
Comitato per la Edizione Nazionale delle Opere di

FEDERIGO ENRIQUES

ENRIQUES, FEDERIGO

**Causalité et déterminisme dans la philosophie
et l'histoire des sciences**

Hermann Paris, 1941.



L'utilizzo di questo documento digitale è consentito liberamente per motivi di ricerca e studio. Non è consentito l'utilizzo dello stesso per motivi commerciali.

Il presente testo è stato digitalizzato nell'ambito del progetto "Edizione nazionale delle opere di Federigo Enriques"

promosso dal

Ministero per i Beni e le attività Culturali

Area 4 – Area Archivi e Biblioteche

Direzione Generale per i Beni Librari e gli Istituti Culturali

ACTUALITÉS SCIENTIFIQUES ET INDUSTRIELLES

899

PHILOSOPHIE
ET HISTOIRE DE LA PENSÉE SCIENTIFIQUE

Exposés publiés sous la direction de

F. ENRIQUES

Ancien professeur à l'Université de Rome
Correspondant de l'Institut

VIII

CAUSALITÉ ET DÉTERMINISME
DANS LA PHILOSOPHIE
ET L'HISTOIRE DES SCIENCES

PAR

F. ENRIQUES



PARIS

HERMANN & C^{ie}, ÉDITEURS

6, Rue de la Sorbonne, 6

1941

DANS LA MÊME SÉRIE :

Histoire de la Pensée scientifique :

- N° 384. F. ENRIQUES et G. DE SANTILLANA. Les ioniens et la nature des choses 15 fr.
N° 385. F. ENRIQUES et G. DE SANTILLANA. Le problème de la matière. Pythagoriciens et Eléates 13 fr.
N° 386. F. ENRIQUES et G. DE SANTILLANA. Les derniers « Physiologues de la Grèce » 10 fr.
N° 572. F. ENRIQUES et G. DE SANTILLANA. Le problème de la connaissance. Empirisme et rationalisme grecs 18 fr.
N° 573. F. ENRIQUES et G. DE SANTILLANA. Platon et Aristote 22 fr.
N° 845. F. ENRIQUES et G. DE SANTILLANA. Mathématiques et astronomie de la période hellénique 25 fr.

DANS LA MÊME COLLECTION :

ENRIQUES (F.), de l'Académie Dei Lincei, ancien Professeur
à l'Université de Rome.

Philosophie et histoire de la Pensée scientifique :

- N° 161. F. ENRIQUES. Signification de l'histoire de la pensée scientifique. 15 fr.
N° 463. G. CASTELNUOVO. Probabilités dans les différentes branches de la science 15 fr.
N° 524. F. GONSETH. Qu'est-ce que la logique 22 fr.
N° 621. H. METZGER. Attraction universelle et religion naturelle chez quelques commentateurs anglais de Newton. 1^{re} partie. Introduction philosophique 15 fr.
N° 622. H. METZGER. 2^e partie. Newton, Bentley, Whiston, Toland... 18 fr.
N° 623. H. METZGER. 3^e partie. Clarke, Cheyne, Derham, Baxter, Priestley. 30 fr.
N° 638. F. ENRIQUES. La théorie de la connaissance scientifique de Kant à nos jours 15 fr.

Printed in France

Tous Droits de traduction, de reproduction et d'adaptation
réservés pour tous pays.

COPYRIGHT 1941 BY LIBRAIRIE SCIENTIFIQUE HERMANN ET C^{ie},
PARIS.

TABLE DES MATIÈRES

I. <i>Déterminisme et indéterminisme dans la pensée grecque</i>	5
1. Déterminisme et rationalisme chez DÉMOCRITE.....	5
2. PLATON.....	7
3. ARISTOTE.....	8
4. Le déterminisme et l'école de Mégare.....	11
5. La question du libre arbitre à l'époque hellénistique.....	11
6. Difficultés théologiques.....	13
II. <i>Le déterminisme dans la science et dans la philosophie au XVII^e et au XVIII^e siècle</i>	15
7. La notion de cause chez GALILÉE.....	15
8. L'explication scientifique d'après DESCARTES.....	18
9. L'explication selon NEWTON.....	19
10. LEIBNIZ et le principe de raison suffisante.....	21
11. Importance heuristique du principe de raison suffisante : les axiomes de la Dynamique.....	27
12. <i>Causa aequat effectum</i>	31
13. Principes du <i>maximum</i> ou du <i>minimum</i>	35
14. Le principe de raison comme critère normatif de la construction scientifique.....	38
15. Réalisme dialectique.....	40
16. L'empirisme psychologique de LOCKE.....	41
17. La définition du réel chez BERKELEY : <i>esse est percipi</i>	43
18. La critique de la causalité par HUME.....	45
19. Le sensualisme de CONDILLAC.....	47
20. La critique de KANT.....	48
21. Critique de la doctrine kantienne : HELMHOLTZ.....	52
22. Déterminisme et liberté de la volonté.....	55
III. <i>Déterminisme et indéterminisme au XIX^e siècle et au début du XX^e</i>	59
23. Le déterminisme dans la physique mathématique : la formule de LAPLACE.....	59
24. Mécanisme et positivisme.....	61
25. La doctrine d'Auguste COMTE.....	63
26. L'idéalisme romantique.....	65
27. Contingence, pragmatisme, empirisme radical.....	66
28. Probabilité et lois statistiques.....	68
29. La nouvelle critique de la connaissance : MACH.....	69
30. PEARSON.....	71

31. POINCARÉ	72
32. ENRIQUES	73
33. MEYERSON.....	75
IV. <i>Le problème de la causalité et la physique des Quanta</i>	79
34. L'électromagnétisme et la théorie de la relativité.....	79
35. Atomes et corpuscules.....	82
36. Les phénomènes élémentaires.....	88
37. Les relations d'incertitude de HEISENBERG.....	89
38. Opinions des physiciens: HEISENBERG, BOHR, SCHROEDINGER, EDDINGTON, DIRAC.....	92
39. Opinions contraires de PLANCK, EINSTEIN, LANGEVIN.....	97
40. La causalité n'est pas un résultat de la science mais un problème de la philosophie.....	100
41. La question du déterminisme vue par les néopositivistes.....	102
42. Le déterminisme en tant que présupposition de la science...	104
43. Les notions de subjectif et d'objectif dans la science.....	107
44. La non-individualité des corpuscules dans la physique de l'atome.....	108
45. Confirmations et objections.....	111
46. Conclusion.....	112





CHAPITRE I

Déterminisme et indéterminisme dans la pensée grecque ⁽¹⁾

1. Déterminisme et rationalisme chez Démocrite.

UN enchaînement ininterrompu relie la pensée grecque aux idées dont la philosophie et la science modernes font état, soit que la tradition ait été maintenue à travers le Moyen Age, soit que le retour aux sources antiques à l'époque de la Renaissance l'ait renouée. C'est pourquoi il nous convient de rappeler brièvement comment les penseurs les plus représentatifs de l'antiquité ont traité le problème qui nous occupe.

Le déterminisme mécanique sous sa forme rigide a été affirmé d'une façon explicite par LEUCIPPE et DÉMOCRITE (env. 460-360 avant notre ère) qui en ont fait le fondement de leur système atomistique.

« Rien ne se fait par hasard, mais tout arrive par raison et nécessité » dit LEUCIPPE (V. DIELS, *Fragments der Vorsokratiker*, fr. 2).

Selon DÉMOCRITE « toutes les choses passées, présentes ou futures sont régies par la nécessité », nous dit PLUTARQUE (*Strom. Z*, DIELS A 39). A la vision de l'univers physique comme étant constitué uniquement d'atomes qui se meuvent dans toutes les direc-

(1) Cfr. F. ENRIQUES et G. DE SANTILLANA, *Histoire de la pensée scientifique*. Bologne, 1932.

tions et se heurtent les uns les autres correspond chez les auteurs cités une docimasia rationaliste de la vérité et de la science. Ce point de vue s'était d'ailleurs manifesté déjà chez des penseurs plus anciens.

ANAXIMANDRE (env. 600 av. J.-Chr.) expliquait que la Terre se maintient isolée dans l'espace sans tomber parce qu'étant située dans des conditions égales par rapport aux autres corps, elle n'a aucune raison de se déplacer d'un côté plutôt que de l'autre, vers le bas plutôt que vers le haut, et puisqu'elle ne pourrait se mouvoir en même temps dans des directions contraires force lui est de demeurer immobile. Dans ce raisonnement admirable que nous rapporte ARISTOTE (1) on aperçoit non seulement la découverte de la relativité des notions de « haut » et de « bas », mais encore le principe de *la raison suffisante* tel que devait l'illustrer LEIBNIZ ; ou tout au moins une application particulière de ce principe qu'on retrouvera trois siècles et demi après chez ARCHIMÈDE quand il supposera évident qu'une balance également chargée des deux côtés doit demeurer immobile ; c'est précisément ce postulat du mathématicien de Syracuse que LEIBNIZ prendra pour premier exemple de son principe.

