, le doute apparut : c'est alors que les physiciens se trouvèrent dans l'alternative de sauver les principes ou de refondre toute la physique. Avec une perspicacité qui s'oppose de façon frappante aux propos désabusés de Duhem sur l'incohérence des « nouvelles théories », Poincaré entrevit la relativité et put ainsi simultanément maintenir le caractère conventionnel des principes lorsque l'on tend à les sauver à tout prix et la nécessité de les changer lorsqu'ils cessent d'être utiles à l'interprétation de l'expérience : « j'avais raison autrefois et je n'ai pas tort aujourd'hui »⁵, dit-il avec une bonhomie char-

¹ *La valeur de la science*, p. 146.

² *Ibid.*, p. 176-6.

³ *Ibid.*, p. 193.

⁴ *Ibid.*, p. 207-9.

⁵ *Ibid.*, p. 207.

mante. Par contre, là où il exagère la continuité de sa pensée et où il se réfute en réalité lui-même, c'est lorsqu'il est obligé d'admettre que les « conventions » ainsi conçues ne sont en réalité pas arbitraires, mais bien choisies en fonction des besoins combinés de la généralisation opératoire et de l'expérience : « Les règles du jeu sont des conventions arbitraires et on aurait pu adopter la convention contraire *qui n'aurait pas été moins bonne*. Au contraire la Science est une règle d'action qui réussit, au moins généralement, et j'ajoute, *tandis que la règle contraire n'aurait pas réussi* »¹. D'où l'autoréfutation de l'abus du terme « commode » : la science est une classification commode, mais « il est vrai qu'elle l'est non seulement pour moi, mais pour tous les hommes ; il est vrai qu'elle restera commode pour tous nos descendants ; il est vrai enfin que cela ne peut pas être par hasard »². En définitive, la commodité est donc l'adéquation des principes simultanément à notre esprit lui-même et aux « relations entre les choses »³. « Je rappelle en outre que notre espace euclidien qui est l'objet propre de la géométrie a été choisi, pour des raisons de *commodité*, parmi un certain nombre de types qui préexistent dans notre esprit et qu'on appelle groupes »⁴. Voici, définitivement réfuté par Poincaré lui-même, ce conventionnalisme dont l'a si fort approuvé, mais avec un peu de retard, le néo-positivisme de l'école de Vienne.

§ 5. LE NÉO-POSITIVISME ET LA CAUSALITÉ SELON PH. FRANCK. — Le défaut le plus général du positivisme classique est, en fin de compte, l'absence d'une psychologie génétique de la pensée scientifique. C'est cette lacune qu'a voulu combler E. Mach, le fondateur du positivisme viennois, en rattachant directement la connaissance physique aux « sensations », sans recours aux spéculations sur le réel et en croyant ainsi parachever l'œuvre d'Aug. Comte restée incomplète en son programme anti-métaphysique. Nous avons assez souvent insisté sur les insuffisances de l'explication de la connaissance par les sensations et sur les difficultés de l'attitude de Mach (voir chap. V § 3), pour n'y point revenir ici plus systématiquement. Du point de vue de la physique, en effet, le recours aux sensations aboutit à l'anthropomorphisme et rend inexplic-

¹ *Ibid.*, p. 217.

² *Ibid.*, p. 271.

³ *Ibid.*

⁴ *Ibid.*, p. 243.

cable la décentration fondamentale caractérisant toute connaissance objective. Du point de vue psychologique, d'autre part, la sensation ne constitue nullement à elle seule la source de la connaissance, celle-ci étant liée à l'action entière et n'aboutissant à la décentration propre à la pensée scientifique que par la coordination des opérations nées de cette action.

Aussi bien, faussement orienté à son départ par une psychologie insuffisante, le positivisme viennois a-t-il redressé ses positions en recourant à la logistique sur les points où le psychologisme de Mach l'avait égaré. D'où l'interprétation des sciences de M. Schlick, de R. Carnap et de O. Neurath, développée en mathématiques par v. Wittgenstein et sur le terrain de la causalité physique par Ph. Franck. Cette interprétation se dit « unitaire » parce que reposant sur une exclusion radicale de toute métaphysique et sur une absorption de la philosophie dans les sciences elles-mêmes. De ce point de vue, la science est constituée par l'ensemble des propositions qui présentent un sens intelligible ; la métaphysique rentre au contraire dans les « propositions sans signification ».

Le propre de la conception « unitaire », particulière aux Viennois, est d'ailleurs, par un curieux paradoxe, d'introduire au sein de la science elle-même un dualisme fondamental. Parmi les propositions qui présentent une signification, il en est, en effet, de deux sortes irréductibles entre elles : les « propositions tautologiques » et les « propositions à portée réelle » (p. 37)¹. Les premières constituent simplement le langage de la science, c'est-à-dire la logique, conçue comme une pure « syntaxe » de propositions, et les mathématiques elles-mêmes, conçues (on l'a déjà vu chap. III § 5) comme ne comportant aucune construction réelle, malgré leur apparence psychologique d'invention ou de création. Les secondes constituent les propositions énonçant des faits observables et se référant donc à l'expérience sous toutes ses formes. Le critère permettant de distinguer ces deux sortes de propositions est aisé à formuler en théorie : le contraire d'une proposition tautologique est une proposition sans signification (p. ex. le contraire de $1 + 1 = 2$ est $1 + 1$ inégal à 2, ce qui est contradictoire avec les définitions admises, donc sans signification), tandis que le contraire d'une proposition à portée réelle est une autre proposition à portée réelle, l'une des deux étant alors vraie et l'autre étant fausse mais présentant une signification (p. ex. si « cette table est bleue » est une proposition vraie, la proposition « cette table

¹ Ph. FRANK. *Le principe de la causalité et ses limites*. Coll. Flammarion.

n'est pas bleue » est fautive sans être dépourvue de signification). Mais bien que cette opposition soit nette *in abstracto*, il demeure très difficile de l'appliquer dans tous les cas concrets, car, si les mathématiques sont entièrement tautologiques, la physique n'est par contre pas entièrement formée de propositions à portée réelle. Comme l'a montré le conventionnalisme, approuvé en cela par les théoriciens de l'unitarisme (p. 49), un grand nombre d'énoncés généraux de la physique sont en réalité des propositions tautologiques. Or, « on ne peut pas du tout — et c'est ici la plus grosse difficulté — reconnaître, à l'aide du seul texte d'une proposition, si elle est tautologique ou à portée réelle. Il faut, pour cela, considérer tout le système dont fait partie cette proposition ; c'est-à-dire l'ensemble des phrases qui servent à élucider le sens des symboles dont on s'est servi pour la formuler » (p. 36). C'est en ce travail critique que consiste l'activité philosophique selon Schlick.

Cela dit, il convient de chercher à quoi se réduisent les propositions à portée réelle, une fois dissociées du symbolisme qui leur sert d'expression, plus précisément une fois dégagées des « coordinations » les reliant aux « propositions tautologiques » qui les désignent. En langage courant, cela revient donc à déterminer le sens des propositions expérimentales, indépendamment de leur formulation logique ou mathématique. Ce sens consiste évidemment à se référer à une « donnée », mais encore faut-il préciser qu'une donnée est toujours relative à des « propositions-constats » (p. 50) convergeant entre elles. Le « langage physique » ou plus précisément « physicaliste » (car il s'applique aussi à la biologie et à la psychologie expérimentale, qui étudie le comportement) se réfère ainsi nécessairement à des propositions-constats susceptibles d'une certaine uniformité entre les observateurs et portant sur des faits matériels.

Le grand problème de la causalité est alors, pour la philosophie « unitaire » de la science de savoir si le lien causal est de caractère purement tautologique (comme Ph. Franck l'affirmait sans réserve en 1907 quant à sa forme générale, dans un écrit qu'il a lui-même qualifié depuis de trop exclusif), s'il se réfère à des propositions de portée réelle ou encore s'il participe de l'une et de l'autre de ces deux natures. C'est à cette discussion que Ph. Franck se livre avec une admirable précision en atténuant la position trop dogmatique qu'il avait prise au début de ses recherches.

Selon Schlick, la causalité consiste, conformément à la tradition du positivisme, en une possibilité de prévision des phénomènes (p. 47). Mais quelle est la signification concrète d'une telle formule ? E. Zilsel répartit les lois physiques en deux groupes : celle qui ne font pas intervenir de succession temporelle (p. ex. la loi de Mariotte, qui est une loi d'équilibre) et celles qui expriment des modifications en fonction du temps (p. ex. les équations de Fourier

sur la conductibilité thermique). Ce sont ces dernières que Franck appelle « lois causales » ou dont il dit qu'elles ont une « forme causale » (p. 144). Mais il s'agit alors de préciser comment s'établit une telle succession temporelle et sur quoi se fonde la prévision des états ultérieurs. Toutes deux supposent assurément une certaine répétition des phénomènes. « Nous dirons donc que le principe de causalité affirme que tous les phénomènes ayant lieu dans le monde peuvent être envisagés comme des éléments de processus cycliques partiels » (p. 190) et nous disons partiels parce qu'il n'y a jamais retour à des états exactement identiques, du fait qu'il s'intercale de nouveaux états entre les états initiaux et les états ultérieurs, et aussi du fait que les états initiaux (formés eux-mêmes d'immobilité relative ou de mouvements, cf. p. 145) ne se retrouvent jamais exactement. La notion même de retour est équivoque (p. 191-4), car « il y a de multiples manières de concevoir le retour d'un même état, ce qui n'empêche pas la prévision de l'avenir d'être toujours possible. Il reste donc que cette prévision a les caractères les plus divers, suivant la façon dont on conçoit ce retour » (p. 195). Dira-t-on alors que la causalité se borne à affirmer l'existence de lois, ce qui éviterait « d'introduire le concept quelque peu artificiel de répétition » (p. 206) ? Mais, ou bien alors on se réfère à une intelligence supérieure susceptible d'embrasser tout l'univers, ou bien il faut préciser toutes ces lois de façon très déterminée, ce qui reste malaisé dans les deux cas. « Les deux seules alternatives sont donc, soit de fonder le principe de causalité sur le retour au même état, et la signification en est assez vague, car en pratique on ne se trouve jamais en présence des mêmes phénomènes, soit de s'appuyer sur l'existence de lois, et dans ce cas encore, il n'est guère facile de préciser ce qu'il veut dire ; car, prise en elle-même, l'affirmation de l'existence de lois n'a pas grande portée en ce qui concerne le monde réel. En somme la prétendue loi d'airain de la causalité ne délimite en réalité ces phénomènes que d'une manière fort vague » (p. 201).

D'où provient alors le prestige de la causalité ? C'est qu'elle constitue en bonne partie un principe tautologique. Le retour à un même état se reconnaissant essentiellement au fait que cet état est suivi des mêmes conséquences, « dans ces conditions, le principe de causalité n'est plus qu'une définition de l'identité de deux états » (p. 202).

Pour assurer cependant au principe de causalité une portée réelle, il s'agit de faire correspondre les grandeurs d'états, contenues dans les équations, à des données observables. Mais c'est ici que les difficultés commencent. Il s'agit d'abord que ces grandeurs d'états soient en nombre restreint, sinon la causalité devient inapplicable (p. 203). Mais si le nombre des grandeurs d'états est restreint « nous avons bien affaire à un énoncé sur le

monde réel ; mais cet énoncé est passablement indéterminé » (p. 204). En outre, il s'agit surtout de trouver des règles de coordination entre ces grandeurs, intervenant dans les équations c'est-à-dire dans les propositions tautologiques (parce que mathématiques) et les faits observables eux-mêmes. « Or, s'il n'y a pas de règles de coordination connues, le principe de causalité devient une tautologie et les lois causales particulières de simples définitions des grandeurs d'états : elles ne disent rien de plus au sujet du monde réel » (p. 186). « C'est dans la mécanique ondulatoire moderne que la difficulté s'est révélée dans toute son ampleur » (p. 187), d'où les « questions d'interprétation » qui interviennent en microphysique et qui sont précisément relatives à cette coordination entre les observables et les grandeurs d'états. Si une telle coordination est relativement aisée dans certains cas ordinaires (en acceptant néanmoins toujours une certaine indétermination due à l'imprécision forcée des expériences), elle est par contre fort difficile dans les domaines d'observation très grands (relativité à l'échelle astronomique) et très petits (échelle atomique). « En général, il n'est donc pas possible de coordonner à toute grandeur figurant dans une équation une donnée immédiate bien déterminée ou un résultat d'observation ; il faut avoir, au préalable, résolu tout le problème. On s'aperçoit alors que les équations du physicien ont perdu de ce fait leur valeur causale, du moins dans le sens où on le pensait autrefois. Ces lois n'associent plus des grandeurs directement observables, mais des grandeurs qui peuvent seulement, après une certaine élaboration, être comparées avec des grandeurs observables » (p. 210). Bref, la causalité suppose toujours une « interprétation » (p. 212), et, par conséquent, « si nous nous demandions si le principe de causalité est vraiment une loi de la nature, nous pourrions retourner la question sous toutes ses faces, nous arriverons toujours à la conclusion qu'il est impossible de donner une réponse, qu'elle soit positive ou négative » (p. 213).