D'ANAXIMANDRE à DÉMOCRITE les penseurs grecs ont compris toujours plus clairement ce que le rationalisme présuppose nécessairement pour pouvoir s'affirmer. En premier lieu que les choses *sensibles* ne sont guère, à proprement parler, *intelligibles*, que la distinction logiquement rigoureuse entre l'être et le non être, ainsi que les axiomes sur l'égalité, etc. ne s'appliquent vraiment qu'aux objets de notre pensée, mais nullement aux données de la perception : en effet pour nos sens un changement très lent équivaut à un état fixe, et l'égalité se confond avec la différence minime, à l'égard de laquelle l'axiome que deux choses égales à une troisième sont égales entre elles cesse d'être exact.

L'établissement de cette distinction se rattache chez les Eléates (PARMÉNIDE, ZENON, v^e siècle av. J.-Chr.) à une critique, poussée à fond, de la notion de matière, et c'est par cette critique que s'affirme avec intransigeance le point de vue rationaliste : il n'y a de vraiment existant que ce qui est *pensé*, tandis que ce qui

(1) *De Caelo*, II, 13 (19).

est *senti* ne saurait prétendre à la réalité ; à la pensée claire correspond un objet qui nécessairement *est*.

DÉMOCRITE, ayant emprunté aux Eléates ce même principe, en a considérablement augmenté la portée et la signification, puisque son univers à lui ne se résout plus en une construction abstraite comme était l'Être continu et indifférent de PARMÉNIDE, mais embrasse toute la réalité sensible qu'on s'efforce d'expliquer « en sauvant les apparences », c'est-à-dire en développant les multiples effets d'un système mécanique sous-jacent.

Le rationalisme acquiert donc dans l'œuvre de DÉMOCRITE ce sens précis : que tout ce qui peut être pensé ne peut manquer d'exister en quelque partie du Tout infini. Il faut donc qu'il y ait des mondes pourvus de plusieurs soleils et de plusieurs lunes et aussi des mondes où l'absence d'eau rend impossible l'apparition de la vie, etc. De même toutes les formes géométriques devront se trouver réalisées dans les atomes et il pourra y avoir des atomes gros comme un monde entier.

Selon SIMPLICIUS (DIELS A. 38) ce nombre infini de formes atomiques qui permet d'expliquer d'une manière rationnelle tous les phénomènes, se justifie précisément par le principe que depuis LEIBNIZ on appelle la raison suffisante : il n'y a aucune raison pour que les atomes possèdent telle configuration ou telle grandeur plutôt que toutes autres.

« Un seul épi de blé dans une plaine immense — disait MÉTRODORÉ de Chios, adepte de DÉMOCRITE — serait chose aussi étonnante qu'un seul monde dans l'espace infini (DIELS A 6) puisque tout ce qu'on peut penser existe » (*ibid.* B 2).

Des opinions rationalistes de ce genre devaient naturellement conduire l'école démocratéenne à concevoir le rapport de cause à effet comme une liaison nécessaire entre les idées qui correspondent dans notre esprit aux choses. On trouverait sans doute dans la logique de l'Abdérite quelque aperçu de cette doctrine ; mais la question s'éclairera davantage par l'examen d'autres philosophies et notamment de celles de PLATON et d'ARISTOTE.

2. Platon.

PLATON que SEXTUS l'Empirique associe à DÉMOCRITE, comme ayant combattu l'un et l'autre l'empirisme de PROTAGORAS, déve-

loppe les motifs rationalistes de sa pensée en envisageant plutôt l'aspect formel de la science que son objet, c'est-à-dire que l'étude de la nature. C'est pourquoi la science platonicienne se rapporte à un monde intelligible d'*Idées* conçues comme des modèles, simplifiés par abstraction, des choses sensibles. Il ne saurait y avoir une connaissance vraiment rationnelle de ce qu'appréhendent nos sens et qui est toujours passible de changement, de génération et de corruption ; sur cette réalité apparente et indéfinie nous ne pouvons émettre que des jugements vraisemblables et des opinions probables. Il apparaît donc clairement que l'enchaînement rigoureux de notions exactes tel que l'exige notre esprit n'implique pas nécessairement un ordre déterminé dans les choses, quoique on admette le principe que « tout ce qui devient a une cause » (*Philèbe*, 26 E).

Dans une première phase de l'évolution qu'accomplit sa pensée, PLATON concevait la science comme une classification statique des êtres, selon la méthode que nous offre la géométrie ; il voyait dans l'approximation au type, parfaitement représenté par l'Idée, l'expression de cette régularité que nous retrouvons dans les classes d'objets, naturellement définies, comme par exemple lorsque nous disons que tel minéral cristallise sous forme de cubes, en négligeant les arêtes légèrement émoussées que présente chaque cristal examiné particulièrement. Quant aux organismes vivants, l'Idée du type que tend à réaliser l'animal ou la plante dans les conditions les plus heureuses de sa maturité est considérée aussi comme la cause du développement et de l'épanouissement des formes. Plus tard sans doute après avoir rencontré la pensée de DÉMOCRITE, PLATON entreprit de donner dans le *Timée* un tableau complet de la création du monde et des époques de la nature ; il eut recours alors à deux ordres de causes, en opposant les *causes finales*, conçues à l'instar des intentions humaines à l'*aveugle nécessité* des forces mécaniques (*Timée*, 48 et suiv.).

On voit déjà les motifs qu'utilisera et développera ARISTOTE.

3. Aristote.

ARISTOTE s'est appliqué à concilier l'idéologie platonicienne avec la réalité telle que nous la représente le témoignage des sens ; il a écarté par conséquent la doctrine d'une Idée qui existerait en

dehors des choses sensibles à titre d'entité abstraite ou de « réalité supérieure ». Si le lecteur moderne se sent désorienté devant les textes (particulièrement le livre I de la *Métaphysique*) où ARISTOTE expose sa classification des causes sous forme d'une synthèse des doctrines antérieures, cela tient à ce que le maître du Lycée donne au terme de « cause » un sens beaucoup plus vaste que nous ne sommes accoutumé à lui attribuer. Mais si nous laissons de côté les « causes de l'être » pour n'examiner que les « causes du devenir » qui sont les causes comme nous les entendons, nous pourrions dire qu'ARISTOTE, à la suite de PLATON, conçoit deux ordres de causes : les *causes finales* et les *causes efficientes* ; au nombre de ces dernières se trouvent comprises les causes mécaniques ; d'une façon plus générale cependant les « causes efficientes » s'identifient avec l'inhérence de qualités qui impliquent tels effets déterminés.

C'est encore au rationalisme de ses précurseurs qu'ARISTOTE a emprunté la correspondance préétablie qu'il fait subsister entre le rapport de cause à effet dans la nature et le rapport logique qui s'opère dans notre pensée ; on voit ainsi les effets dériver des causes de la même manière que les conséquences découlent d'un principe. Dans l'*Analytique postérieure* (I, 2 (b)) il est dit par exemple : qu'« il s'ensuit nécessairement » de la définition même de la connaissance humaine « que la science démonstrative part de principes vrais, de principes immédiats et mieux connus que les conclusions dont ces principes sont la cause et qu'ils doivent donc précéder ».

Il importe de souligner que le principe de causalité tel que l'a établi ARISTOTE, laisse une place à la pure contingence, à l'accidentel, à ce qui constitue le *hasard*. Car seulement ce qui arrive nécessairement ou du moins « habituellement » peut avoir une cause. ARISTOTE donne quelques explications à ce sujet dans sa *Physique* et aussi dans la *Métaphysique*. L'objet de la science étant la recherche de l'essentiel dans les choses, sa tâche se limite à fixer les caractères des Idées (genres, espèces) auxquelles les choses examinées appartiennent ; en raison de quoi la science ne s'occupe que du « général » et ne saurait s'appliquer au phénomène singulier. Ce point de vue que nous acceptons en lui donnant ce sens que les causes simples produisent par interférence des complications difficiles à démêler, marque la limite théorique que le Stagirite fixait à la capacité d'explication de toute science.

Ce qui est strictement individuel ne s'explique pas ; pour qu'un

fait soit « explicable » il faut qu'il se révèle d'une régularité nécessaire ou que tout au moins il se retrouve dans un grand nombre de phénomènes. Aussi bien parmi les choses créées par l'art de l'homme que parmi celles qu'engendre la nature on rencontre l'« accident » qui se dérobe à toute règle, qui a ses tenants et ses aboutissants dans une région indéterminée et par là demeure profondément obscur pour notre entendement (*Physique*, II, 5).

« Il va de soi » dit un passage de la *Métaphysique* (1065 a) « que pour l'accident il n'existe pas de causes et de principes tels qu'il en existe pour l'Être absolu. Autrement tout arriverait par nécessité. En effet si telle chose arrive parce que telle autre est arrivée, et cette dernière parce qu'une autre chose encore a eu lieu auparavant et ainsi de suite jusqu'à un premier fait dû non pas au hasard mais à la nécessité ; alors tout sera arrivé nécessairement, depuis le fait produit en premier lieu par une cause définie jusqu'à celui qu'on considère comme l'effet le plus récent ».

Or on venait d'admettre que ce dernier fait était un accident ; mais si tout survenait par nécessité le contingent ou ce qui « peut arriver ou ne pas arriver » se trouveraient du coup supprimés dans le monde des événements... La conclusion serait que dans l'univers tout advient par nécessité : cependant « les causes d'où peuvent par hasard dériver les choses sont infinies. C'est pourquoi le hasard demeure obscur à l'entendement humain », et l'on peut dire du hasard que c'est une cause accidentelle ; « mais plus exactement, et au sens absolu, qu'il n'est cause de rien ».

On pourrait encore hésiter entre deux interprétations de ces raisonnements : ARISTOTE a-t-il en vue une série de causes que l'homme n'est pas en état de connaître ou bien s'en tient-il résolument à l'hypothèse d'un véritable indéterminisme ? Mais cette dernière alternative se révèle seule plausible lorsqu'on voit notre philosophe affirmer la notion du libre arbitre, dont il fait aussi la base de la responsabilité morale.

Le principe du « tiers exclu » ne s'applique pas aux choses à venir (*De Interpr.* IX). Il apparaît clairement ici qu'ARISTOTE s'est décidé à résoudre dans le sens du libre arbitre une difficulté qu'avaient déjà rencontrée les philosophes de l'école de Mégare lorsqu'ils s'étaient poussés sur les voies du déterminisme et du rationalisme démocritéens.

4. Le déterminisme et l'école de Mégare.

L'un des disciples de l'École de Mégare, DIODORE CRONOS disait que tout ce qui est possible est réel, car une chose possible qui n'aurait aucune réalité (c'est-à-dire qui n'existerait jamais dans l'espace et dans le temps) ne serait pas vraiment possible. A première vue cet argument semble se ranger parmi les sophismes ou les simples jeux de mots, mais en l'examinant de plus près on y découvre un sens assez profond. C'est d'abord, exprimée en termes d'une dialectique abstraite, la formule même du rationalisme de DÉMOCRITE, d'après lequel tout ce que peut concevoir la pensée doit trouver place dans l'infinité de l'espace et du temps ; c'est donc le postulat que l'on rencontrera de nouveau chez EPICURE et que LUCRÈCE fera figurer dans son poème sous le nom de *vis infinitatis*.

Mais il semble encore que l'idée de DIODORE ait été d'étendre la rigueur absolue du déterminisme aux manifestations mêmes de la volonté humaine : la liberté de celle-ci serait infirmée *a priori* par le simple énoncé d'un principe de logique. Si on admet que toute proposition doit être inconditionnellement vraie ou fausse, affirmer un événement futur qui dépend de la volonté équivaudra à donner un démenti à la liberté prétendue de mon choix ; ce que je me représente comme *possible* au moment où j'hésite encore sur la décision à prendre, se trouve pour ainsi dire déjà inscrit dans le livre de la destinée et de ce fait ma liberté se révèle comme n'étant qu'une vaine illusion.

5. La question du libre arbitre à l'époque hellénistique.

Dès l'époque qui suit immédiatement la conquête d'Alexandre les philosophes commencent à relâcher les liens qui unissaient la pensée métaphysique à la science exacte pour s'occuper presque exclusivement des problèmes de morale. Mais cela ne les incitera que davantage à discuter les thèses opposées du déterminisme et du libre arbitre.

L'une des grandes écoles qui surgissent alors, celle du Portique, accepte le système des causes efficientes et essaie de l'accorder avec

celui des causes finales ; mais en même temps ces philosophes stoïciens insistent sur le déterminisme rigoureux de la nature ; le sage doit s'y soumettre de bon gré, puisque l'ordre universel a été établi pour le plus grand bien des hommes et des dieux : « Ducunt volentem fata, nolentem trahunt. » L'école d'ÉPICURE a au contraire répudié le déterminisme strict. En adoptant la théorie atomique de DÉMOCRITE, ÉPICURE y introduisit une modification qui exclut l'enchaînement fatal des causes mécaniques dans la formation des mondes et dans le mouvement des corps.

Tout d'abord il donne à l'atome une pesanteur essentielle ; si les conséquences mécaniques étaient seules en jeu, les atomes devraient toujours descendre parallèlement et, dans un milieu de résistance nulle, tous avec une même vitesse infinie. Mais le maître du Jardin imagina que les atomes possèdent, outre la gravité une seconde cause de mouvement, une aptitude, entièrement indéterminée à s'écarter spontanément, mais infiniment peu (« per paulum quo nihil posse fieri minus » dit CICÉRON) de la verticale de la chute : c'est la *déclinaison* que LUCRÈCE désignera par le terme de *clinamen* (traduction de « paréncisis »). Cette hypothèse d'ÉPICURE répondait moins au besoin de trouver une explication rationnelle à l'existence d'aggrégat d'atomes et d'un système de ces aggrégats, le cosmos, qu'à une conviction intime d'ordre moral : la réalité du libre arbitre, de la spontanéité des actions chez les animaux et chez les hommes lui apparaissait comme une évidence qu'il aurait été absurde de mettre en doute. « Il aurait encore mieux valu » lisons-nous dans la Lettre à MÉNÉCÉE (134) « prêter foi aux fables sur les dieux que de nous laisser asservir à la nécessité des physiciens ; car la fable nous laisse l'espoir de fléchir les dieux en les honorant, tandis qu'on ne saurait fléchir la nécessité ».

L'attitude différente des stoïciens et des épicuriens à l'égard de cette question du libre arbitre pourra étonner le lecteur moderne, habitué à présumer que le sentiment moral puise son énergie et sa rigueur dans la conscience d'une volonté libre. Ici le rapport semble inversé. Les épicuriens ont senti le besoin d'étayer leur morale hédoniste et utilitaire (bien entendu dans un sens qui n'a rien de bas) sur le postulat du libre arbitre, grâce auquel l'homme a le choix de suivre ou de négliger les règles d'une sage tempérance.

Les stoïciens à l'encontre, tout en professant une morale du devoir et même de la vertu héroïque, acceptent sans difficulté

un monde préétabli par la providence où le déterminisme des causes physiques est lui aussi subordonné aux buts que poursuit la nature. L'exemple donné par les disciples de ZENON et de CHRYSIPPE montre assez clairement que la même doctrine du déterminisme peut agir en des sens complètement opposés sur la conscience morale : soit en poussant l'homme à s'abandonner à l'*ignava ratio*, c'est-à-dire à l'indolence du fatalisme, soit au contraire en lui offrant une raison sublime d'accomplir sans défaillance le rôle qui lui a été assigné dans le drame de l'univers, à l'instar du soldat qui, cloué à son poste par une consigne, ne songera qu'à multiplier les efforts pour faire payer le plus chèrement possible à l'ennemi le sacrifice prévu et accepté.

6. Difficultés théologiques.

A la fin de l'antiquité et pendant le moyen âge la question du déterminisme se trouvera encore plus étroitement liée à des préoccupations d'ordre moral et religieux chez les penseurs chrétiens.

Les difficultés pour lesquelles il n'était pas impossible de trouver quelque solution dans le domaine de la connaissance humaine, nécessairement bornée, apparaissent insurmontables vis-à-vis d'un absolu tel que le conçoivent les croyances religieuses et le raisonnement théologique. Si on attribue sans conditions à Dieu toutes les qualités que l'homme considère comme des perfections : la toute puissance, la prescience, la bonté infinie, on ne voit plus comment on pourra les accorder entre elles selon une cohérence logique. Car si Dieu a prédéterminé l'ordre des choses où se trouvent englobées aussi toutes les actions des hommes il semble inévitable de lui attribuer aussi la responsabilité du mal ; et si pour échapper à cette conclusion, on fait jaillir le mal du libre arbitre des hommes, on n'arrive pas à comprendre comment cette liberté de choix peut s'accorder avec la prédestination divine.