Pour lever la contradiction apparente entre cette absence de tout « argument, ni pour ni contre la validité du principe de causalité comme loi de la nature » (p. 217) et le fait que notre science et la vie pratique en supposent l'application continuelle, on suppose en général l'existence d'un monde « vrai », caché derrière les phénomènes et qui serait le support véritable de la causalité. Mais rien n'est plus équivoque que cette hypothèse d'un « réel » postulé derrière l'apparence : « La distinction entre « réel » et « apparent » consiste... toujours dans l'une de ces deux choses : ou bien dans la différence qu'il y a entre une vue superficielle du donné expérimental et une description détaillée de celui-ci (dans ce cas c'est la description détaillée qui est dite correspondre à la réalité) ; et deuxièmement on désigne aussi comme « réel » un schéma mathématique duquel

on peut déduire, avec une grande exactitude, des résultats expérimentaux. Les deux concepts sont d'ailleurs tellement liés que le schéma mathématique est souvent le résumé le plus précis des données expérimentales qu'on en peut déduire » (p. 221). Bref, « la construction du monde dit « réel », « véritable », « physique », « objectif » ou « spatio-temporel » n'est pas autre chose que la mise en ordre des données de notre expérience suivant un schéma » (p. 225). Pourrait-on cependant concevoir le réel comme la limite vers laquelle converge une suite de théories de plus en plus exactes ? Il faut à nouveau s'entendre. La limite dont on se rapproche n'est autre chose que les faits de mieux en mieux observés et nous retombons dans l'un des deux sens distingués à l'instant. Quant aux théories elles-mêmes, elles se succèdent sans ordre et sans qu'aucune ne puisse se prétendre définitive (p. 233-4). On ne saurait donc tirer des approximations successives de l'expérience aucun argument en faveur du réalisme (p. 234). La microphysique n'a à cet égard rien ajouté de nouveau, sinon qu'elle met les dispersions statistiques au point de départ de ses considérations au lieu de les attribuer aux insuffisances de la théorie. Il est donc absurde de tirer de la physique atomique des conclusions métaphysiques (p. 278), alors qu'elle confirme simplement le mélange d'indétermination réelle et de tautologie qui caractérise la causalité en général.

Telles sont, dans les grandes lignes, les idées des néo-positivistes et de Ph. Franck sur la causalité. On aperçoit immédiatement leur grand intérêt, dû essentiellement à la volonté de ne se laisser duper par aucun mot, ni aucun concept. C'est cette méthode de l'épistémologie « unitaire » qui fait sa force, contre toute métaphysique. Aussi ne saurions-nous qu'approuver un tel idéal critique, dans sa double exigence de précision axiomatique et de conformité aux données expérimentales. La seule réserve de méthode qu'il conviendrait sans doute de faire consisterait à ne pas extrapoler en ce qui concerne l'avenir et à distinguer les vraies « propositions sans significations », qui sont contradictoires avec les définitions admises, et ce que nous appellerions les « propositions sans signification actuelle » résultant de l'usage des concepts mal définis ou mal élaborés tels que ceux dont abuse la philosophie d'école.

Mais cet accord rappelé, quant aux buts communs de l'épistémologie génétique, il reste à se demander si le néo-positivisme unitariste ne s'enferme pas dans une sorte d'impasse, faute d'un appel suffisant à la psychologie et cela malgré les visions prophétiques, mais incomplètes, d'E. Mach. L'épistémologie uni-

taire se donne, en effet, la logique et les mathématiques comme si elles ne dépendaient d'aucune genèse : simple « syntaxe » tautologique, elles sont en dehors du réel qu'elles ont pour seule fonction de « désigner ». Quant au réel comme tel, c'est-à-dire à l'ensemble des « propositions à portée réelle », il se réduit en dernière analyse à la poussière atomique des « propositions-constats », lesquelles se réfèrent elles-mêmes aux seules sensations. Rien d'étonnant, dès lors, que le problème de la « coordination » entre les propositions logico-mathématiques et les faits observables constitue le point délicat de la doctrine : celle-ci commence par couper toutes les attaches entre la « syntaxe » tautologique et l'expérience, puis se demande comment les rétablir !

Or, sans aucune spéculation sur un « réel » en soi, caché derrière les phénomènes, et sans sortir davantage du concret qu'en invoquant le langage ou la sensation, il reste que l'homme de science n'est pas un être immobile dont les fonctions mentales se réduisent à l'exercice de la parole et des organes sensoriels, mais qu'il est obligé d'agir sur les objets pour expérimenter. Il n'est donc pas contraire aux faits observables, mais conforme à tout ce que nous savons du comportement, que de lier les sensations à des actions précises, dont elles sont solidaires : les propositions-constats sont en réalité toujours relatives à des actions et non pas seulement à des sensations ; car de dire « ceci est résistant », « ceci est lourd », « ceci est rectiligne » ou même « ceci est rouge », c'est décrire des comportements et non pas exclusivement des perceptions, ou plus précisément ces perceptions sont des aspects ou des parties de conduites ou d'actions. D'autre part, si la logique et les mathématiques sont bien, à partir d'un certain niveau, une « syntaxe » formelle des propositions, c'est-à-dire une coordination des notions et des rapports, elles sont d'abord une syntaxe, c'est-à-dire une coordination des actions elles-mêmes. Dès lors, pour relier la syntaxe logico-mathématique avec l'expérience, il n'est pas indispensable de chercher à concilier sans intermédiaires le formalisme propositionnel avec la diversité sensorielle : il suffit de se demander quelle relation existe entre la coordination des actions et les actions particulières ainsi coordonnées !

En un mot, il est donc nécessaire d'introduire les opérations du sujet entre son langage et l'expérience, si l'on veut pouvoir fermer le circuit de la connaissance. Mais alors le problème qui se pose est de savoir si l'on peut réduire ces opérations à la

tautologie pure : or cette question (déjà discutée chap. III § 5) se retrouve avec une acuité particulière sur le terrain de la causalité, et c'est le grand mérite de Ph. Frank que de l'avoir posée en termes si parfaitement clairs. Les analyses subtiles de cet auteur conduisent, en effet, à montrer que la causalité n'est ni un pur fait d'expérience, ni (lorsqu'elle n'est pas très générale) une pure liaison déductive, mais qu'elle participe nécessairement des deux : l'impossibilité d'un retour à l'état initial sans élaboration déductive, la difficulté à faire correspondre les observables aux grandeurs d'états des équations, le caractère relativement indéterminé des séquences particulières et le caractère purement deductif des énoncés trop généraux, l'équivoque des lois postulées lorsqu'elles sont incomplètement connues, et surtout le fait que le « réel » découvert par approximations successives se réduit simultanément à une meilleure observation des données et à un schéma mathématique, tout cela montre à l'évidence et par une argumentation réellement nouvelle, le caractère mixte de la causalité, relation étrange demeurant sans cesse à mi-chemin du deductif pur et de la succession temporelle. Mais alors, peut-on, tout à la fois, considérer la causalité comme assurée de réussite, le réel comme divers et la déduction comme tautologique ? Pour que la causalité réussisse (et celle de Frank est censée aboutir, contrairement au divorce épistémologique admis par Meyerson entre l'identique et le réel), il faut, semble-t-il, ou que l'expérience soit tautologique comme la déduction ou que la déduction soit non-tautologique comme l'expérience ; il y a, en effet, une contradiction fondamentale à vouloir « coordonner » des données expérimentales essentiellement multiples à des équations mathématiques essentiellement tautologiques : ou bien la « coordination » est illusoire, ou bien les relations mathématiques sont multiples elles aussi. Or, pour lever cette contradiction, Ph. Franck tout en admettant que la causalité réussit, c'est-à-dire autorise la prévision, est obligé de la restreindre jusqu'à en faire une simple définition des grandeurs d'états : la causalité devient ainsi ce qui permet d'incorporer les faits observables dans les équations, et c'est pourquoi il est à jamais impossible, selon cet auteur, de savoir si le principe de causalité appartient aux lois de la nature ou à celles de la syntaxe logico-mathématique, puisqu'un tel principe se borne à assurer leur liaison. Seulement la contradiction, écartée du domaine des grandeurs d'états (dont chacune, traduite par un nombre, peut entrer dans une équation,

c'est-à-dire dans une égalité soi-disant tautologique entre ces nombres), réapparaît dans celui des changements d'états : pour « prévoir » les phénomènes (ce qui, ne l'oublions pas, signifie les reproduire, donc les produire en pensée ou en action), il ne suffit pas de croire au retour approximatif des mêmes états, mais il faut aussi compter sur la régularité des changements d'états. Or, ces changements d'états ne correspondent plus dans nos équations à de simples nombres ou à des valeurs statiques, mais à des transformations logico-mathématiques, c'est-à-dire à des opérations. Si celles-ci sont tautologiques, comment alors leur coordonner les changements d'états ?

Par contre, si l'on admet que les opérations constituent une coordination non-tautologique des actions comme des propositions, et que le donné sensoriel de l'expérience est relatif, lui aussi, à des actions, l'analyse néo-positiviste de la causalité acquiert une portée évidente : la causalité est l'incorporation des grandeurs et des changements d'états dans le système des transformations opératoires susceptibles de permettre leur reproduction ; la répétition probable des séquences naturelles est alors garantie par la production nécessaire des conséquences formelles.

Mais si, faute d'analyse génétique, le néo-positivisme est resté à mi-chemin de cette « coordination » entre l'expérience réelle et les structures logico-mathématiques du sujet, il n'en demeure pas moins que, partant avec Aug. Comte d'une exclusion de la notion de causalité et d'une conception incomplète de la généralisation, le positivisme en vient avec Ph. Frank à une notion essentiellement déductive de la causalité, ainsi qu'à une critique des notions de prévision, de loi naturelle et de donnée expérimentale. La déduction logico-mathématique replacée de la sorte au centre de la doctrine, et même réduite à l'identité pure, conduira-t-elle à atténuer l'antagonisme entre le positivisme et cette autre conception de la causalité fondée sur la déduction et sur l'identité dans le temps, qu'est la théorie anti-positiviste d'E. Meyerson ?

§ 6. LA CAUSALITÉ SELON E. MEYERSON. — La doctrine dont nous abordons la discussion est centrée sur la réfutation du positivisme et sur la distinction systématique de la cause et de la loi. On ne s'étonnera donc pas si nous y revenons ici après y avoir fait si souvent allusion ; mais, la retrouvant une fois de plus, nous ne l'examinerons naturellement pas dans son

ensemble et nous nous bornerons à ce problème même de la cause et de la loi.

Le reproche essentiel que Meyerson adresse au positivisme est d'avoir méconnu le besoin d'expliquer propre à toute science. Sous ses formes les plus diverses, la pensée scientifique ne se borne pas à prévoir : elle veut comprendre et, sitôt découverts un fait ou un rapport général, un puissant instinct causal la pousse à rendre ce fait ou cette loi intelligibles à la raison. Il est donc contraire à tout ce que nous apprend, non seulement l'histoire des sciences, mais encore le spectacle de la science contemporaine, de soutenir que la science néglige par principe le « mode de production » des phénomènes. Même les savants les plus inféodés au positivisme, et dont les préfaces à leurs œuvres contiennent des déclarations de la plus pure orthodoxie comtiste, ne font pas autre chose, une fois aux prises avec l'expérience elle-même et son interprétation mathématique, que de chercher à comprendre, c'est-à-dire à expliquer causalement.

En quoi consiste alors la notion de cause ? Elle ne se confond nullement avec celle de loi. La loi n'est qu'une constatation généralisée, une extension du fait. Sans doute est-elle déjà élaborée par la raison, puisqu'elle résulte d'une généralisation (ce qui signifie, pour Meyerson, d'une identification), mais cette élaboration ne fournit à elle seule aucune explication. Celle-ci commence avec la déduction de la loi et le secret de la causalité est donc à chercher dans le mécanisme de la déduction. Mais encore faut-il s'entendre, car la déduction explicative ne consiste pas simplement à emboîter des lois particulières en des lois plus générales, ce qui ne reviendrait qu'à étendre le domaine du « légal ». La déduction explique dans la mesure où elle identifie l'effet à la cause et où cette identification mord sur le réel lui-même.

La cause est donc l'identité dans le temps et il résulte de cette identification, appliquée aux processus temporels et réels, deux conséquences principales. La première est que la science est essentiellement ontologique, et postule toujours, malgré les dénégations positivistes, le concept de « chose » ou de réalité extérieure au sujet. Sans doute la réalité que construit la déduction scientifique est-elle de plus en plus éloignée de celle du sens commun : mais elle n'en demeure pas moins extérieure au « moi ». En deuxième lieu, et par conséquent, les schémas explicatifs tels que l'atomisme, les modèles mécaniques, etc. ne constituent pas de simples hypothèses figuratives, mais font partie intégrante de la déduction explicative, puisque seuls ils permettent de réduire les effets à des causes qui leur soient identiques, en tout ou en partie, et que seuls ils conduisent à ima-

gner les « choses » auxquelles la déduction causale réduit le réel ^[*].

Mais, quoique toujours plus épurée, la réalité résiste à l'effort permanent d'identification. D'où l'irrationnel, que la science cherche à amenuiser sans cesse et par tous les moyens, mais qui réapparaît néanmoins inévitablement, sous la forme du divers opposé à l'identique. La déduction explicative sera donc essentiellement spatiale, parce que l'espace est l'expression du réel la plus propre à la fois à favoriser la figuration des causes et à permettre l'identification *maximum*, en réduisant le divers à ce *minimum* que sont le simple changement de position et la multiplicité des figures. Mais l'explication spatiale n'est elle-même qu'un idéal et nombre de qualités physiques résistent à cette spatialisation.

Notons d'abord que si, en ce qui concerne le besoin d'expliquer, Meyerson a évidemment raison dans le contraste qu'il souligne entre l'exigence de compréhension, commune à toutes les sciences, et la conception positiviste de la causalité conçue comme une pure prévision, la distance qui sépare cet auteur du néo-positivisme diminue toutefois fortement lorsque l'on compare ses thèses à celles de Ph. Frank. L'exigence fondamentale de Meyerson est, en effet, la déduction des lois, fondée sur l'identification du divers dans le temps. Or, le propre de la théorie de Frank est précisément de ramener la causalité à un schème logico-mathématique de caractère tautologique, c'est-à-dire fondé sur l'identité, mais appliqué aux données expérimentales, c'est-à-dire aux séquences temporelles elles-mêmes. Certes, Meyerson s'est opposé à l'interprétation tautologique des mathématiques, car pour lui l'identification ne réussit jamais complètement. Seulement, sur le terrain de la causalité, Frank ne dit pas autre chose, en parlant des retours incomplets à l'état initial qui supposent une élaboration déductive toujours plus poussée mais se heurtent aux indéterminations du réel. La différence est-elle dans le fait que l'identification meyersonienne porte sur la réduction de l'effet à la cause ? Mais ce que Frank appelle « prévision » est une traduction du réel en équations ou « lois causales » dont il admet le caractère d'identité logique ¹. Est-elle dans le caractère géométrique de la déduction ? Mais Meyerson fait une place aux schémas analytiques et Frank en réserve une, pour sa part, aux théories géo-

¹ Il est frappant de constater, à cet égard, que la notion de « prévision », substituée par le positivisme à celle de causalité, reprend précisément chez Ph. Frank le sens de l'identité logique appliquée au réel.

² [*Note FJP : nous avons substitué « réduit » à « réduisent ».]

métriques : il n'y a là qu'une affaire de dosage... Est-elle dans la « réalité » des atomes ? Mais chacun s'y rallie aujourd'hui.

Et cependant, malgré cette parenté évidente, l'accent des deux doctrines est entièrement différent. Il tient assurément à l'ontologie que Meyerson attribue à la science, tandis que Frank se méfie de tout postulat réaliste. Seulement, ici encore, à serrer les textes de près, on a davantage l'impression d'un conflit de tempéraments — l'opposition du théoricien de la physique mathématique et du théoricien de la chimie — que d'une contradiction fondamentale. Quand Meyerson avoue que le réel est sans cesse transformé par la connaissance et que l'« objet » résulte en bonne partie des « hypostases » de la raison logique et mathématique, dit-il vraiment le contraire de ce que soutient Frank, lorsque celui-ci réduit la différence entre l'« apparent » et le « vrai » à « la mise en ordre des données de notre expérience suivant un schéma logique ou mathématique » ? « Hypostase » ou « schéma », ce sont là deux images, qui révèlent un antagonisme évident, sinon dans la métaphysique, du moins dans la logique de ceux qui les emploient (et de fait Meyerson reste indulgent pour le substantialisme aristotélicien, que la logistique nominaliste de Frank pourchasse sans pitié), mais ce ne sont que des images : les deux auteurs s'accordent à penser que le réel est à la fois déduit et constaté, et qu'il est difficile de tracer une ligne de démarcation entre ces facteurs ; cela est même si difficile, selon tous les deux, que le réalisme de Meyerson attribue la causalité à une identité introduite par l'esprit dans un réel qui résiste en partie, tandis que le positivisme de Frank se borne à attribuer la causalité à une identité introduite par la déduction dans un réel dont on ne saura jamais bien s'il résiste ou est d'accord !

Mais, si ces deux auteurs diffèrent surtout par leur tempérament, leur langage et les images qu'ils emploient, nous n'en touchons pas moins ici au point central, qui est le rôle réservé par eux aux schémas intuitifs. Meyerson attribue une importance fondamentale aux représentations concrètes et imagées, dans la pensée du savant qui cherche à comprendre, tandis que Frank pense en analyste abstrait et en logisticien. Le caractère « explicatif » de la causalité conçue comme une déduction identificatrice, ou son caractère de simple prévisibilité, tiendraient-ils donc simplement à ce que, pour le réalisme substantialiste de Meyerson (avec cette correction essentielle que les ontologies sont sans cesse, selon lui, dissoutes et reconstruites par la pensée), le savant éprouve le besoin

d' « imaginer » le réel, tandis que, pour l'anti-réalisme de Frank, l'imagination fait figure de fausse monnaie à côté du savoir mathématico-expérimental ?

Malgré le caractère en apparence secondaire de cette question, elle est néanmoins essentielle dans la discussion des rapports entre la cause et la loi. Nous avons vu que ni Aug. Comte, ni Ph. Frank ne croient au caractère explicatif de la notion de cause, par le fait d'une lacune commune à leurs deux doctrines : ce que Comte appelle la coordination des lois et ce que Frank appelle la déduction tautologique des grandeurs d'états aboutissent, dans l'un et l'autre cas, à une notion insuffisante de la causalité faute d'une généralisation opératoire qui assimilerait les modifications du réel aux transformations déduites des systèmes d'opérations en jeu ; mais, si l'on rétablit le rôle de la construction opératoire, la déduction des lois suffit à assurer leur explication sans appel à autre chose qu'à ces lois comme telles et au mécanisme déductif. La doctrine de Meyerson, par contre, pour remédier à l'insuffisance d'une déduction des lois conçue sur un simple modèle analytique ou tautologique, admet l'existence de causes distinctes de ces lois et fait porter l'identification, non plus seulement sur les lois, mais sur les schémas représentatifs correspondant aux causes. Or, nous venons de le constater, l'intervention de ces schémas représentatifs constitue, en fait, la seule différence entre des doctrines aussi dissemblables en apparence que celles de Frank et de Meyerson. D'où les deux problèmes qu'il s'agit de discuter : quel est le rôle de tels schémas, et, s'ils tendent à disparaître que deviennent alors le rapport entre la cause et la loi, ainsi que la réduction des causes à l'identification pure ?

Dire que la causalité consiste en une déduction, et spécialement en une déduction géométrique, peut s'entendre, en effet, en deux sens bien différents selon que l'on se réfère à l'intuition spatiale ou que l'on songe aux seuls rapports géométriques ou autres, mais abstraits et théoriques, et dont la valeur de connaissance demeure indépendante de toute représentation. Or, la science, comme le sens commun, fait toujours, à un niveau déterminé, appel aux intuitions proprement dites pour se représenter les « choses », que celles-ci soient perceptibles ou simplement imaginées en tant que cachées sous l'apparence. Cela est indiscutable et E. Meyerson a eu sur ce point la partie belle à jouer contre le positivisme. Mais il n'en reste pas moins que le foisonnement des images correspond à un stade inchoatif de la connaissance, comparable à ce que sont

tous les stades préopératoires ou concrets par rapport à la formalisation qui les suit. L'image n'est qu'un symbole, et la connaissance débute lorsque, s'aidant de tels symboles, le sujet parvient à déduire les lois en les groupant sous la forme de systèmes de transformations. Que ces systèmes satisfassent davantage lorsqu'ils s'accompagnent encore d'images ou de modèles, cela est certain, car le savant n'est pas toujours esprit pur ; mais là où le schème des transformations devient irréprésentable comme en microphysique ou aux trop grandes échelles d'observation, on se passe de toute représentation sans pour autant cesser de comprendre et d'expliquer. L'évolution de la notion de corpuscule, à partir de l'atomisme grec, jusqu'au moment où, dans les théories contemporaines, le micro-objet se réduit — lorsqu'il ne s'évanouit pas momentanément en une onde — à un simple point de localisation de ses effets, est un excellent exemple de l'élimination graduelle des images au profit des relations pures, c'est-à-dire des lois elles-mêmes.

Or, s'il en est ainsi, où situer la cause, par rapport aux lois ? Toute connaissance se réduit à des rapports, et les « choses », « objets » ou « substances » ne sont jamais que des faisceaux de rapports, sans qu'il soit jamais possible d'en isoler les termes. Il n'existe donc que des lois, et la cause n'intervient pas en dehors ou à côté de ces lois, comme les muscles à côté du squelette, mais uniquement dans la coordination, de ces lois entre elles, en tant que cette coordination acquiert un caractère nécessaire. P. ex. une équation chimique telle que $H_2 + O = H_2O$ est une loi. La cause en est-elle la représentation des atomes H , H et O , ainsi que la représentation des actions déterminant leurs affinités et l'équilibre de leur combinaison ? Sans doute, mais ces représentations, une fois dégagée de leur symbolisme imagé, se réduisent à nouveau à des lois, et l'on sait aujourd'hui la complexité de ces dernières et leur nature réfractaire à tout schéma représentable. Que l'image serve à la découverte des lois, comme l'intuition mathématique sert à l'invention de nouveaux êtres abstraits, cela arrive souvent, mais, même alors, les lois priment tôt ou tard la représentation imagée, la cause consistant exclusivement en leur coordination nécessaire.

Bref, admettre que la cause consiste en une déduction de la loi ne signifie en rien que l'on sorte du domaine des lois, car cette déduction ne relie entre elles que des lois et ne formule que de nouvelles lois, la déduction des lois signifiant proprement leur composition réciproque. La dualité entre la cause

et la loi exprime simplement le fait que l'ensemble des lois servant à expliquer une loi déterminée ne se trouve pas sur le même plan qu'elle, précisément parce qu'il constitue un ensemble et que seul le système total comme tel explique les lois particulières qui en font partie. Sans doute, la composition de ce système total englobe-t-elle l'identité, mais en solidarité complète avec les lois de transformations elles-mêmes, puisque c'est l'ensemble du système opératoire ainsi formé qui détient, en tant qu'ensemble, le pouvoir explicatif dû à ses connexions nécessaires.

Mais à quel type de nécessité se réfère-t-on lorsque l'on définit la cause par la déduction des lois (ce sur quoi toutes les opinions convergent donc aujourd'hui) ? Tout d'abord les données fournies par l'expérience à titre de succession régulière, et qui constituent ainsi la source intuitive de chaque loi, sont, dès le départ et de façon croissante, assimilées à des opérations logico-mathématiques. C'est cette élaboration que Frank appelle la coordination des données et des propositions tautologiques et que Meyerson désigne sous le nom de conceptualisation identificatrice. Or, cette première élaboration introduit déjà un certain lien de nécessité entre la cause et l'effet, lien encore faible mais existant, sous la forme d'une équivalence entre les deux membres de l'équation qui exprime la loi. Seulement, dans la mesure où c'est l'expérience qui fournit les données rendues ainsi équivalentes par un début de déduction, un rapport légal isolé n'est encore qu'incomplètement nécessaire. D'où la seconde étape, au cours de laquelle la cause se différencie de la loi à titre de système distinct de ses éléments : si une loi à elle seule n'est pas nécessaire, puisqu'elle résulte simplement d'une élaboration de constatations plus ou moins régulières, par contre la coordination déductive de deux ou plusieurs lois entre elles introduit un élément de plus dans la direction de la nécessité logique ou mathématique. Or, c'est précisément ce caractère nécessaire d'un ensemble de rapports légaux qui répond au besoin d'explication. Mais, en quoi consiste-t-il ? A supposer que la déduction généralisatrice revienne simplement, comme le veut Aug. Comte, à emboîter des lois spéciales dans des lois plus générales, et encore avec cette limitation que le général s'arrête aux frontières des domaines qualitatifs hétérogènes, on n'ajoute pas grand'chose à la pure légalité initiale : on gagne en « économie », comme l'a dit Mach par la suite, et en simplicité, etc., mais la nécessité demeure suspendue à la contingence spécifique du contenu des

lois les plus « générales ». Si, par contre, la déduction consiste essentiellement en identification, comme le veulent à la fois Meyerson et Frank (représentations imagées à part), on gagne ceci que la généralisation elle-même repose alors sur un lien intrinsèque de nécessité, assuré non plus par un simple emboîtement incomplet, mais par la suite des identités entre les membres des équations successives. Seulement ici réapparaît l'alternative : ou l'élément conçu comme identique est de caractère représentatif, c'est-à-dire qu'il constitue une « chose » imaginée comme transcendant les rapports logico-mathématiques permettant de la définir, et alors nous retombons dans les difficultés du schéma imagé qui symbolise (et même souvent trompeusement), mais ne constitue pas la connaissance exclusivement faite de rapports ; ou bien l'identité reste formelle et se borne à égaler les unes aux autres les grandeurs intervenant dans les rapports légaux ; mais, en ce dernier cas, la nécessité est à situer toute entière du côté du sujet, et l'objet lui échappe dans la mesure où il est divers, à moins d'être transformé en un « schéma » logique et mathématique (Frank) ou en une « hypostase » (Meyerson), c'est-à-dire dans les deux cas à une projection du sujet dans le réel.

Mais la question est de savoir si, comme le soutiennent Meyerson et Frank, la déduction est nécessairement identification. Chez Frank cette affirmation aboutit à la difficulté inextricable que la causalité constitue à la fois un schème tautologique et le moteur de toute la recherche expérimentale ! Chez Meyerson elle aboutit à cette autre difficulté non moins inextricable (parce qu'elle est la même, traduite en une forme différente) que la causalité explique exclusivement ce qui, dans l'effet, demeure identique à la cause : l'élément de nouveauté — qui pourtant constitue précisément le problème lui-même, du point de vue de l'explication causale ! — demeure alors nécessairement inexplicé en fait et inexplicable en droit...

Avant d'admettre de pareils résultats et de conclure que la raison humaine est à jamais entachée d'impuissance, il convient sans doute de se demander pour quelles raisons le positivisme de Frank et l'anti-positivisme de Meyerson ont négligé l'existence des opérations et le caractère de composition constructive de la déduction opératoire. Or, l'explication commune est que ces deux auteurs ont été l'un et l'autre empêchés de suivre cette voie par leur réalisme, bien que ce réalisme ne soit pas de même sorte : le réalisme logistique de Frank le condamne, en effet, à nier la réalité des opérations, de la

même manière que le réalisme ontologique ou représentatif de Meyerson l'oblige à attribuer au réel lui-même ce qui est fécond dans la construction opératoire (voir chap. III § 4 et 5). La réponse commune sera donc d'en appeler à l'analyse génétique, qui dissout aussi bien le réalisme des concepts que celui des choses, au profit du développement opératoire.

De ce point de vue, tant l'importance attribuée aux schémas représentatifs que la réduction de la déduction explicative à l'identification pure se heurtent à ces objections essentielles que de tels schémas relèvent d'un niveau préopératoire ou symbolisent de simples opérations concrètes, et que l'identité constitue l'un seulement des éléments des transformations opératoires : celui qui est défini par les « opérations identiques » en opposition avec le reste de la composition elle-même. Or, la causalité ne saurait « expliquer » qu'en se fondant sur la composition opératoire entière, seule apte à fournir la raison des variations autant que des invariants en les rendant tous deux nécessaires les uns en fonction des autres. Mettant en correspondance les modifications de la réalité temporelle, fournie par l'expérience malgré une indétermination plus ou moins appréciable, avec les transformations intervenant dans les systèmes opératoires qui caractérisent la déduction comme telle, la causalité réunit alors en un seul tout la nécessité émanant de cette déduction et la succession dans le temps fournie par l'expérience : d'où le mélange *sui generis* de connexion nécessaire — dans les variations comme dans les invariants, — et d'indétermination relative, qui intervient en tout rapport causal et qui atteste l'indissociable union de l'activité opératoire du sujet et des caractères de l'objet.