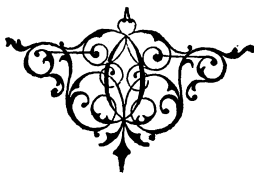
Ces difficultés amenaient dès le XI^e siècle Pierre DAMIEN, cardinal archevêque d'Ostie, à proclamer l'incompétence totale de la dialectique en matière de foi : « La dialectique ne doit pas se saisir arrogamment du droit du maître, mais... elle doit être comme la servante d'une maîtresse (*Ancilla dominae*) » (1).

(1) Cfr. E. BRÉHIER, *Histoire de la philosophie*, t. I (Paris, 1928), p. 555.

Cette déclaration était inspirée à DAMIEN par le fameux raisonnement dialectique qui démontrait, en s'appuyant sur le principe de contradiction, la fatalité des destinées et l'impossibilité des contingences futures. N'était-il pas absurde qu'une simple règle de logique osât faire pièce à la toute puissance et à la souveraine liberté de Dieu, fondements explicites de la religion révélée.

Pierre DAMIEN rappelle que ces règles ont été inventées pour construire correctement des syllogismes et qu'elles valent uniquement pour l'ordre de la discussion, mais non point pour l'essence et le contenu de la réalité.

Nous n'avons pas à discuter ici des questions de ce genre. Il suffira de rappeler, que les problèmes de la grâce et du libre arbitre, du salut par les œuvres ou par l'inscrutable faveur de la Providence ont nourri pendant des siècles les controverses entre théologiens ; et que sur ces points litigieux la Réforme, en réexhumant et en interprétant à sa façon les écrits de saint AUGUSTIN, devait prendre des positions nettement antagonistes à celles de l'orthodoxie romaine.



CHAPITRE II

Le déterminisme dans la science et dans la philosophie au XVII^e et au XVIII^e siècles.

7. La notion de cause chez Galilée.

Les spéculations des Anciens, transmises par le Moyen Age qui n'avait cessé de les utiliser pour son exégèse du dogme religieux ont fourni encore les motifs principaux à la pensée philosophique et scientifique des temps modernes.

La physique nouvelle — dont GALILÉE et ses premiers continuateurs ont posé les fondements — a pour point de départ la résurrection de la théorie mécanique conçue par DÉMOCRITE. A quoi s'ajouta, toujours selon l'esprit de la doctrine démocritienne, la distinction entre ce que LOCKE appellera les *qualités premières* de la matière (l'étendue, la figure, le mouvement et aussi, d'après GALILÉE, l'impénétrabilité) et les *qualités secondaires* (chaleur, couleur, saveur) ; les premières correspondraient à quelque réalité dans l'objet même, tandis que les secondes ne seraient qu'apparences sensibles. Un trait dominant qui marque vraiment le caractère de cette époque dans l'histoire de l'esprit est la presque unanimité des savants et des penseurs, dans leur levée de boucliers contre la métaphysique aristotélicienne de la qualité : celle-ci est attaquée sans merci aussi bien par GALILÉE que par Giordano BRUNO, par Daniel SENNERT et Sébastien BASSO, par DESCARTES, GASSENDI, Robert BOYLE et bien d'autres coryphées du mouvement scientifique entre 1550 et 1650. Même si on reconnaît que grâce aux rapports directs dont la correspondance du père MERSENNE nous fait connaître la fréquence, les uns de ces penseurs ont pu influencer les autres, cet accord si décidé et plein d'entrain combatif

apparaît comme un fait remarquable ; il constitue certainement le fond même du programme de la nouvelle science qu'on avait alors entrepris de construire. Sans doute ce programme n'a pu aboutir à sa réalisation dans la dynamique de NEWTON qu'au prix d'un certain compromis, puisque l'action des forces à distance a été acceptée à titre de donnée sans explication préalable. Il n'en reste pas moins que l'idée mécanique, tout en s'adaptant aux limites imposées par les exigences du savoir positif, a gouverné pendant trois siècles l'évolution de notre science physique (1).

La conception mécanique entraîne naturellement la science vers le déterminisme ; ce dernier ne sera tout au plus atténué que pour des raisons théologiques ou par l'admission de la liberté du vouloir dans le domaine de l'esprit. Quant au domaine propre de la physique, on peut dire que le déterminisme y a été admis sans exception même par des savants qui avaient exprimé des doutes sur la métaphysique mécaniste. Mais il s'agit de voir de plus près les formules par lesquelles s'est traduite cette façon d'interpréter les choses.

~ Chez GALILÉE, chez KEPLER et en général chez les fondateurs de la science moderne, le déterminisme se rattache à l'idée de « loi naturelle » et à celle de la « simplicité de la nature ». Il y a là un motif qui remonte à PYTHAGORE et à PLATON.

La victoire remportée par les « nominalistes » sur le *réalisme* qui affirmait l'existence réelle des « qualités » ou des « universaux » n'a pas empêché la théorie platonicienne des *Idées* de survivre. Le platonisme se maintient dans la supposition généralement admise et selon laquelle les objets du monde physique doivent se répartir en un certain nombre d'« espèces » ou de classes naturellement définies, à moins qu'ils ne représentent un mélange de ces types, idéalement simplifiés et dont chacun correspond à une classe. Nous voyons maintenant GALILÉE transférer la notion de l'Idée platonicienne des substances (ou des choses) aux rapports de succession ou de causalité entre les *états* dans lesquels les choses se trouvent ou entre les transformations qu'elles subissent.

Il n'est pas inutile de citer textuellement quelques énonciations de GALILÉE et de ses correspondants concernant la notion de cause.

(1) Cfr. F. ENRIQUES et G. DE SANTILLANA, *Compendio di storia del pensiero scientifico*, Bologne, Zanichelli, 1937.

« La cause est ce dont la présence est toujours suivie de tel effet et qu'il suffit d'éliminer pour que l'effet ne se produise pas » (*Œuvres*, de GALILÉE, Edit. Nationale, vol. IV, p. 22).

« Illa certa causa non est quae sublata non tollitur effectus » (BONOMICUS, 495 B, Lc, p. 52).

« Un même effet étant constaté, on conclura toujours à la même cause » (*Œuvres*, IV, p. 233, opuscule de G. CORESIO).

« Dans les questions ayant trait à la Nature... la connaissance des effets nous mène à rechercher et à trouver les causes ; autrement nous ne ferions que marcher à l'aveuglette et notre démarche serait même moins sûre que celle des aveugles, puisque ceux-ci savent où ils veulent aller, tandis que nous ne saurions pas à quoi nous espérons aboutir » (VII, 443, dans le *Dialogue sur les deux principaux systèmes*).

« Je sais que pour chaque effet il y a une seule cause première et vraie » (*Ibid.*, p. 447).

« S'il est vrai que pour chaque effet il y a une seule cause première et qu'entre la cause et l'effet il existe une connexion ferme et constante, il s'ensuit nécessairement que chaque fois qu'on observe dans l'effet une altération ferme et constante, il y a aussi altération ferme et constante dans la cause » (*Ibid.*, p. 471).

On trouve encore dans les œuvres de GALILÉE (X, 248) une lettre de Luca VALERIO, où il est dit qu'une intelligence experte en géométrie et non dénuée de quelque lumière métaphysique, naturelle ou acquise, doit considérer comme « une vérité en soi évidente, qu'à une multiplication de la vertu d'une cause efficiente correspondra nécessairement une quantité multipliée de l'effet et multipliée exactement par le même multiple que la cause » de sorte que nous pouvons « mesurer par la quantité de l'effet la quantité de la cause, soit qu'il s'agisse d'étendue et d'intensité, soit qu'on en évalue la perfection et la noblesse. »

Notons que dans ces passages se trouve exprimée l'idée d'une nature *linéaire* ou *univoque* des causes, de sorte que le monde des phénomènes physiques apparaît comme un réseau de lois simples qui s'enchevêtrent.

On ne nie pas, il est vrai, que tel événement donné puisse être produit par le concours de plusieurs causes différentes ; mais on exige la dissociation idéale de ce fait observé et évidemment complexe en éléments tout à fait simples : démarche qui correspond à la

réduction par analyse des idées ou des notions courantes à des *idées simples*, comme l'entendront presque tous les philosophes de l'époque, aussi bien DESCARTES que LEIBNIZ et LOCKE (1).