§ 7. LA CAUSALITÉ SELON L. BRUNSCHVICG. — Nul n'a mieux senti que L. Brunschvicg la nécessité d'une telle union et les dangers auxquels s'expose la recherche épistémologique sitôt que ce lien est rompu en faveur de l'un de ses deux termes. Aussi sa pensée subtile a-t-elle connu cette disgrâce, ou ce privilège, d'être interprétée selon les cadres les plus contradictoires. Classé tour à tour parmi les positivistes (par D. Parodi) ou les idéalistes, les hyperrationalistes ou les irrationalistes, selon que l'on découvre en lui son respect du fait expérimental ou son aversion pour le substantialisme, son mathématisme ou son refus de tout panlogisme, il est heureusement inclassable, parce qu'il incarne essentiellement la méthode historico-critique, apte à suivre les étapes de tous les dévelop-

pements, et s'identifiant avec chacune d'entre elles pour dessiner ensuite la courbe d'ensemble sans en oublier les méandres.

Pour, saisir ce qu'est la causalité physique¹, Brunshvicg en retrace, en effet, simplement l'histoire. On lui a parfois fait grief de ne définir à cet égard ni ce qu'est la réalité, ni ce qu'est la raison, ni même ce qu'est la causalité : mais c'est justement contre la prétention d'une formule fixe qu'est dirigée toute l'œuvre de son relativisme critique. Il n'existe pas une réalité, une raison, une causalité, dans lesquelles on puisse s'installer comme si elles étaient indépendantes du devenir intellectuel. Ces termes varient, au contraire, à chaque étape nouvelle, et, pour atteindre la structure de leurs relations réciproques, il faut précisément passer par un biais : l'étude des formes d'équilibre momentanées qui n'ont cessé ni ne cessent de se succéder au cours d'une histoire ininterrompue.

Position instable, comme on le voit, et qui oscille entre les deux écueils du dogmatisme de l'expérience pure et de celui d'une raison pure. Aussi Brunshvicg commence-t-il par écarter l'illusion empiriste, selon laquelle la causalité pourrait être révélée par une expérience plongeant directement dans une réalité déjà toute constituée : « l'univers de l'expérience immédiate ne contient pas *plus* que ce qui était requis par la science, mais *moins* » (p. 73). Mais il n'existe pas non plus de notion *a priori* de la causalité : la causalité kantienne demeure une forme vide, tant que l'intuition empirique ne lui fournit pas de contenu, et l'histoire montre combien les rapports entre le contenu et la forme se retrouvent indissociables lors de chaque exploration d'un nouveau domaine expérimental.

La conclusion de la vaste enquête historique de Brunshvicg peut se résumer comme suit. L'espace ne saurait être posé à titre d'objet d'intuition ni dans les choses, ni avant les choses : il résulte d'une activité coordinatrice telle que de concevoir l'espace et de le meubler constituent un seul et même acte. D'autre part, « il n'y a pas de temps avant les événements : l'existence du temps n'est autre que sa contexture, fondée sur les relations causales que la pensée établit entre les événements » (p. 512). Mais, à leur tour, les lois causales s'appuient sur le temps et sur l'espace, en ce sens qu'il est impossible de les hypostasier, de les concevoir indépendamment de leur application à tel cas particulier et à tel moment déterminé. Il y a un *hic* et un *nunc* en dehors desquels l'activité intellectuelle perd toute attache avec le réel : le déterminisme est en devenir, et n'a de réalité que grâce aux rectifications indéfiniment nouvelles qui nous permettent de construire le système des re-

¹ *L'expérience humaine et la causalité physique*, Paris (Alcan), 1922, XVI-625 p.

lations causales. De telle sorte qu'aucune formule ne saura rendre compte définitivement de la causalité, sous peine d'isoler la cause de la conséquence et d'en faire une force inintelligible ; la seule expression adéquate du rapport causal consiste à dire : il y a un Univers, au sens des relativistes, c'est-à-dire une totalité telle que le cadre spatio-temporel et le contenu dynamique constituent un seul et même système.

Bref, l'essence du relativisme brunsvicgien est de se refuser à isoler une forme en soi et une matière en soi, un mesurant et un mesuré. Sous les divers aspects de la causalité se retrouve assurément « la connexion fondamentale, indiquée par Kant, entre la détermination d'une constante, propre à mettre la variation en relief, et cette variation elle-même telle qu'elle sera révélée par l'expérience » (p. 556). Mais Kant cherchait à fixer cette dualité dans un dualisme de schémas indépendants : la matière permanente, d'une part, le temps irréversible, de l'autre, tandis que l'invariant et la variation sont constamment relatifs l'un à l'autre ; c'est le cas, p. ex., dans la réciprocity entre les deux principes de la thermodynamique, l'un de conservation et l'autre d'évolution, qui sont impossibles à dissocier l'un de l'autre sans retomber simultanément dans l'apriorisme de l'identité et l'ontologie du divers temporel. Ainsi s'évanouissent les pseudo-problèmes que crée notre tendance presque invincible à isoler les concepts et à les réaliser dans l'absolu : aux antinomies qu'engendre la philosophie de la représentation, le relativisme critique oppose le dynamisme intellectuel, qui est libérateur par la manière même dont il renouvelle constamment les questions.

Mais, si salutaire que soit une telle méthode d'analyse et d'interprétation, qui définit la causalité par sa seule évolution au cours de l'histoire de la pensée scientifique, deux sortes de problèmes se posent nécessairement dans la perspective même du déroulement génétique.

La première de ces questions est celle des divers plans de réalité, tels qu'ils s'imposent, non pas à une réflexion philosophique étrangère à la recherche génétique, mais à la comparaison des différentes attitudes propres aux sciences particulières en leurs développements respectifs. La causalité physique, conclut en somme L. Brunsvicg, c'est l'histoire de la causalité physique, ce qui revient à souligner avec force combien la réalité extérieure, telle qu'elle est conçue par le physicien est constamment relative aux opérations effectives et mentales du sujet. C'est ce qu'on a appelé l'idéalisme brunsvicgien et ce qui correspond effectivement à l'une des tendances permanentes de la physique mathématique. Mais Brunsvicg nous

dit aussi que l'histoire de l'Égypte n'est qu'une histoire au second degré, qui dépend de l'histoire de l'égyptologie et que l'histoire de la Terre elle-même repose sur l'histoire de la géologie (p. 520). D'où l'on pourrait continuer à tirer, par voie de conséquence : l'histoire des espèces animales, c'est l'histoire de la biologie et l'histoire du développement mental, c'est l'histoire de la psychologie. Mais, quelque vérité partielle qu'il y ait en de telles relativisations, on voit assez les difficultés proprement génétiques qu'elles soulèvent quant à l'interprétation des relations entre le sujet et l'objet ainsi que du devenir intellectuel lui-même.

Sans vouloir jouer au jeu dangereux, et combien anti-brunschvicgien, de l'emboîtement des « types » formels, il y a d'abord le risque d'une régression à l'infini, car l'histoire de l'égyptologie, ce peut être l'histoire des historiens de l'égyptologie, etc., etc. Mais il y a plus : si l'histoire des sciences se réduit à son tour à l'histoire des historiens de la science, etc., alors Léon Brunschvicg lui-même, en tant que sujet admirablement actif en son histoire de la causalité physique, devient objet de connaissance, et non plus sujet, pour l'historien des histoires de la physique, et un objet dont on se plaît à espérer qu'il demeurera malgré tout en partie indépendant des sujets pensants qui méditeront sur lui. Or, ce fait à lui seul montre l'existence d'un cercle. Jusqu'où s'étend-il alors ? L'histoire de l'égyptologie et l'histoire de la géologie risquent de l'agrandir beaucoup, car l'historien de l'Égypte croit à l'existence de l'Égypte ancienne, et l'historien de la Terre croit à celle des périodes paléozoïques selon un tout autre réalisme, et beaucoup plus robuste, que celui du physicien aux prises avec un phénomène dont il aperçoit sans cesse la relativité partielle par rapport à ses techniques expérimentales et à ses schémas mathématiques.

La difficulté est donc la suivante : c'est que la méthode historico-critique de Brunschvicg prend pour point de départ du développement de la pensée ses plus anciennes manifestations historiques connues, mais sans remonter plus haut ; or, ce plus haut, c'est précisément la pensée des anciens Egyptiens (bien avant le scribe Ahmès), c'est celle des Sociétés inconnues mais réelles qui les ont précédés, c'est celle de l'homme fossile, et finalement c'est l'intelligence animale elle-même, ainsi que le comportement de tous les êtres vivants (jusqu'au paléozoïque des historiens de la Terre). Toutes ces formes d'intelligence sont effectivement à placer dans la catégorie « sujet »,

ou plutôt « histoire du développement du sujet » et non pas seulement « objet ». Ce plus haut, c'est également l'intelligence enfantine, à laquelle L. Brunshvicg a d'ailleurs souvent eu recours, ayant parfaitement admis que la méthode historico-critique se prolonge nécessairement en méthode psychogénétique ; mais c'est par conséquent aussi le développement sensori-moteur et le problème de la maturation organique ainsi que de l'adaptation biologique héréditaire.

Pour le dire en un mot, ce qui manque à l'épistémologie de Brunshvicg, c'est donc une étude de la connaissance biologique, car c'est sur ce terrain que l'idéalisme, déjà un peu trop poussé dans l'interprétation qu'il a donnée de la pensée physique, se trouve aux prises avec un réalisme forcé : l'organisme vivant est à la fois le point de départ de l'activité psychologique du sujet, donc de la connaissance elle-même, et un objet pour la biologie, objet beaucoup plus indépendant même de l'esprit du biologiste que l'objet physique ne l'est de l'esprit du physicien. C'est du moins ce que nous chercherons à montrer (aux chap. IX et X).

Cela étant, il est donc bien difficile de déployer tout le réel sur un seul et même plan, celui de l'idéalisme mathématique, et le cercle des sciences (auquel aboutit la régression à l'infini signalée à l'instant) nous oblige à une formule plus complexe : les mathématiques et la physique assimilent le réel aux opérations du sujet tandis que la biologie et la psycho-sociologie expliquent ces opérations par les rapports de l'organisme avec ce réel lui-même. Il n'y a d'ailleurs là aucune raison pour s'écarter de la méthode de Brunshvicg : au contraire, c'est toujours l'analyse du développement, aussi bien dans l'histoire des diverses formes de pensée scientifique que dans l'évolution psychologique et biologique, qui nous fournira le secret de la construction des différents aspects de la raison. Mais ce développement n'est nullement linéaire et son interprétation est plus délicate encore que ne pouvaient le laisser espérer les subtiles études de Brunshvicg.

Un second problème se pose alors. Si le cercle inéluctable du sujet et de l'objet nous empêche de les séparer et nous oblige à nous en tenir à leurs seuls rapports par l'intermédiaire du développement historique ou psychologique de cette interaction elle-même, faut-il concevoir ce développement, à la manière de Brunshvicg, comme une suite libre et sans direction, ou existe-

¹ L. BRUNSHVICG, *Les âges de l'intelligence*, Paris (P. U. F.).

t-il des lois d'évolution, une « orthogénèse » ou des vections caractérisant l'élaboration graduelle de certaines notions ou de certains ensembles limités de notions ? Nous ne parlons naturellement pas d'une direction fixée d'avance ou du dehors, ce qui impliquerait un *a priori* ou une finalité, mais d'une direction pouvant être caractérisée simplement par la marche vers une certaine forme d'équilibre. Or, c'est là, chose curieuse, un problème que Brunschvicg ne se pose pas, si grand est son souci de ne s'enfermer en aucune formule qui pourrait limiter le caractère créateur et imprévisible de l'élan intellectuel. Mais on peut se demander alors si un élan d'intelligence à évolution radicalement contingente ne risque pas de ressembler à cet élan vital, auquel Bergson s'est plu à attribuer ces mêmes propriétés de création et d'absence de direction pour bien marquer son caractère irrationnel. Sans doute, dès que l'on parle de direction, on risque d'être conduit à la détermination de normes fixes, comme la marche à l'identification. Aussi Brunschvicg avait-il répondu à l'objection que nous lui faisons jadis¹ : une orthogénèse, si l'on veut, mais à la condition de ne la déterminer jamais qu'après coup. Nous n'en demandons pas plus, et il est clair que la reconnaissance d'une marche à l'équilibre ne saurait engager que des formes d'équilibre actuellement discernables, sans préjuger de l'avenir. Seulement, comme une structure équilibrée n'est jamais entièrement répudiée par le développement ultérieur des connaissances, mais simplement située à titre de cas particulier dans des ensembles plus vastes, il reste que la recherche des lois d'équilibre demeure féconde.

A cet égard, le développement des opérations constitue un domaine privilégié, puisque le propre des opérations est de s'organiser en systèmes d'ensemble dont l'équilibre mobile paraît précisément doué de permanence relative. C'est pourquoi, sur le terrain de la causalité, nous pouvons constater que Brunschvicg lui-même fournit tous les éléments de ce que l'on pourrait appeler des lois d'évolution : élimination graduelle des facteurs subjectifs et du phénoménisme par l'expérience interprétée déductivement, et surtout orientation dans le sens d'une forme d'équilibre caractérisée par la composition opératoire des variations en fonction d'invariants permettant le calcul des transformations. Dire, avec Brunschvicg, que ni

¹ *L'expérience humaine et la causalité physique*, selon L. Brunschvicg, Journ. de Psychol., 1923.

les variations ni les invariants ne peuvent être isolés ou « réifiés », c'est précisément, semble-t-il, énoncer les exigences permanentes de lois de compositions, de plus en plus complexes, d'ailleurs, mais dont le caractère commun sera d'assurer la structure proprement opératoire de la causalité. Il reste donc à chercher l'existence de telles lois de composition en suivant le développement des opérations, ce qui ne nous ramène pas à un panlogisme statique, puisque le propre des opérations est précisément d'impliquer ce que Brunschvicg appelle le « primat du jugement », par opposition à celui des concepts ou des représentations.