Un autre aspect des opinions soutenues par GALILÉE se rattache au fait que le savant de Pise est revenu, comme nous avons déjà dit, au système cinétique de DÉMOCRITE. Cela impliquait la reconnaissance des causes mécaniques comme les seules et uniques *causes véritables*. Que tel fût en effet le point de vue de GALILÉE c'est ce qu'indique d'une façon très évidente sa tentative d'expliquer les marées en partant de la rotation de la Terre et en excluant toute action de la lune ou du soleil. On voit poindre ici le même motif qui incitera plus tard maints Cartésiens et Leibniziens à repousser la gravitation selon NEWTON parce qu'elle impliquait une « qualité occulte ».

On pourrait objecter à ce propos que GALILÉE lui-même, dans ses recherches sur les lois de la chute des corps, acceptait comme une donnée la force de pesanteur et créait ainsi le précédent classique d'une méthode positive, telle précisément que NEWTON la développera. Mais GALILÉE n'hésitait pas à admettre, que la donnée dont provisoirement il faisait état, aurait dû à son tour être expliquée par des raisons mécaniques. Il dit en effet (*Œuvres*, VII, 260) que de la pesanteur nous connaissons seulement le nom et guère l'essence.

Nous allons voir tout à l'heure ce qu'implique une conception mécanique de l'enchaînement des causes.

8. L'explication scientifique d'après Descartes.

C'est DESCARTES qui a énoncé avec une clarté parfaite l'idée mécanique, qu'il considère comme une exigence absolue d'une connaissance scientifique de la nature. A la fin de la seconde partie des *Principia philosophiae* (*Œuvres*, VIII, 78) il résume sa pensée en ces termes : « non alia principia in Physica quam in Geometria, vel in Mathesi abstracta a me admitti, nec optari, quia sic omnine naturae phaenomena explicantur et certe de iis demonstrationes dari possunt. »

(1) Cfr. F. ENRIQUES, *L'évolution de la logique* (trad. de M. Chiron), Paris, 1926.

A l'égard de GALILÉE, DESCARTES se rend bien compte qu'il s'accorde avec lui sur ce point de l'explication mécanique :

« Je trouve, en général, qu'il philosophe beaucoup mieux que le vulgaire, en ce qu'il quitte le plus qu'il peut les erreurs de l'Ecole et tâche à examiner les matières physiques par des raisons mathématiques. En cela je m'accorde entièrement avec lui, et je tiens qu'il n'y a point d'autre moyen pour trouver la vérité (1). »

Mais plus loin il accuse GALILÉE d'avoir « bâti sans fondements » parce qu'il n'a pas examiné « les premières causes de la nature ». Et déjà dans une lettre précédente (du 22 juin 1637 *Œuvres*, I, 392) DESCARTES avait écrit que :

« Ni GALILÉE ni aucun autre ne peut rien déterminer touchant cela qui soit clair *ex demonstratis*, s'il ne sait premièrement ce que c'est que la pesanteur et qu'il n'ait... les grands principes de la Physique (2). »

9. L'explication selon Newton.

NEWTON n'a pas retenu le principe cartésien de l'explication scientifique. Il a repris au contraire, comme nous l'indiquions tantôt, la conception de GALILÉE, en posant à la base de sa doctrine les forces d'attraction à distance, à titre de données positives. Lui-même cependant ne croyait guère avoir donné ainsi une véritable *explication* des phénomènes. Il sentait bien qu'il aurait fallu repérer les causes de ces forces de gravitation. Déjà, en effet, dans la préface aux *Principia Philosophiæ naturalis* NEWTON, en parlant des forces d'attraction, mentionne leurs « causes inconnues... que les philosophes ont essayé en vain jusqu'à présent d'expliquer ».

Et dans le *Scholium generale* par quoi se termine le traité, le physicien anglais, après avoir réfuté l'hypothèse des tourbillons cartésiens, ajoute :

« J'ai expliqué jusqu'à présent les phénomènes célestes et ceux des marées par la force de pesanteur, mais je n'ai point recherché les causes de la pesanteur elle-même... Je n'ai pas encore réussi à déduire des phénomènes le pourquoi de la propriété qu'est la

(1) Lettre à MERSENNE, octobre 1638 (*Œuvres*, II, 30).

(2) V. F. ENRIQUES, *Descartes et Galilée*, in « Revue de Métaphysique », 1937.

pesanteur et je ne veux pas construire des hypothèses (*Hypotheses non fingo*). Tout ce qui n'est pas déduit des phénomènes est une *hypothèse* ; or les hypothèses — qu'elles soient métaphysiques, physiques, mécaniques ou se rapportant à des qualités occultes — ne sauraient avoir de place dans la *Philosophie expérimentale*. Dans cette philosophie, les *Propositions* se déduisent des *Phénomènes* et c'est par induction qu'on arrive à leur donner une portée générale. Ainsi a-t-on pu reconnaître l'impénétrabilité, la mobilité et la force des corps, les lois du mouvement et celles de la pesanteur. Et il nous suffit que la pesanteur existe, qu'elle agisse selon les lois que nous avons exposées et qu'elle soit à même d'expliquer tous les mouvements célestes et ceux de la mer. »

Tout de suite après, NEWTON essaie d'éclaircir l'explication en évoquant l'existence probable d'un esprit ou « éther » très subtil qui pénétrerait tous les corps solides et se cacherait dans leur substance ; c'est par la force et par l'action de cet éther que les particules des différents corps s'attireraient réciproquement à des distances infiniment petites. Un pas plus décisif vers l'explication mécaniste se trouve dans l'*Optique* (*Quaestio*, 313).

On peut dire en somme que la pensée de NEWTON demeure attachée à l'idéal d'une explication mécanique au moyen de « causes vraies » ; mais à côté de cela il introduit dans la science la considération des « précédents positivement établis » (au moyen d'inductions générales qui ont été tirées d'observations et d'expériences). Ainsi s'achemine-t-on vers une nouvelle conception — purement positiviste — du rapport de cause à effet : on l'interprétera comme une « loi de succession constante et inconditionnée » ; ce qui correspond à l'aspect objectif du rapport en question.

D'ailleurs la manière dont NEWTON entend la notion de cause est foncièrement la même que nous avons vu adopter par GALILÉE. C'est ce que montrent bien les *Regulæ philosophandi* où NEWTON affirme à son tour la simplicité de la nature et aussi son uniformité telles que GALILÉE les avait illustrées et défendues dans sa polémique pour le système de COPERNIC.

NEWTON s'exprime ainsi :

Première règle. — « Il ne faut pas admettre plus de causes dans les choses naturelles qu'il n'en est nécessaire pour expliquer les phénomènes.

Les philosophes disent que la nature ne fait rien en vain, et ce serait en pure perte qu'elle mettrait en œuvre un plus grand nombre de causes pour effectuer ce qu'un moindre nombre suffirait à produire. La nature est simple et ne se prodigue pas en causes superflues. »

Deuxième règle. — « Des effets naturels du même genre doivent se rapporter à des causes égales.

Ainsi en est-il pour la respiration chez l'homme ou chez la bête, pour la chute d'une pierre en Europe ou en Amérique, pour la réflexion de la lumière sur notre Terre ou sur les autres planètes. »

10. Leibniz et le principe de la raison suffisante.

Quelle est la portée philosophique de l'explication mécanique ou autrement dit quelle exigence de la raison est ainsi satisfaite en ce qui concerne la notion d'enchaînement causal ?

Nous avons déjà vu que dès l'antiquité deux aspects différents du rapport de cause à effet étaient mis en lumière ; d'une part l'aspect objectif, c'est-à-dire la succession constante que nous croyons constater comme une loi de la nature ; d'autre part l'aspect subjectif qui se révèle dans le rapport de dépendance logique entre l'idée de la cause et l'idée de l'effet. La distinction entre ces deux sens que prend la notion de causalité se trouve déjà chez ARISTOTE et les philosophes du Moyen Age ne l'ont pas négligé comme on le voit par l'exemple d'ALBERT LE GRAND qui distingue la cause au sens réel de la *ratio* au sens logique (VII, Eth., I, 4).

Mais trop souvent la déduction à la manière d'ARISTOTE des effets d'une qualité aboutit à une apparence verbale d'explication, du genre de celle que persifle MOLIÈRE :

*Quare opium facit dormire ?
Quia est in opio virtus dormitiva.*

L'explication que recherchaient les physiciens mécanistes de l'ère nouvelle avait une signification bien plus profonde puisqu'en traduisant le mouvement en termes quantitatifs ils s'efforçaient de capter dans les équations ainsi obtenues quelque chose comme un objet ou un rapport invariable qui rendrait compte du lien même entre la cause et l'effet.