§ 8. L'ÉPISTÉMOLOGIE PHYSIQUE DE G. BACHELARD. — On peut considérer l'épistémologie de Bachelard comme prolongeant celle de Brunschvicg, mais à un degré d'approximation plus poussé dans l'analyse des transformations comme telles. L'épistémologie brunschvicgienne est historico-critique : c'est dans la succession des grandes étapes de l'histoire qu'il cherche la « leçon » de la constitution du savoir. Avec Bachelard, c'est la transition même d'une étape à une autre, qui devient le problème : pour autant que l'on peut concevoir une épistémologie génétique spécialisée dans l'étude de l'accroissement comme tel des connaissances, l'œuvre de Bachelard constitue la soudure la plus intime entre l'analyse historique et la préoccupation génétique¹, par la constante précision avec laquelle il localise le problème épistémologique dans les transformations elles-mêmes.

Ce passage d'une moindre connaissance à une connaissance supérieure, sur lequel reviennent sans cesse les ouvrages de Bachelard, s'interprète selon lui en fonction de deux mécanismes fondamentaux, entre lesquelles oscillent toutes ses explications : la rectification, par approximations successives, et l'« ouverture » des théories jusque là fermées. Or, la succession des approximations rectificantes, c'est la conquête d'une objectivité croissante, cependant que l'ouverture, des systèmes antérieurement fermés, c'est l'affinement de la raison elle-même. Les deux pôles de l'épistémologie de Bachelard seront ainsi une théorie de l'objet en devenir et une théorie complémentaire du sujet en sa propre construction. Mais leur dénominateur

¹ Et cela d'autant plus que, en son récent ouvrage, *Le rationalisme appliqué* (P. U. F. 1949), il en vient à l'étude des actions et des techniques elles-mêmes.

commun restera l'idée d'« inachèvement ». « Les concepts de réalité et de vérité devaient recevoir un sens nouveau d'une philosophie de l'inexact » disait Bachelard en préfaçant son « *Essai sur la connaissance approchée* » en 1927¹. « La doctrine traditionnelle d'une raison absolue et immuable n'est qu'une philosophie. » « C'est une philosophie périmée », écrit-il en concluant sa « *Philosophie du non* » en 1945². Son œuvre entière est ainsi restée fidèle au même principe de départ : « Nous prendrons donc comme postulat de l'épistémologie l'inachèvement fondamental de la connaissance » (C. A., p. 13).

Mais, loin d'aboutir à une sorte de glorification métaphysique de l'impuissance rationnelle, comme pourraient donner à penser ces formules si elles exprimaient le déroulement de l'histoire entière, c'est au contraire essentiellement une théorie du progrès de la connaissance qu'édifie G. Bachelard en centrant ses analyses sur les phases de transition ou de restructuration qui caractérisent le passage d'une moindre vérité à une idée plus vraie. La psychologie de Bachelard est une psychologie de la victoire, et même lorsqu'il écrit « c'est en termes d'obstacles qu'il faut poser le problème de la connaissance scientifique »³, c'est pour mieux saisir le processus selon lequel les obstacles ont été vaincus.

L'« *Essai sur la Connaissance approchée* » est, en effet, l'œuvre d'un philosophe qui a pratiqué et enseigné la physique. D'où son sentiment, vif et vécu, de la connaissance en voie de constitution, par opposition à l'examen critique des théories toutes faites et détachées de l'ambiance de laboratoire dans laquelle elles ont été élaborées. D'où l'impossibilité de jamais trouver un commencement absolu à la connaissance et la nécessité de l'aborder sous l'angle de son accroissement même : « C'est à tort... qu'on confondrait le primitif et l'immédiat... nous sommes fondés à prendre la connaissance dans son courant, loin de son origine sensible, quand elle est mêlée intimement à la réflexion. C'est là seulement qu'elle a tout son sens. La source n'est qu'un point géographique, elle ne contient pas la force vive du fleuve. La connaissance en mouvement est ainsi une manière de création continue ; l'ancien explique le nouveau et l'assimile ; vice versa le nouveau affermit l'ancien et le réorganise » (C. A., p. 14-15). La connaissance est donc « rectification incessante de la pensée devant le réel » (p. 16). Dès ses formes les plus élémentaires, qui sont à chercher dans

¹ P. 8. Nous désignerons cet ouvrage par C. A.

² P. 145. Nous désignerons cet ouvrage par P. N.

³ *La formation de l'esprit scientifique*, p. 13.

l'action, toute connaissance se rattache ainsi à une connaissance antérieure, selon le mode de « l'assimilation fonctionnelle, qui est le principe le plus indiscutable de l'évolution » (p. 19). Mais l'assimilation fonctionnelle est bientôt « continuée par une assimilation intentionnelle, par un choix actif » (p. 19), principe de la constitution des concepts proprement dits. Or, dès la formation des concepts, on assiste à un processus continu de répétition, de diversification et de rectification qui exprime la nature d'approximations successives propre à la connaissance. Mais, dès ce départ moteur puis intuitif, il importe de noter que cette suite d'approximations obéit à un « principe d'ordination » (p. 29) et est solidaire de systèmes d'ensemble qui expriment l'indissociable solidarité des concepts (p. 26).

L'ordre, appliqué aux qualités, conduit ensuite à la mesure. Or, la mesure est « une description dans un langage nouveau » (p. 52) et c'est cette description qui constitue l'unique critère de l'existence physique. « Ce qu'on mesure existe et on le connaît dans la proportion où la mesure est précise. Cette double affirmation condenserait toute l'ontologie scientifique et toute l'épistémologie du physicien » (p. 52-3). « Mais la mesure, quelque description qu'elle donne, n'épuise pas le divers de l'objet » (p. 55). D'où le processus fondamental qui constitue, bien plus que la succession des théories elles-mêmes, le moteur effectif de l'accroissement des connaissances : « le problème de la mesure sous-tend en quelque sorte dans son développement l'histoire entière de la science. La précision des mesures suffit à caractériser les méthodes scientifiques d'un temps. Des théories peuvent bien renaître après une éclipse de plusieurs siècles. Au contraire une conquête dans la minutie déclassé irrémédiablement les connaissances expérimentales d'une époque. Une histoire de la connaissance approchée serait à l'histoire des systèmes scientifiques, comme l'histoire des peuples est à l'histoire des rois » (p. 69). En effet, à l'histoire des mesures se rattache la considération essentielle de la succession des « ordres de grandeurs » ou des échelles. Il en résulte que, partant de lois qui ont « leur point de départ dans des vues *a priori* » (p. 93), le physicien leur substitue la considération de « lois approchées » qu'il s'agit de rectifier dans le sens soit de la différenciation, soit de la simplification, selon une suite d'approximations toujours plus serrées et en fonction d'échelles toujours plus fines.

Cette image de la connaissance en devenir suggère alors de tout autres relations entre le sujet et l'objet que ne les supposent les schémas épistémologiques classiques. Oscillant entre la généralisation au moyen de déductions réduites à l'état de simples cadres (p. 10) et une vérification par rectifications continues, la connaissance déjoue à la fois le programme de l'idéalisme et celui du réalisme. L'idéalisme

est impuissant devant le fait de l'erreur : il ne saurait s'accommoder que de fixité et « ne connaîtra de mobilité que celle des cataclysmes » (p. 13). Le processus d'une rectification progressive échappe par sa nature à un idéalisme de cohérence statique et même de devenir subjectif, puisque qui dit approximations dit convergence vers une limite, qui est l'objet. Mais l'objet-limite, à son tour, ne saurait transcender qu'en imagination la série des démarches actives tendant à l'établir. « Si, dans l'approximationnalisme, on n'atteint pas l'« objet », foyer imaginaire de la convergence des déterminations, on définit des fonctions épistémologiques de plus en plus précises qui, à tous les niveaux peuvent se substituer à la fonction du réel, jouer le rôle de objet. En d'autres termes, l'objet reste immanent à l'idée, tout en étant placé, comme il convient, aussi loin que possible de l'idée. Une idée gardera toujours un caractère subjectif, artificiel. Mais une idée qui se rectifie donne en ses différentes déterminations un groupe organique. C'est le groupe qui reçoit le signe objectif. Autrement dit, *l'objet c'est la perspective des idées* » (p. 246).

Mais si la connaissance approchée est ainsi tout à la fois une marche vers l'objectivité et une construction due au sujet, la question qui se pose est : « comment la construction peut-elle rejoindre la structure »¹. Dès son analyse des solutions données au problème de la propagation thermique dans les solides, Bachelard cherche à « joindre tout ce qu'il y a de constructif dans la pensée rationnelle et ce qu'il y a manifestement de général, de symétrique, de répété dans les faits »². Or, la suite de son œuvre l'a conduit à insister toujours davantage sur cette fécondité illimitée de la raison, au risque parfois de paraître s'orienter vers un simple idéalisme de la construction. Mais, si l'on n'oublie pas le réalisme critique de la « Connaissance approchée », l'idéalisme critique de la « Philosophie du non » en constitue assurément le complément indispensable.

Le « nouvel esprit scientifique » qui caractérise, selon G. Bachelard, les mathématiques et la physique modernes diffère, en effet, autant du rationalisme dogmatique, du point de vue de la construction intellectuelle, que les approximations successives propres à la méthode expérimentale s'écartent du réalisme empiriste, du point de vue de l'adéquation à l'objet. « Pour le rationalisme scientifique, l'application n'est pas une défaite, un

¹ *Etude sur l'évolution d'un problème de physique*, Vrin (1927), p. 169.

² *Ibid.*, p. 174.

compromis. Il veut s'appliquer, s'il s'applique mal, il se modifie. Il ne renie pas pour cela ses principes, il les dialectise. Finalement la philosophie de la physique est peut-être la seule philosophie qui s'applique en déterminant un dépassement de ses principes. Bref, elle est la seule *philosophie ouverte*. Toute autre philosophie pose ses principes comme intangibles, ses premières vérités comme totales et achevées. Toute autre philosophie se fait gloire de sa *fermeture* » (P. N., p. 7).

Or, l'essentiel de cette dialectisation qui « ouvre » sans cesse les systèmes clos en présence d'une contradiction apparente, consiste, pour une propriété ou une proposition A, imposés par des principes antérieurs, à considérer la découverte d'un non-A comme constituant, non pas une contradiction par rapport à A, mais une extension complémentaire telle que A et non-A puissent devenir compatibles en une nouvelle totalité B par révision des postulats impliquant la nécessité de A. Par exemple si A est la masse définie par la mécanique classique, et que non-A soient les formes non constantes de la masse relativiste et surtout la « masse négative » de Dirac dans la théorie des *spin*, la « philosophie du non » ne considérera pas ces extensions de la masse comme contradictoires avec l'idée de masse : de même que les géométries non-euclidiennes (exemple classique de philosophie du « non » !) ne contredisent pas l'euclidienne, mais conduisent simplement à une révision des concepts de distance et d'angle, de même les masses non-constantes ou négatives aboutissent à un élargissement fécond de l'idée de masse. « On arrive donc à ce paradoxe métaphysique : l'élément est complexe. Corrélativement, on s'aperçoit que l'idée de masse n'est simple qu'en première approximation » (P. N., p. 31). D'où un « profil épistémologique » des idées de la masse, selon ses diverses interprétations compatibles avec les épistémologies courantes (p. 43), comme on compose ou décompose le profil psychologique d'un individu, en fonction de ses principales opérations mentales. De même une chimie non-lavoisienne, une non-analyticité de l'espace microphysique et une logique non-aristotélécienne (c'est-à-dire non-bivalente) conduisent à retrouver le même schéma d'extension par complémentarités dans les domaines les plus divers. Mais de cette dialectisation générale ne procèdent ni chaos ni bifurcations irréductibles : ce sont de nouvelles exigences de cohérence qui assurent, en ces constructions imprévisibles du sujet comme dans les approximations successives convergeant vers l'objet, la connexion jamais rompue du présent avec le passé.

Ainsi Bachelard marque en un sens un renouvellement de la tradition brunshvicgienne tout en approfondissant l'analyse des phases de transition dans le processus historique de l'accroisse-

ment du savoir. S'il n'aborde pas de front le problème de l'évolution dirigée, il en fournit néanmoins tous les matériaux d'une solution possible. Car, à vouloir déterminer le dénominateur commun de la suite des généralisations par extension et regroupement des notions (ce qu'il appelle dialectisation de la construction), on trouverait sans peine le principe d'une équilibration progressive entre les accommodations à l'objet et l'assimilation du donné à des schèmes opératoires d'autant plus rigoureux que le « non » dont ils procèdent n'est pas l'expression de la contradiction, mais bien de la mobilité réversible propre aux opérations les plus essentielles de la raison.

§ 9. LA THÉORIE PHYSIQUE SELON G. JUVET. — Le mathématicien et astronome G. Juvet a écrit un élégant petit livre ¹ pour montrer que la théorie physique prolonge directement la pensée mathématique. Mais l'originalité de sa conception est de tendre vers un même réalisme en mathématique qu'en physique et de réunir ainsi en une totalité unique l'« objectivité intrinsèque » des mathématiques et l'objectivité extrinsèque de la physique, en les fondant toutes deux sur l'existence de « groupes » interprétés comme consubstantiels à la réalité elle-même. C'est pourquoi, indépendamment de son platonisme, cette doctrine est intéressante du point de vue de l'analyse de la causalité conçue à titre de mécanisme opératoire.

« Le travail de l'esprit est considérable dans la construction de la science, dit Juvet au terme d'une étude sur la mesure du temps ; on pourrait soutenir, on a soutenu que le temps est son invention, sa création ; mais alors, il ne faut pas oublier que l'esprit s'est discrètement retiré de la scène, au moment où le temps s'éliminait dans les confrontations et dans les prédictions. L'ordre plus ou moins parfait que l'esprit trouve dans la nature, on pourrait croire que c'est un reflet de son activité, et pourtant cet ordre persiste quand l'esprit, d'acteur qu'il était, devient spectateur » (p. 26). Mais ce problème des rapports entre l'ordre rationnel et l'ordre naturel ne saurait être résolu par l'analyse de la pensée physique elle-même. A propos de la théorie de la relativité, Juvet dit p. ex. : « La physique, par ses méthodes, est impuissante à mener cette enquête, comme elle a été impuissante, quoiqu'en prétendissent les énergétistes, à se développer, à se construire par ses méthodes propres et ses seuls moyens... Or, s'il est vrai que la mathématique, en se refermant sur elle-même, entoure les arts

¹ *La structure des nouvelles théories physiques*, Alcan (1933).

les plus nobles, la métaphysique la plus sublime, et par là les explique, elle permettra de juger les théories de la physique, et par la critique qu'elle fera des notions géométriques sur lesquelles elles se fondent, elle expliquera vraiment la raison des accords de la spéculation avec l'expérience » (p. 54).

Quel est donc le résultat de cette critique géométrique ? Juvet accepte (p. 6) une partie des conclusions de F. Gonseth, à savoir que l'axiomatique se réfère toujours à une connaissance réelle correspondante. Mais il diffère de Gonseth en ce que cette connaissance réelle ne lui paraît pas provenir de l'expérience : elle procède d'une structure que nous découvrons en nous sans pour autant la créer et que nous retrouvons dans les choses, sans pour autant l'en extraire : sorte d'Idées platoniciennes, cette structure ne consiste cependant pas en concepts ni en universaux, mais en « groupes » : « L'esprit ne crée pas les faits mathématiques, il les subit ; la recherche fructueuse n'est pas une invention, c'est une découverte ; la connaissance qui peut être intuitive n'est assurée que lorsque l'esprit a éprouvé la *rigueur* des propriétés du groupe, de même que la connaissance des faits physiques n'est possible que lorsque le chercheur a eu *l'expérience* des choses » (p. 176). Quant à cette rigueur du groupe, elle « vient des êtres mathématiques eux-mêmes, elle n'est pas une exigence de l'esprit. Poincaré disait : « L'existence d'un être mathématique provient de ce qu'il n'implique pas contradiction » ; nous dirions plutôt qu'un être mathématique n'implique pas contradiction précisément parce qu'il est, parce qu'il existe » (p. 176). De ce point de vue, « l'axiomatique d'une géométrie ne sera complète que si elle est vraiment la représentation exacte d'un groupe ; tant qu'on n'a pas trouvé le groupe qui la fonde en raison, elle est incomplète ou peut-être déjà contradictoire » (p. 169).

Cela dit, en quoi consiste la connaissance physique ? Le positivisme, pense Juvet, n'est qu'un subjectivisme, dont la conséquence naturelle est de tourner à l'anthropomorphisme (p. 84). De même l'interaction du sujet et de l'objet en microphysique lui paraît un mythe « et il ne faudrait pas la solliciter trop pour en faire la base d'un subjectivisme impuissant ou d'un scepticisme radical » (p. 138) : si l'observateur déforme le fait, répond à cet égard Juvet, le produit des erreurs sur deux variables conjuguées est cependant un invariant ! Faut-il alors recourir aux images représentatives ? Certainement pas : « de même qu'on ne joue pas aux échecs avec son cœur, de même ne doit-on pas faire de la physique avec son imagination ! ». Cependant, à défaut d'images, la physique atteint des représentations adéquates, telle la mécanique relativiste : « on ne saurait prétendre, parce qu'elle ne peut « voir » dans l'espace de Minkowski, qu'elle ne sert pas à donner une représentation, une vraie image... parfaitement saisissable par l'intel-

ligence » (p. 104). Mais la théorie physique est alors une représentation de quoi ? Elle ne l'est plus des « choses » : « la science n'atteint pas des *choses* ; l'analyse des phénomènes est infiniment plus subtile » (p. 141) : « la géométrisation de la physique semble faire place à une mathématisation plus formelle et plus symbolique ; les nouvelles théories sur la matière et l'énergie, les mécaniques ondulatoire et quantique font passer la primauté, réservée jusque là à l'espace-temps, à un symbolisme algébrique qui ne diffère peut-être pas d'ailleurs, dans son essence mathématique, de la figuration géométrique, puisque l'algèbre et la géométrie procèdent toutes deux de la théorie des groupes » (p. 5).

Là est donc le nœud de la question. La relativité généralisée p. ex. a atteint le réel grâce à la notion de groupe : « Ce n'est pas seulement par une meilleure approximation qu'elle entraîne l'admiration, c'est... parce qu'elle semble exprimer la parfaite adéquation de notre esprit à la réalité »... « Par delà les apparences que les sens perçoivent, le physicien a trouvé l'unité et la permanence ; après une longue enquête il a reconnu que cette unité, cette permanence s'expriment et se comprennent par la notion de groupe » (p. 59). De même, l'idée de groupe est appliquée par Dirac à la microphysique, où les opérateurs liés aux transformations d'un groupe servent à représenter les grandeurs observées. En particulier le groupe des permutations sert à expliquer le principe d'exclusion de Pauli : ainsi « à la fine pointe de la nouvelle mécanique, on retrouve la théorie des groupes et son magnifique impérialisme » (p. 152). Bref « l'esprit a su trouver, peut-être par d'heureux hasard, des groupes de plus en plus riches pour reconstruire pour lui, toujours plus fastueusement, la réalité que les sens lui font connaître. *La structure de la réalité physique est identique à celle de ces groupes* [c'est nous qui soulignons], ce qui veut dire que la description axiomatique de la physique, dont les liens avec l'expérience sont si forts que notre première analyse n'a pu les trancher, est une représentation de certains groupes. Les progrès de la physique se mesurent à la précision des approximations numériques, à l'étendue du pouvoir que l'homme possède sur les choses, c'est vrai, mais ils se mesurent surtout à la fidélité des groupes sur lesquels les théories se fondent » (p. 172).

D'où les conclusions épistémologiques de Juvet : « Le roc que l'esprit a trouvé pour fonder ses constructions, c'est encore le groupe, qui semble bien être l'archétype même des êtres mathématiques. C'est cette identité, devinée avant d'être reconnue, de l'essence des mathématiques et de l'essence de la physique, qui a égaré les idéalistes, pour lesquels cette essence est dans l'esprit, parce qu'elle y préexiste avant toute démarche mathématique, et les empiristes, pour lesquels toute science ne pro-

cède que des empreintes que le monde extérieur fait subir aux organes des sens » (p. 60). Les groupes existent donc à la fois dans l'esprit et dans le monde extérieur : l'« activité mathématique, c'est précisément l'effort de l'esprit pour connaître à la fois sa propre structure et celle du monde extérieur. Poincaré disait : « L'idée de groupe préexiste dans notre esprit », oui, car notre esprit ne pense qu'avec elle ; mais les groupes existent aussi dans l'univers physique, et celui-là est un savant génial qui sait les y découvrir » (p. 174) ; « les choses disparaissent dans les théories physiques élaborées ; la réalité physique participe des groupes, c'est-à-dire de la réalité mathématique... Mais, si la matière est nombre, comme disaient les pythagoriciens, nous pouvons croire que tous les êtres mathématiques n'ont pas nécessairement un mode d'exister dans la réalité physique. Sans préciser davantage notre pensée, nous dirons que le monde physique n'est qu'un reflet ou une section du monde mathématique » (p. 176). Et enfin : « Si les groupes sont les archétypes des êtres mathématiques, leur structure exprime leur essence, et les diverses représentations qu'on en connaît, les systèmes de logique, les théories analytiques, les géométries, les synthèses physiques sont leurs divers modes d'existence : leur efficacité est reconnue par l'intuition intellectuelle, grâce à laquelle l'esprit saisit la structure de ces représentations et l'identifie avec la science propre » (p. 176-7).

L'intérêt de cette doctrine ne tient pas seulement à sa valeur intrinsèque, mais à son histoire. Parti d'un réalisme matérialiste, pour lequel les mathématiques étaient simplement l'« image » (au sens de Le Dantec) de certains aspects de la réalité physique, Juvet a reconnu ensuite, grâce à Duhem, le rôle nécessaire de la représentation mathématique dans l'interprétation même du réel, puis abandonnant le positivisme de Duhem sous l'influence de la théorie de la relativité, il en est arrivé à inverser son réalisme initial jusqu'à faire du monde physique une « section » de celui des êtres mathématiques. On dira que c'est là une simple métaphysique de mathématicien, sans conséquence pour l'épistémologie de la physique. Mais il faut distinguer deux aspects dans la théorie de Juvet. Il y a certes l'aspect métaphysique ou « réaliste », mais il est facile à dissocier de l'autre, qui est simplement épistémologique : en effet, dire que le monde physique est une section du monde des êtres mathématiques peut se traduire par cette proposition évidente que le réel (expérimental) n'est qu'une partie du possible (déductible). Laissons donc là l'aspect métaphysique de la doctrine et examinons sa portée épistémologique.

Du point de vue de l'épistémologie mathématique, le grand intérêt de la théorie de Juvet est de considérer la notion de « groupe » comme constituant à la fois le seul critère réel de non-contradiction et la structure fondamentale par laquelle l'objectivité mathématique s'impose à l'esprit. Ce n'est donc pas du dehors, par l'expérience, mais du dedans, par le mécanisme des coordinations opératoires, que le sujet découvre les rapports mathématiques. Mais, à cette généralisation des idées de Poincaré, Juvet ajoute, à cause de son réalisme même, une prise de position très suggestive sur le terrain de l'épistémologie physique : les groupes constitueraient non seulement la structure de l'esprit, mais celle de la réalité physique.

Sans doute, les êtres physiques ne sont pas des « choses », nous dit Juvet, mais des systèmes de rapports sans substrat représentable ou « imaginable ». Si l'on veut maintenir un réalisme anti-positiviste, comme Juvet, ou simplement si l'on veut respecter l'originalité des rapports physiques, qui sont d'être enregistrables par l'expérience, et non pas seulement d'être déductibles, en quoi consiste alors le « groupe » à titre de fait physique ? Examinons le plus simple des groupes susceptibles d'être considéré comme physique : celui des déplacements, à une certaine échelle euclidienne des mobiles macroscopiques, c'est-à-dire sans intervention de grandes vitesses. Nous comprenons bien en ce cas la signification physique de la composition de deux opérations directes (le produit de deux mouvements est encore un mouvement) et de l'associativité des mouvements $a + (b + c) = (a + b) + c$. Mais que signifie physiquement l'opération identique ou absence de déplacement alors qu'il n'existe pas de repos absolu ? Et surtout que signifie l'opération inverse, alors qu'aucun mouvement physique n'est rigoureusement réversible ? Il est clair que de telles opérations supposent le choix d'un système de référence et une abstraction consistant à changer les signes des équations sans tenir compte de toutes les conditions physiques qui s'opposeraient dans la réalité à un tel changement. Quand des structures de groupe interviennent en physique, c'est donc que la déduction mathématique ajoute quelque chose au réel observé : elle y ajoute un cadre et des rapports nouveaux ; elle y ajoute surtout la considération du possible, telle que l'état présent puisse être relié aux états passés et futurs, tous deux physiquement irréels. Mais plus encore que tous les autres systèmes de relations mathématiques, la structure de groupe appliquée au réel soulève des difficultés insurmontables du point de vue

du réalisme, parce que c'est une structure de transformations ou d'opérations pures, et non pas de relations toutes construites. A vouloir la « réaliser » dans le monde physique lui-même, on est alors obligé, comme le démontre précisément l'exemple de la doctrine de Juvet, de dissoudre le réel physique au sein d'un monde plus large d'êtres mathématiques, dont le premier ne peut être qu'une « section » !

La question qui se pose alors est de savoir si le réalisme n'est pas plus intéressant à titre de fait psychologique, c'est-à-dire de projection des structures opératoires dans la réalité, qu'à titre de philosophie physique. Le succès physique de la notion de groupe nous enseigne que l'on ne saurait penser, ni même constater, le fait expérimental *donné* sans le situer dans un système de transformations *possibles*, lesquelles en tant que possibles s'appuient nécessairement sur une déduction, et non pas sur une lecture, ou du moins sur une coordination d'actions virtuelles et non pas seulement sur une succession de phénomènes observables. Il y a alors deux manières de concevoir l'application des groupes mathématiques à la réalité. Il y a la manière positiviste, ou, comme dit Juvet, « subjectiviste » : elle consiste à situer le groupe dans l'esprit, ou selon les néo-positivistes, dans le langage du physicien qui décrit le réel. En ce cas le groupe ne présente qu'un rapport indirect avec les réalités qu'il servirait à formuler. Mais il y a une seconde manière, et celle-ci paraît correspondre davantage aux processus actuels de la pensée scientifique : c'est d'interpréter les transformations des objets, révélés par l'expérimentation, comme étant des opérations de groupe, même si cette assimilation du donné à l'opérateur suppose l'intervention d'éléments qui, telles l'identité et la réversibilité, ne peuvent être considérés comme entièrement détachés de l'observateur et traduisent ses actions autant que les observables. Autrement dit, le propre de l'explication physique consiste à assimiler le réel aux opérations mathématiques, non pas simplement dans le sens d'une traduction du donné externe en schèmes intérieurs, mais en concevant le réel lui-même comme le siège de quasi-opérations construites sur le modèle des opérations du sujet : les modifications du réel seraient ainsi considérées ni plus ni moins comme des transformations proprement opératoires. C'est ce qui est surtout visible dans les domaines de la relativité et de la microphysique, invoqués par Juvet comme relevant de la notion de groupe. Mais, comme nous allons y insister maintenant, ce processus est général et est susceptible de donner lieu

à une interprétation de la causalité entière : celle-ci commence, sous ses formes anthropomorphiques, par n'être qu'une assimilation analogique du réel aux actions du sujet, mais elle en vient, sous l'influence de la coordination des actions en opérations, à constituer une assimilation aux opérations elles-mêmes. C'est d'ailleurs ce que, sauf les empiristes, chacun admet sous une forme ou une autre, depuis Descartes et Kant, lorsque l'on définit la causalité comme une analogie de la déduction appliquée à l'expérience.