Nous aurons à examiner plus loin la signification philosophique de cet effort qui se trouve ainsi à la base de l'explication par causes et effets. Ici il nous importe seulement de marquer le sens rationnel que les philosophes contemporains ont aperçu dans la nouvelle notion de causalité mécanique.

On voit déjà DESCARTES distinguer la raison de la cause (1) et cette distinction est formulée d'une façon explicite par LEIBNIZ et précisément dans son *principe de la raison suffisante*. On le retrouve énoncé dans différents écrits de ce philosophe et les mots employés sont à peu près les mêmes chaque fois. Citons par exemple ce passage de la *Monadologie* (§ 32).

« Aucun fait ne saurait se trouver vrai ou existant, aucune énonciation véritable, sans qu'il y ait une raison suffisante pourquoi il en est ainsi et non pas autrement, quoique ces raisons, le plus souvent, ne puissent point nous être connues. »

Ce principe apparaît à son auteur comme logique et métaphysique en même temps ; Leibniz le rattache en effet d'une part à l'idée de la sagesse divine dont les desseins, dès qu'on les examine à la lumière de la raison ne peuvent manquer de se révéler *a priori* « à celui qui connaitroit assez les choses » (2) et d'autre part il le déduit du critère fondamental : *praedicatus inest subiecto* », en précisant qu'« il faut toujours qu'il y ait quelque fondement de la connexion des termes d'une proposition qui se doit trouver dans leurs notions » (3).

Mais c'est surtout la signification scientifique de ce principe qu'il nous importe de mettre en lumière. A première vue on ne se sentira pas beaucoup aidé dans cette tâche par les raisonnements de LEIBNIZ lorsqu'il déduit du principe de la raison suffisante l'« identité des indiscernables » ; et on tirera encore moins de profit des considérations téléologiques de la *Théodicée*, ainsi que des *Principes de la Nature et de la Grâce*, où le grand souci est de démontrer com-

(1) Ch. WOLFF a consacré deux chapitres (970 et 971) de sa *Philosophia Prima sive Ontologia* (Francfort et Leipsick, 1930) aux antécédents du principe de LEIBNIZ : l'énoncé leibnizien exprime autre chose que le « nihil esse sine causa » des scholastiques, mais il coïncide avec le principe cartésien : « Nulla res existit de qua non possit quaeri quoniam sit ratio cur existat », bien qu'il semble à WOLFF que DESCARTES confonde souvent la raison avec la cause, ce qui jamais n'arriverait à LEIBNIZ.

(2) G. W. LEIBNIZ, *Opera philosophica*, Ed. Erdmann, p. 707.

(3) *Philosophische Schriften*, Ed. Gerhardt, Bd II, p. 56.

ment l'Auteur de toutes choses ne saurait aucunement être tenu responsable du mal qu'il a dû y introduire puisque ce mal se trouvait indissolublement lié au bien, seul objet de Son choix. Le secret de Dieu — lisons-nous dans la *Théodicée* (N^o 52) consiste uniquement dans la résolution qu'Il prend, après avoir comparé tous les mondes possibles, de choisir le meilleur d'entre eux et de l'admettre à l'existence, par un acte de sa toute-puissante volonté, avec tout ce qui se trouve nécessairement impliqué dans cet univers plus parfait que les autres. De la suprême perfection de Dieu — dit le traité *de la Nature et de la Grâce* — il s'ensuit qu'en produisant le monde, Il a choisi le meilleur système possible, celui où la plus grande variété se trouve unie au plus grand ordre ; où le terrain, le lieu, le temps sont les mieux préparés ; où le plus grand effet est obtenu par les moyens les plus simples et les créatures possèdent le plus haut degré de puissance, de connaissance, de bonheur et de bonté qui soit compatible avec l'existence d'un univers. En effet, puisque tous les possibles aspirent à la traduction en acte dans l'intelligence divine, le résultat de ce concours ne saurait être que la réalisation du plus parfait d'entre les mondes possibles. On ne saurait trouver d'explication plus valable du fait que cet univers existe et qu'il n'en existe pas d'autre.

Plutôt que de nous arrêter à cet aspect métaphysique du problème, reportons-nous à quelques exemples que LEIBNIZ choisit lui-même dans le domaine de la mécanique ; cette science était le grand problème intellectuel de l'époque et tous les mathématiciens éminents consacraient à sa construction le meilleur de leurs efforts. Dans sa seconde lettre à CLARKE (*Œuvres*, ed. Erdmann, § 748) et en maints autres passages de ses œuvres, LEIBNIZ remarque qu'ARCHIMÈDE avait déjà appliqué le principe de la raison suffisante dans un cas particulier, lorsqu'il donnait pour acquis qu'une balance chargée de poids égaux des deux côtés doit demeurer en équilibre, n'ayant aucune raison de pencher d'un côté plutôt que de l'autre. Dans sa troisième lettre à CLARKE (N^o 2), LEIBNIZ fait état de son principe pour une démonstration critique de la relativité du mouvement : « L'espace est quelque chose d'absolument uniforme et sans les choses qui s'y trouvent un point de l'espace ne se distinguerait en rien d'un autre point. Il s'ensuit que si l'espace était supposé être en soi autre chose encore que l'ordre des objets corporels, les uns par rapport aux autres, on ne saurait trouver de

raison au fait que Dieu tout en conservant les positions réciproques des corps, a situé ceux-ci comme ils le sont et non pas autrement ; pourquoi par exemple tout n'aurait pas été disposé inversement, avec l'Orient à la place de l'Occident... Mais si l'espace n'est pas autre chose que l'ordre et le rapport qu'on a dit, et qu'en l'absence des corps l'espace n'est vraiment rien, sinon la possibilité pour les corps de s'y disposer, les deux états que nous venons d'envisager, celui qui existe et celui que nous avons supposé à rebours, ne seront point différents l'un de l'autre »...

Le postulat que ces raisonnements impliquent est que : « si omnia utrobique se habeant eodem modo in Hypothesibus, nulla potest esse differentia in conclusionibus » (1).

C'est à ce corollaire, entendu dans le sens le plus large, que semble bien se réduire la portée générale du principe de LEIBNIZ. Pour expliquer ce que cela signifie il nous faudra revenir une fois de plus au motif essentiel du rationalisme de DEMOCRITE.

Nous avons déjà dit que selon l'esprit de ce rationalisme, la pensée est la pierre de touche de toute existence réelle : ce qu'on peut concevoir (sans contradiction) doit se trouver réalisé dans l'infini du Tout. LEIBNIZ a repris et approfondi ce motif en méditant sur l'idée même de la possibilité.

Il met en avant une nouvelle exigence de la raison et c'est celle de l'unité du Tout. On ne saurait admettre une représentation de la réalité dans son ensemble, telle que semblait l'indiquer le système atomistique, c'est-à-dire sous l'aspect d'une somme de parties indépendantes ; par conséquence la question de savoir si telle chose est ou n'est pas concrètement possible ne peut être décidée du fait que l'idée correspondante à cette chose n'implique aucune contradiction. S'il nous plaît encore d'appeler possible (au point de vue logique) tout ce qui est concevable (2) il nous faudra dire que les possibles ne sont pas tous *compossibles* ; autrement dit qu'il existe *a priori* un nombre infini de systèmes de possibilité ; chacun desquels correspond à un monde possible, mais ces mondes et ces

(1) *De Analyysi notionum et veritatum* dans « Opuscules et fragments inédits de Leibniz », par L. COUTURAT, Paris, 1903 (p. 389).

(2) « Possibiles sunt termini de quibus demonstrari potest nunquam in resolutionem occurruram contradictionem » (*Opuscules, etc.* de COUTURAT, p. 371).

systèmes s'excluent réciproquement ; et un seul d'entre eux parvient à l'actualité, c'est le monde où nous vivons.

LEIBNIZ dit encore : « Principium autem meum est, quid quid existere potest et aliis compatibile est, id existere quia ratio existendi prae omnibus possibilibus non alia ratione limitari debet, quam quod non omnia compatiblea. Itaque nulla alia ratio determinandi quam ut existant potiora quae plurimum involvant realitatis ».

Ici nous ferons remarquer en premier lieu que l'idée de LEIBNIZ s'accorde avec le critère auquel de nos jours encore nous avons recours pour discerner le possible de l'impossible.