§ 10. CONCLUSIONS : CAUSALITÉ ET RÉALITÉS PHYSIQUES.

— Le point de départ de la connaissance est constitué par les actions du sujet sur le réel. On ne peut, en effet, même pas parler d'objets, pas plus d'ailleurs que de sujet conscient de sa qualité de sujet, avant l'organisation des actions élémentaires, puisque la réalité, d'abord entièrement indifférenciée en ce qui concerne les pôles interne et externe, n'est ensuite découpée en objets permanents que grâce à la coordination des actions sensori-motrices selon des lois de retour et de détour.

Or, parmi ces actions que le sujet exerce sur les objets, il en est d'abord qui les laissent invariants à titre d'objets et ne les modifient donc pas en eux-mêmes, mais se bornent à les réunir ¹ ou à les sérier sous forme de classes, de relations ou de nombres. Ces actions, qui ne modifient pas l'objet, ni ne le constituent en tant qu'objet, peuvent en outre se coordonner entre elles d'une manière qui ne lui emprunte rien. Elles ne requièrent par conséquent d'autre expérience, à leur source, que cette sorte d'expérience faite par le sujet sur ses propres actes au moyen d'objets quelconques (p. ex. lorsque l'enfant découvre qu'en comptant trois objets dans l'ordre CBA il trouve le même nombre que dans l'ordre ABC, ou lorsque le mathématicien découvre empiriquement qu'un nombre est premier, sans parvenir encore à démontrer pourquoi). N'extrayant aucun caractère particulier des objets comme tels, la coordination de ces actions revient à les grouper entre elles sous forme d'opérations logico-arithmétiques, et les déductions qui résultent de cette organisation des opérations caractérisent ce que nous pouvons appeler la fonction implicatrice de la pensée.

Il existe, par contre, des actions exercées par le sujet sur l'objet,

¹ On dira que réunir est un mouvement imprimé à l'objet, mais l'action de réunir fait abstraction des positions et des figures spatiales, tandis que déplacer, même en pensée, c'est transformer l'objet total constitué par le mobile et son système de référence.

qui le modifient sous forme de décompositions et de recompositions, telles que de le sectionner, lui imprimer un mouvement ¹, le peser ², le heurter contre un autre, etc. Ces actions qui modifient les objets, sont coordonnées entre elles d'une manière qui selon les cas leur emprunte ou ne leur emprunte pas certains caractères. Lorsqu'elles extraient d'eux certaines qualités, la connaissance qui en résulte est dite physique et les opérations engendrées par leur organisation constituent les opérations spatio-temporelles ou physiques, qui déterminent quatre sortes de notions interdépendantes : l'espace et l'objet comme tel (matière), le temps et la causalité. Cet ensemble opératoire peut être appelé fonction explicatrice de la pensée.

L'espace occupe à cet égard une situation spéciale, pouvant être, soit physique et mathématique à la fois, soit uniquement mathématique, selon qu'il intéresse simultanément l'objet et l'action, ou l'action en ses coordinations seules. Le sujet peut, en effet, déplacer, sectionner, etc. un objet, mais l'objet peut se déplacer, être sectionné, etc. indépendamment du sujet. Cette dualité n'existe pas dans le cas des opérations logico-arithmétiques, parce que la réunion spontanée de quelques objets ne constitue ni une classe ni un nombre indépendamment du sujet, mais seulement une collection physique à configuration spatiale. D'autre part, lorsque le sujet place ou déplace un objet, le sectionne ou le recompose, etc., la structure de ses actions n'est pas la même que lorsqu'il lui imprime une vitesse, ou le brûle, etc. Dans le premier cas, en effet, le sujet tout en modifiant l'objet et en exerçant ainsi une action physique sur ses qualités d'espace physique, n'accomplit que des actions générales consistant en coordinations exactement isomorphes à celles qui engendrent les opérations logico-arithmétiques, sauf qu'elles s'appliquent à la composition interne de l'objet et non à celle des collections ou des séries : en ce cas les opérations spatiales n'empruntent pas leurs caractères à l'objet. Dans le second cas, au contraire, c'est-à-dire lorsque l'action porte sur les qualités spéciales de l'objet, ou lorsqu'il s'agit de mouvements, sectionnements, etc., de l'objet indépendamment du sujet, l'espace réel ou physique est indissociable des autres qualités physiques (temps, masse, etc.). Cet espace

¹ Voir note 1, p. 341.

² C'est-à-dire constituer un objet total sous la forme d'un système de forces différent de celui dans lequel était antérieurement engagé l'objet individuel à peser.

expérimental porte, comme l'espace mathématique, sur les formes, emplacements, etc. mais le contenant est alors inséparable de son contenu, c'est-à-dire des objets matériels.

Le temps, résultant de la coordination des vitesses (ou des changements d'états relativement à l'énergie) suppose par contre nécessairement l'intervention de notions abstraites de l'objet, en plus des coordinations opératoires du sujet. Les actions relatives à l'objet matériel comme tel, en sa permanence substantielle, sont naturellement dans le même cas. Quant à la causalité, c'est-à-dire au système des interactions entre objets, elle manifeste *a fortiori* une double nature, et réalise ainsi une fusion indissociable entre la déduction opératoire et les séquences expérimentales. D'une part, en effet, elle émane des actions et opérations du sujet sur les objets et constitue donc d'abord le système des opérations spatio-temporelles appliquées aux interactions entre objets : de ce premier point de vue elle tend déjà d'emblée à s'organiser en une déduction parallèle à la déduction logico-arithmétique ; et comme, en se formalisant, ces deux systèmes d'opérations se réunissent en un seul ensemble, la causalité procédant de l'action sur les objets prend la forme d'une déduction opératoire, soit géométrique, soit analytique, appliquée à l'expérience temporelle. D'autre part, la causalité n'exprime pas seulement les actions du sujet sur les objets mais aussi les actions des objets les uns sur les autres ; et, lorsque le sujet intervient dans un contexte physique à titre de cause, il se conçoit lui-même comme un objet parmi les autres, c'est-à-dire comme l'un des termes de la série causale et non pas comme extérieur à elle (p. ex. comme un sujet classant et nombrant, mais étranger aux collections qu'il construit). Comment alors ces interactions entre objets sont-elles pensées ? Tel est le problème spécifique de la causalité, c'est-à-dire précisément le problème de ce qui distingue la causalité d'une simple déduction spatiale ou algébrique-analytique.

Or, à tous les niveaux (voir § 1 et 2 de ce chap. VIII), ces interactions elles-mêmes sont conçues par assimilation analogique aux actions et opérations du sujet ; assimilation déformante et égocentrique dans le cas des formes inférieures de causalité, simplement conçues sur le modèle des actions subjectives intentionnelles (finalité), musculaires (force), etc. ; assimilation non déformante (puisque toujours mieux conciliable avec les prévisions expérimentales), dans le cas des formes supérieures, conçues par l'intermédiaire des coordinations opératoires et non plus des actions empiriques. Mais il s'agit alors

de comprendre comment cette assimilation aux opérations parvient à réduire à un système déductif les données de l'expérience, sans pour autant cesser de situer la causalité dans les choses. Dans les formes inférieures de causalité, le donné se réduit aux liaisons phénoménistes englobées dans le schéma d'assimilation égocentrique. Dans les formes supérieures le donné est constitué par l'ensemble des rapports légaux, par opposition à la déduction qui les coordonne sous forme causale, mais cette coordination parvient, nous l'avons vu (§ 6), à insérer le causal dans le légal sans sortir de celui-ci et en lui ajoutant seulement la part de nécessité qui lui manque lorsque les lois particulières sont seules en jeu.

L'action d'un objet sur un autre se reconnaît, du point de vue de la donnée expérimentale, à une double variation exprimable soit par le moyen d'une corrélation qualitative (correspondance entre deux systèmes de relations), soit par le moyen d'une fonction mathématique. Cette mise en relation logico-mathématique introduit déjà un début de nécessité, en tant que traduisant les variations en terme d'équivalences logiques ou mathématiques ; mais ces équivalences n'expliquent point encore les variations comme telles et se bornent à coordonner leurs valeurs possibles selon un mode quelconque de composition opératoire, jouant un rôle simplement descriptif parce que demeurant relatif aux procédés d'élaboration formelle du sujet lui-même. Une seconde étape peut consister à faire rentrer les lois particulières ainsi structurées en des lois plus générales, mais de formes analogues, ce qui renforce la coordination formelle du système, mais n'ajoute rien à l'explication causale. Celle-ci commence lorsque les variations mêmes pourront être interprétées à titre de causes et d'effets, en tant que devenant l'expression d'opérations, mais cette fois attribuées aux objets comme tels. Il se produit alors, entre la causalité et la déduction, une différenciation analogue à celle qui caractérise l'espace, lorsque les rapports spatiaux réels ou expérimentaux sont conçus comme des systèmes de transformations opératoires analogues à ceux que le sujet peut engendrer grâce à son activité propre : par le fait de la réussite et de l'adéquation des opérations qu'il applique au réel, le sujet ne conçoit celui-ci que par analogie à celles-là. C'est ainsi que les principes de conservation sont l'expression de groupes de transformations dont ils constituent les invariants, sur le modèle des invariants de groupes portant sur de pures grandeurs abstraites : dès la constitution des premières notions de conser-

vation chez l'enfant on voit ainsi l'invariant de quantité de matière se constituer à peu près au même niveau et selon les mêmes procédés opératoires que la conservation des ensembles logiques et numériques. La conservation se prolonge aussitôt en explications atomistiques, lesquelles dès leurs formes les plus élémentaires constituent des schèmes de composition analogues aux schèmes logico-arithmétiques et géométriques. Les explications probabilistes elles-mêmes procèdent par assimilation du hasard à des compositions combinatoires, et le caractère incomplet des combinaisons réelles par rapport aux possibles n'enlève rien à la portée du mécanisme explicatif, analogue en ce cas à ce qu'il est dans tous les autres : le mélange réel est ainsi assimilé, malgré son caractère spécifique de désordre, à ce que seraient une suite de permutations, effectuées de manière quelconque par le sujet, et n'épuisant simplement pas la totalité des opérations possibles.

Or, cette sorte de projection des opérations du sujet dans la réalité, tout en prolongeant d'une manière évidente le mécanisme des formes inférieures de causalité nées d'une attribution à l'objet des actions subjectives elles-mêmes, n'a cependant plus rien d'anthropomorphique : la coordination des opérations sous forme de groupes ou de système d'ensemble, ayant précisément pour effet de décentrer le point de vue de l'observateur et d'éliminer de son interprétation toute intervention de l'action subjective ou égocentrique, les modifications du réel sont alors réciproquement assimilables à des transformations opératoires, parce que celles-ci n'expriment plus autre chose que la connexion nécessaire entre la suite des observations possibles du sujet. La nécessité ajoutée par la coordination opératoire au réel, et qui explique ce dernier, ne consiste en rien de plus, en effet, qu'en une insertion du donné actuel dans la série réversible des états possibles, y compris le passé et le futur : il y a là simultanément une intervention nécessaire des opérations du sujet, puisque seule sa pensée est réversible et atteint tout le possible, et une adéquation de ces opérations à l'objet, sans déformation de celui-ci, puisque les états observés en fait constituent toujours un cas particulier des états déduits comme possible.

On comprend ainsi la différence entre les deux types de généralisations sur lesquels nous avons insisté précédemment (§ 2 et 3) : la généralisation simplement formelle ou par inclusion, et la généralisation par composition opératoire. Le premier de ces deux types n'est pas explicatif et se borne à élargir

le domaine des lois envisagées, parce qu'il consiste sans plus en un passage de « quelques » au « tous », mais à un « tous » dont la totalité reste réelle et comprend seulement l'ensemble des cas observés ou actuellement observables. La généralisation par composition, au contraire, en dépassant le réel par le moyen de la réversibilité, atteint tout le possible et attribue de ce fait aux rapports actuels, c'est-à-dire aux lois données, un caractère de nécessité. Prenons un exemple particulièrement simple : les rapports expliquant l'équilibre de deux poids inégaux A et B (où $B = 2A$) posés, à des distances différentes a et b du point milieu entre les deux bras d'une balance. La loi observée indique que les poids A et B seront en équilibre si les leviers a et b sont de longueurs inversement proportionnelles à ces poids : $a = 2b$. Un tel rapport, mesuré en un certain nombre de cas, peut être ensuite généralisé à tous (p. ex. si $B = 3A$ l'équilibre est atteint pour $a = 3b$, etc.). Mais cette loi n'explique encore rien parce qu'elle se borne à étendre à tous les cas la mise en relation des opérations de mesure effectuées par le sujet : il s'agit déjà, si l'on veut d'une composition de relations mais par simple inclusion logique des quelques rapports statiques donnés en un « tous » qui leur ajoute seulement une généralité réelle. L'explication commence lorsqu'au lieu de mettre en relation les poids et leurs leviers dans leurs positions statiques observables, la pensée fait intervenir les déplacements et selon toutes les combinaisons dynamiques possibles. Le déplacement d'une force constituant un travail, on constate que, les deux leviers étant toujours inclinés selon les mêmes angles (positifs ou nuls), le travail effectué pour monter B d'une hauteur h est le même que pour monter A d'une hauteur nh si $B = nA$; l'annulation de ces travaux assure alors l'équilibre. Pourquoi un tel rapport est-il explicatif ? D'abord parce qu'il porte sur les transformations du système initial, au lieu de l'envisager sous son état simplement statique : l'état d'équilibre à expliquer devient un cas particulier de tous les autres états (cela ne signifie naturellement pas que toute loi exprimant un ensemble de variations soit par cela même explicative, mais l'explication commence par l'insertion des rapports donnés dans un système de transformations composables). Ensuite, et surtout, parce que les transformations introduites embrassent tout le possible et non plus seulement les états réels. En effet, le célèbre principe des travaux virtuels auquel se réfère ici l'explication (le principe des vitesses virtuelles de Lagrange) exprime qu'un système

est en équilibre quand la somme des travaux possibles, compatibles avec les liaisons propres au système, est nulle : autrement dit, les deux poids se font en équilibre parce que tous les déplacements qu'ils pourraient effectuer (mais qu'ils n'effectuent justement pas) à partir de leur état d'équilibre s'annulent algébriquement. Dira-t-on que l'explication provient alors de l'identification entre $B \times h$ et $A \times nh$? Mais non, puisqu'une autre identification (proposition inverse entre les poids et la longueur des leviers) intervenait déjà dans la loi initiale, sans pour autant la rendre explicative. L'identité en jeu dans le principe de Lagrange (égalité de tous les travaux possibles de sens contraire) est en réalité l'opération identique (= l'annulation des travaux) du groupe considéré, et l'explication tient au groupe entier, c'est-à-dire à la coordination de l'ensemble des transformations réelles et possibles conçues comme des opérations. On voit alors à l'évidence en quoi consiste l'assimilation, propre à la causalité, des transformations objectives aux opérations du sujet : elle ne revient plus en rien à imaginer le réel sur le modèle de l'action (comme si p. ex. le « travail » en jeu était comparé au travail musculaire), mais à compléter chaque instant le réel observé actuel par l'ensemble des états antérieurs, futurs où simplement possibles (= les travaux « virtuels »), dont la totalité, impossible à réaliser en une action physique simultanée ni même à parcourir en fait de façon rigoureusement réversible, est cependant nécessaire à invoquer par reconstitution opératoire pour rendre compte de l'état d'équilibre physiquement donné. En bref, expliquer l'équilibre de la balance, c'est attribuer au réel le pouvoir que seule possède la pensée, de réunir tous les états et les changements d'états possibles selon un principe de compositions simultanées englobant à la fois les variations et les invariants : c'est cette généralisation des rapports légaux par composition opératoire qui constitue l'explication causale, parce que rendant compte des différences comme des ressemblances, ou du divers comme de l'identité.

Le processus suivi par l'explication causale consiste donc à insérer les modifications réelles dans un ensemble de transformations opératoires possibles, dont elles tirent alors leur intelligibilité en devenant des cas particuliers. Or, ce processus est loin d'être spécial à la théorie des formes d'équilibre. Il se retrouve d'abord, et cela va de soi, dans l'explication de tous les phénomènes dits réversibles, puisque ceux-ci, bien que n'étant jamais rigoureusement réversibles en fait, ne sont con-

cevables que par référence à la notion d'équilibre et que par assimilation aux opérations logico-mathématiques réversibles. Mais il y a plus, et (nous l'avons constaté sans cesse) les phénomènes irréversibles eux-mêmes, jusqu'à ceux qui évoquent avec le plus de précision — tel le principe de Carnot-Clausius — cet écoulement à sens unique propre à la durée et à la dimension temporelle de la causalité (antériorité de la cause par rapport à l'effet), ne deviennent intelligibles que grâce à une semblable assimilation aux opérations réversibles : l'explication probabiliste elle-même, consiste, en effet, à insérer le réel observé dans le possible construit, et la notion de la probabilité comme telle se définit précisément par ce rapport entre le réel et le possible. En tous les cas, *la déduction causale revient ainsi à fusionner la modification physique avec la transformation opératoire, par subordination du réel au possible, et à conférer aux généralisations des rapports légaux réels un caractère de nécessité, ou de probabilité, en fonction de cette subordination même.*

Mais une telle projection des opérations dans le réel conduit alors à un problème capital : celui du type de réalité que postule la pensée physique. Bien que les transformations du réel soient réduites, dans la mesure où elles sont expliquées, à des opérations composées entre elles (comme les travaux de la balance assimilés à des déplacements qui s'annulent), il ne s'agit assurément pas, du moins au point de départ de la recherche du physicien, de cette « objectivité intrinsèque », qui caractérise la réalité mathématique à la fois idéale et indépendante du bon plaisir individuel. Le seul fait que la causalité physique consiste en une attribution des opérations au réel montre que le physicien croit à une réalité extérieure à lui. Sur ce point, tout le monde est d'accord, depuis les anti-réalistes, c'est-à-dire les adversaires de toute ontologie (comme Frank) qui parlent simplement de propositions-constats ou de données expérimentales, jusqu'à l'ontologie intentionnellement forcée de Meyerson. Mais en quoi consiste cette réalité extérieure ?

Chose intéressante, les réponses des physiciens (et abstraction faite de leur philosophie personnelle, c'est-à-dire des déclarations trop systématiques, par opposition aux attitudes implicites) dépendent en bonne partie de l'échelle des phénomènes à laquelle ils travaillent, autrement dit de l'échelle des actions expérimentales qu'il est possible d'exercer sur cette réalité. C'est ainsi que les chimistes sont essentiellement réa-

listes, et il n'est pas étonnant, que la formation de chimiste qu'a reçue E. Meyerson l'ait conduit à une si vigoureuse attitude ontologique. Mais le relativiste qui spéculé sur les univers et le microphysicien qui se heurte dans l'autre direction aux frontières de l'action possible sont beaucoup plus idéalistes : d'Eddington à Heisenberg, le réalisme subit des retouches dangereuses. De même la théorie des principes généraux de la physique montre une oscillation du même genre : lorsqu'un principe comme ceux de la conservation ou de la dégradation de l'énergie s'applique à un système clos, personne ne doute de sa correspondance exacte à des réalités externes bien caractérisées, tandis que lorsqu'il s'agit de l'ensemble de l'univers, ils conduisent à une interprétation idéaliste, du conventionnalisme de Poincaré ou du nominalisme tautologique de Frank à la souplesse prudente de Brunschvicg.

Il est donc impossible d'étaler toute la réalité physique sur un seul et même plan, et la question posée en bloc de son coefficient d'extériorité par rapport au sujet est, comme disent les Viennois, « sans signification », c'est-à-dire en fait sans signification actuelle. Mais il n'en est que plus intéressant de chercher à dégager les processus d'évolution qui caractérisent l'histoire de la réalité attribuée par les physiciens aux faits sur lesquels ont porté ou portent actuellement leurs expériences. Or, ces processus sont précisément les mêmes que ceux dont témoigne le développement de la causalité, ce qui est naturel, puisque celle-ci consiste en une organisation de l'expérience ; mais, traduit en termes de modalité d'existence, ce développement se présente sous ce jour paradoxal que plus le réel est objectivé et plus il est solidaire des opérations du sujet.

Le premier de ces processus consiste en une décentration progressive du réel par rapport au moi percevant ou à l'action immédiate et utilitaire. C'est en ce sens que Planck, Meyerson et les réalistes ont beau jeu de montrer comment la physique s'éloigne toujours davantage de l'« anthropomorphisme » c'est-à-dire de la qualité sensible ou des schémas égocentriques empruntés à l'action humaine. Mais, si le réel s'écarte ainsi de plus en plus du sujet en tant que moi individuel ou du socio-centrisme, il subit par cela même une transposition, corrélative de cette décentration, et qui témoigne à son tour d'une activité croissante du sujet, mais orientée en sens inverse puisque décentrée.

Cette transposition consiste d'abord en ceci que, plus le réel

s'affirme indépendant du « moi », et plus il est reconstruit par composition opératoire. Frank, dont on a vu la prudence en ce qui concerne le passage si souvent invoqué de l'« apparent » au « vrai », soutient qu'un tel processus ne saurait présenter qu'un sens, ou plutôt que deux significations indissociables : analyse expérimentale et schématisation mathématique plus poussées, parce que la construction du schème logico-mathématique est la condition même de l'observation plus précise. Autrement dit, atteindre le réel par delà le phénoménisme des données immédiates, c'est précisément dépasser le réel au sens strict pour s'engager dans la direction d'une sorte de méta-réel qui est simultanément un produit d'opérations et une source de vérifications expérimentales. Plus le réel s'éloigne du moi sensible, plus il dépend donc du sujet en tant qu'opérateur.

Or, ce paradoxe selon lequel le réel le plus détaché du moi est en même temps celui qui est le mieux assimilé aux opérations de la pensée, devient un simple truisme sitôt admis que ces opérations ont pour propriété essentielle d'atteindre tout le possible en partant du réel : le réel « vrai » est alors celui qui situe le donné dans l'ensemble des possibilités réalisables, mais non réalisées simultanément, tandis que l'« apparent » se réduit à la seule réalité actuelle, par opposition au possible. C'est en ce sens que l'approfondissement ou l'objectivation du réel en transforme nécessairement la modalité, puisque l'élaboration du lien causal substitue à la réalité simple, la nécessité qui relie les possibilités entre elles, dont le réel au sens strict ne constitue plus qu'une « section ». Un tel réel élargi jusqu'à baigner dans le possible est-il alors extérieur ou intérieur au sujet ? Tous les deux, assurément, puisque le sujet ne crée pas les possibles, mais que, s'il ne les engendre pas, il n'atteint la nécessité qui caractérise leurs liens que par la seule activité opératoire.

Ainsi la causalité physique établit une connexion indissociable entre les opérations dont le sujet est le siège, en son activité déductive, et les modifications de l'objet assimilées à ces opérations, mais devenant par cela même un simple secteur des transformations possibles dont le calcul détermine le fait actuel. Dans le domaine des objets considérés à notre échelle, cette distinction du possible et du réel demeure, dans les grandes lignes, aisée et autorise ainsi une répartition globale des rapports entre la réalité physique et l'opération mathématique. Au contraire, aux échelles caractérisées par la limite de l'action humaine, l'opposition du réel et du possible s'estompe

de plus en plus en une région mixte qui est celle du probable, à des degrés divers, et les opérations prêtées à l'objet ne sont plus discernables de celles que le sujet emploie pour agir — expérimentalement ou déductivement — sur les objets. La réalité physique tend alors de ce fait même à s'idéaliser. Qu'elle ne le fasse jamais définitivement, même en microphysique, c'est ce que la méditation sur les emplois techniques de la désintégration atomique suffirait à montrer. Mais la marge commune entre le sujet et l'objet tend néanmoins à s'accroître, sans préjuger des tendances futures.

Au total, la réalité postulée par la science physique présente toute la gamme des nuances correspondant, selon les cas, à un franc réalisme ou à un idéalisme engagé dans la direction de la simple objectivité intrinsèque propre aux mathématiques. La pensée physique prolonge ainsi directement la pensée mathématique dans son effort d'assimilation de l'expérience aux opérations du sujet, mais, la connaissance du réel demeurant relative aux actions spécialisées de celui-ci, elle n'est jamais entièrement réductible aux coordinations générales de l'action.

TABLE DES MATIÈRES

DU VOLUME II

DEUXIÈME PARTIE

LA PENSÉE PHYSIQUE

CHAPITRE IV. — <i>Nature du notion cinématiques et mécaniques: le temps, la vitesse et la force</i>	10
§ 1. Position du problème	11
§ 2. La genèse des intuitions temporelles	18
§ 3. Les opérations temporelles	30
§ 4. Le mouvement et la vitesse	53
§ 5. La genèse et les formes préscientifiques de la notion de force	62
§ 6. L'évolution des concepts mécaniques et des systèmes du monde: de l'absolu égocentrique à la décentration relativiste	68
§ 7. De l'univers des « primitifs » au système du monde d'Aristote	72
§ 8. La mécanique classique et la décentration de l'univers; l'évolution des formes scientifiques de la notion de force et le problème du virtuel	82
§ 9. La théorie de la relativité et les nouveaux « absolus »	92
§ 10. Conclusion	109
CHAPITRE V. — <i>Conservation et atomisme</i>	113
§ 1. L'objet physique et les coordinations générales de l'action	116
§ 2. Les formes représentatives élémentaires de conservation	125

§ 3. Les opérations physiques élémentaires, le passage de l'assimilation égocentrique au groupement opératoire et le rôle de la sensation en physique, selon E. Mach et M. Planck.....	135
§ 4. La genèse de l'atomisme et les thèses de Hannequin et de G. Bachelard	147
§ 5. Les principes scientifiques de conservation et l'interprétation de E. Meyerson.....	153
CHAPITRE VI. — <i>Le hasard, l'irréversibilité et l'induction</i>	165
§ 1. La genèse de l'idée de hasard	168
§ 2. La notion de hasard dans l'histoire de la pensée pré-scientifique et scientifique.....	175
§ 3. Opérations réversibles et réalité irréversible : le mélange et les notions de totalité non-additive et d'histoire.....	182
§ 4. Les problèmes de l'induction expérimentale	190
§ 5. La métaphysique du deuxième principe de la thermodynamique; les équivoques de l'identification et les limites de la composition opératoire	204
§ 6. La signification du probabilisme physique	214
CHAPITRE VII. — <i>Les enseignements épistémologiques de la microphysique</i>	224
§ 1. L'interprétation microphysique des relations spatiales.....	227
§ 2. La notion microphysique du temps et les relations entre les espaces-temps d'échelles superposées.....	237
§ 3. L'objet et la causalité microphysiques.....	241
§ 4. Le rôle des opérateurs et la logique de la complémentarité.....	250
§ 5. La signification épistémologique de la microphysique	257
CHAPITRE VIII. — <i>Les problèmes de la pensée physique. Réalité et causalité</i>	265
§ 1. La genèse et l'évolution de la causalité dans le développement individuel.....	268

§ 2. Les étapes de la causalité dans l'histoire de la pensée scientifique et le problème de l'explication causale.....	281
§ 3. La causalité selon Aug. Comte et l'interprétation positiviste de la physique	293
§ 4. Le nominalisme de P. Duhem et le conventionnalisme de H. Poincaré	301
§ 5. Le néo-positivisme et la causalité selon Ph. Frank	308
§ 6. La causalité selon E. Meyerson	316
§ 7. La causalité selon L. Brunschvicg	324
§ 8. L'épistémologie physique de G. Bachelard	330
§ 9. La théorie physique selon G. Juvet	335
§ 10. Conclusions: causalité et réalité physiques.....	341