Dans une discussion scientifique un savant d'aujourd'hui se sent lui aussi en devoir d'expliquer pour quelle raison telle chose qu'on jugerait *a priori* possible n'a aucune chance de se produire dans le monde de l'observation et de l'expérience ; et cette raison il la recherchera dans quelque incompatibilité du cas imaginé avec d'autres lois de la nature ; ainsi par exemple les astronomes expliqueront le fait que la masse d'un astre ne dépasse jamais une certaine grandeur, qui est à peu près de l'ordre de notre Soleil, en démontrant qu'une masse plus considérable se disloquerait d'elle-même.

Cependant la tendance téléologique qui inspire le raisonnement de LEIBNIZ ne peut manquer de paraître en contraste avec une intuition saine de la vérité scientifique. Il convient d'examiner plus à fond la pensée du grand philosophe pour saisir le sens scientifique caché sous les formules métaphysiques. Supposons donc qu'une cause y soit représentée comme fonction de l'effet x . En acceptant comme le veut la doctrine de GALILÉE le caractère univoque des causes, nous aurons ainsi :

$$y = f(x)$$

Alors un *maximum* ou un *minimum* de la fonction $f(x)$ — point de la courbe $y = f(x)$ où la tangente s'avère parallèle à l'axe des x — se distinguera des points avoisinants par le fait que pour ces derniers la fonction $x(y)$ prend généralement deux valeurs tandis qu'elle n'est déterminée que pour le seul point du *maximum*.

Aucun doute que LEIBNIZ n'ait eu précisément cela en vue lorsqu'il écrivait ce passage passablement obscur de la *Théodicée* (N° 8) :

« Comme en mathématiques, lorsqu'il n'y a ni *maximum* ni *mini-*

um, c'est-à-dire qu'il n'y a rien de distinct, tout est indifférent où, si cela n'est pas possible, il ne se produit rien du tout, ainsi en matière de sagesse divine on peut affirmer que celle-ci n'est pas moins réglée par les mathématiques, de façon que s'il n'y avait pas un optimum entre les mondes possibles, il n'en aurait produit aucun. »

On retrouve donc chez LEIBNIZ l'idée que l'évolution d'un phénomène naturel doit toujours correspondre à la détermination d'un *maximum* ou d'un *minimum*. De très anciennes observations ont influé sur pareille doctrine ; par exemple la loi de réflexion de la lumière peut-être déduite du principe d'après lequel le rayon lumineux s'astreint au plus bref parcours (HÉRON) ; et la loi de réflexion elle-même correspond au moindre temps nécessaire pour le parcours de la trajectoire (FERMAT).

Nous dirons plus loin comment ce critère a conduit à l'énoncé de lois importantes de la dynamique (celles qui s'expriment au moyen des principes dits de variation) ; mais nous pouvons relever dès à présent que des principes déduits apparemment d'une vision téléologique du monde peuvent fort bien trouver une justification appuyée sur les prémisses d'un déterminisme rigoureux ; et on a toutes raisons de supposer que ce fondement scientifique était plus ou moins présent à l'esprit des auteurs même quand ils poursuivaient une argumentation finaliste. Aussi CRUSIUS (1) a-t-il pu interpréter le principe leibnizien, en disant qu'il consiste dans la détermination univoque de tout ce qui arrive au moyen des causes ; seulement ces dernières sont envisagées non pas dans leur essence objective mais d'après leur représentation conceptuelle par la pensée humaine, qui fait apparaître la suite univoque des effets. PETZOLD a développé ce même point de vue. Il arrive (dit-il) que les circonstances au milieu desquelles a lieu un phénomène, nous permettent d'envisager comme également possibles *a priori*, différentes façons, dont ce phénomène a pu se produire. Mais on découvrira chaque fois que la succession de faits effectivement réalisée se distingue en un point décisif des autres séries que par hypothèse on suppo-

(1) C. A. CRUSIUS, *Ausfuerliche Abhandlung von dem rechten Gebrauche und der Einschraenkung des sogenannten Satzes vom zureichenden oder besser determinierenden Grunde* » (trad. en allemand de C. F. KRAUSE), Leipsick, Langenheim, 1766, V. particulièrement, p. 78 (la raison déterminante) et pp. 140, 141.

sait tout aussi possibles : tandis qu'à chaque mode de production hypothétique du phénomène on pourra toujours en opposer au moins un autre qui *a priori* se présentera avec « des droits égaux » (gleichberechtigt) ; cela n'est pas possible pour le mode réellement vérifié (1).

11. Importance heuristique du principe de raison : les axiomes de la dynamique.

Les distinctions subtiles de CRUSIUS et d'autres après lui n'ont pas beaucoup contribué à une compréhension plus approfondie du principe de raison suffisante découvert par LEIBNIZ. CRUSIUS a cherché et a plus ou moins réussi à établir une classification des rapports déterminants ; ce sont là des critiques minutieuses, d'une médiocre portée pratique et dont certains philosophes se montrent d'autant plus friands qu'ils ont davantage perdu le sentiment des intérêts scientifiques attachés à une idée ou à un principe. C'est pourquoi nous ferons mieux d'examiner quelques-uns des développements les plus importants auxquels a donné lieu le principe de LEIBNIZ dans le domaine de la science (2).

Ces développements sont ou semblent être de deux ordres :

1^o Applications du principe, grâce auxquelles on croit possible une démonstration *a priori* de quelques vérités générales, qui constitueraient les axiomes de la science ;

2^o Contrôle exercé à la lumière de ce même principe sur la possibilité de représenter suivant un certain ordre d'idées tel ensemble d'objets ou de phénomènes ; autrement dit : emploi du principe comme critère normatif de la construction scientifique.

Pour expliquer le premier point il nous faudra remonter dans l'histoire de la pensée au delà de LEIBNIZ, car c'est bien avant sa formulation du principe que des philosophes et des savants ont eu conscience de l'exigence rationnelle qu'il exprime.

(1) *Einfuerung in die Philosophie der reinen Erfahrung*, Leipsick, 1900 (V. aussi VAILATI, *Scritti*, p. 316).

(2) Cfr. F. ENRIQUES, *Il principio di ragion sufficiente nella costruzione scientifica*, dans « Scientia », 1908 et dans *Scienza e razionalismo*, Bologne, 1912.

On trouve déjà chez ARISTOTE (*Phys.*, IV, 8) ce raisonnement : si le mouvement d'un projectile qui a reçu une impulsion initiale, pouvait se poursuivre dans le vide, ainsi que le pensait DÉMOCRITE, il n'y aurait aucune raison pour que le corps lancé s'arrêtât en un lieu plutôt qu'en un autre et le mouvement devrait donc se continuer à l'infini ; cette conséquence qui ne saurait être qu'absurde pour une mentalité imbue de finitisme comme l'était le Stagirite, nous laisse probablement entrevoir la thèse de DÉMOCRITE, dont le système exigeait l'hypothèse d'un mouvement naturel des atomes, c'est-à-dire de notre principe d'inertie.

On peut découvrir l'intuition plus ou moins vague de ce principe chez tous les scholastiques et chez tous les penseurs de la Renaissance qui ont tant soit peu subi l'influence de la doctrine atomiste ; mais ce n'est que dans les œuvres de l'âge mûr de GALILÉE (1) que l'idée se révèle avec une pleine clarté et des applications fécondes (composition du mouvement d'inertie avec les variations de vitesse dues à la force). GALILÉE y a été amené par deux voies différentes : d'une part en réfléchissant sur les conditions qui pourraient rendre intelligible le système copernicain ; d'autre part en étudiant la chute des corps.

Les deux cheminements de la pensée sont indiqués dans le *Dialogue sur les deux principaux systèmes du monde*. L'auteur y examine le mouvement d'une boule sur un plan horizontal comme le cas limite d'un mouvement sur un plan incliné, en montée ou en descente et puisque dans ces derniers cas le mouvement est soit accéléré, soit retardé par la pesanteur, la déduction qui s'impose est que dans le premier cas — celui d'un plan horizontal — le mouvement devra continuer uniforme et à l'infini (2). Ensuite GALILÉE passe à la définition du mouvement relatif (*Ibid.*, p. 197) et remarque comment dans celui-ci on voit deux mouvements se composer ; cela l'amène à énoncer qu'un boulet « sorti d'une pièce [d'artillerie] continuerait son mouvement selon la ligne droite qui continue l'âme rectiligne du canon, n'était que son propre poids le fait décliner de cette ligne droite vers le sol » (*Ibid.*, p. 201). Ce principe d'inertie nous permet de comprendre la relativité du mouvement et de trouver réponse aux difficultés que soulèvent les adversaires

(1) Et non pas chez Léonard DE VINCI, (comme d'aucuns ont cru pouvoir affirmer. Cfr. l'art. « Inertie » dans l'*Encyclopédie italienne*).

(2) *Œuvres*, Edit. nationale, VII, p. 173.

de COPERNIC (*Ibid.*, p. 212) : « Enfermez-vous avec quelques amis dans la plus vaste cabine qui se puisse aménager sous le pont d'un gros navire et faites en sorte d'avoir dans cet espace clos des mouches, des papillons ou d'autres insectes ailés... ; vous verrez alors que le mouvement du navire ne trouble nullement celui de ces petites bêtes, mais au contraire s'y ajoute d'une façon qui ne permet pas de le sentir séparément. »

C'est donc au moyen d'une induction grandiose, en partant, pour une part au moins, de phénomènes familiers que GALILÉE est parvenu à saisir le principe d'inertie ; mais lui-même l'a sûrement considéré comme une vérité fondée en quelque sorte *a priori*, puisque ayant reconnu dans la force la cause non pas de la vitesse, mais de l'accélération il a vu qu'après élimination de cette cause le mouvement se maintenait sans changements. C'est ce que montrent clairement différents passages des « Discours et démonstrations mathématiques ayant trait à deux sciences nouvelles » (1).

Rien ne manquait vraiment à l'idée que GALILÉE possédait de l'inertie bien que son esprit toscan, plus porté vers les représentations concrètes que vers les généralités abstraites, n'ait pas senti le besoin d'exprimer cette loi de la nature par une formule abstraite et de portée universelle. La signification de celle-ci en est pleinement reconnue par BALIANI et G. BALLO, ainsi que par DESCARTES. Celui-ci y avait beaucoup réfléchi depuis une conversation qu'il avait eu vers la fin de 1618 avec un disciple de GALILÉE, J. BEECKMANN (3). « Je suppose » écrivait-il au père MERSENNE le 13 novembre 1629 « que le mouvement qui est une fois imprimé en quelque corps y demeure perpétuellement, s'il n'en est osté par quelque autre cause, c'est-à-dire que *quod semel in vacuo incipit moveri semper et aequali celeritate movetur* ». Le même principe est énoncé, en termes différents, dans les propositions 37 et 39 de la II^e partie des *Principia Philosophiae* (*Œuvres*, VIII, p. 62 et 63) et l'explication qui les suit montre le fondement *a priori* de ces propositions puisqu'elles se justifient par l'absence d'une cause susceptible d'accélérer ou de retarder le mouvement, lorsqu'aucune force n'intervient.

(1) *Œuvres*, vol. VIII (p. 243).

(2) Cfr. R. GIACOMELLI dans « *Atti dell'Accademia di Napoli* », 1912.

(3) V. *Œuvres* (éd. Adam et Tannery), I, 71-72 et X, 219.

Après quoi il semblera naturel que LEIBNIZ à son tour considère le principe d'inertie comme un axiome qui s'ensuit du principe de raison suffisante. Il évoque d'ailleurs l'« axioma philosophorum jam Aristotel i adhibitum : quidquid semel movetur semper moveri eodem modo, nisi superveniet impedimentum » (1) axiome dont l'évidence apparaît dès qu'on songe qu'il n'y a pas de raison valable pour que le mouvement s'arrête (de lui-même) à tel moment plutôt qu'un peu avant ou un peu après.

C'est toujours parmi les axiomes que prend place la première loi du mouvement dans les *Principes* de NEWTON : « Tout corps persévère en son état de repos ou de mouvement uniforme et en ligne droite, tant qu'aucune force qui s'exerce sur lui ne le contraint à changer d'état » ; cette loi prend toute sa signification lorsqu'il s'agit de composer le mouvement d'inertie avec la variation introduite par un champ de forces selon la *loi II*.

On peut dire que le caractère *a priori* de ces axiomes de la dynamique a été admis plus ou moins ouvertement par tous les mathématiciens-penseurs du XVIII^e siècle et ce point de vue sera encore défendu par maints philosophes du siècle suivant. Il suffira ici de citer d'ALEMBERT qui dans son *Traité de Dynamique* (2^e ed. Paris, 1757, p. 3) développe longuement les déductions à tirer du principe d'inertie pour conclure aux lois suivantes :

1^{re} LOI : Un corps en repos y persistera à moins qu'une cause étrangère ne l'en tire.

2^e LOI : Un corps mis en mouvement par une cause quelconque doit y persister toujours uniformément et en ligne droite, tant qu'une nouvelle cause, différente de celle qui l'a mis en mouvement, n'agira pas sur lui... »

Quelle importance attribuons-nous à ces témoignages historiques ? S'ils offrent la preuve que les principes de la dynamique n'ont pas été acquis comme des résultats directs d'observations ou d'expériences mais que pour les établir il a fallu apurer et justifier des vues de l'esprit faudra-t-il en conclure que la dynamique peut effectivement se prévaloir du rang de vérité nécessaire et universelle ?

Je ne pense pas que de nos jours un savant qui se rend compte des

(1) V. LEIBNIZ-COUTURAT, p. 625.

exigences actuelles de la pensée puisse adhérer à pareille conclusion. Il n'est que trop clair que les raisonnements par lesquels on a voulu établir les lois du mouvement de la façon que nous venons de retracer brièvement, n'acquièrent une force conclusive qu'à la condition d'avoir préalablement accepté une certaine représentation conceptuelle de la réalité. Même l'axiome pourtant si simple, selon lequel « deux forces égales appliquées à un point donnent une résultante d'après la bissectrice de leur angle », ne constituera une vérité *a priori* qu'aux yeux de celui qui aura admis que les forces (ou les causes déterminantes du mouvement) trouvent leur représentation idoine dans des vecteurs.

Ce jugement frappe également tout emploi du principe de la raison suffisante qui aurait pour but avoué d'en déduire des axiomes « scientifiques » ou des vérités universelles *a priori*. Mais cela ne porte aucune atteinte à l'importance « heuristique » du même principe ; et les progrès des sciences exactes ont abondamment confirmé cette importance .

12. *Causa aequat effectum.*

Lorsqu'il s'agit de phénomènes susceptibles de varier du « plus » au « moins », on pense naturellement qu'à toute variation de la cause une variation correspondante de l'effet devra suivre et même qu'entre les deux grandeurs ainsi mesurées il y aura un rapport de proportion ou d'égalité. C'est ce que supposent déjà ARISTOTE (DE CAELO, III, 2) et ses adeptes du Moyen Age (1) quand ils touchent à des problèmes de dynamique : la force étant pour eux la cause de la vitesse imprimée à un mobile, ils n'hésitent pas à affirmer qu'une force double fera doubler la vitesse. Dans les raisonnements de GALILÉE, de DESCARTES, de LEIBNIZ que nous avons cités aux paragraphes précédents, on a vu de même mettre en jeu un rapport de proportion ou d'égalité entre les effets et les causes. Mais du fait d'avoir vu dans ce rapport une loi générale nos philosophes ont tiré des conséquences importantes.

DESCARTES eut le premier l'idée grandiose de chercher dans le système des mouvements embrassant l'univers quelque chose qui

(1) V. P. DUHEM, *Léonard de Vinci, etc.*, vol. III, p. 58.

demeurerait invariable. « Dieu » dit-il dans les *Principia Philosophiae* (qui sont de 1644) : « ne change jamais sa façon d'agir et conserve le monde avec la même action qu'il l'a créé... il faut qu'il conserve maintenant... le mouvement qu'il y a mis dès lors, avec la propriété qu'il a donné à ce mouvement, de ne demeurer pas toujours attaché aux mesmes parties de la matière et de passer des unes aux autres, selon leurs diverses rencontres » (*Œuvres*, vol. IX, p. 87).

Pour un système cinétique où les mouvements uniformes des corpuscules élémentaires ne sont déviés ou modifiés que par les chocs réciproques, DESCARTES identifie l'invariant cherché avec la *somme des quantités de mouvement*, sans tenir compte (comme il aurait fallu) de la circonstance que ces « quantités de mouvement » se définissent comme des vecteurs, dont chacun a sa direction.

Vingt ans après HUYGENS entreprit de corriger cette théorie et de pousser plus à fond l'étude des chocs entre corps élastiques ; il mit ainsi en évidence la conservation de la somme des *forces vives* (qu'on obtient en multipliant la masse non pas par la vitesse mais par le carré de celle-ci). LEIBNIZ ayant soumis à un examen serré la conception cartésienne d'une « conservation de la force », arriva à se convaincre qu'évaluer la force en prenant pour base la quantité de mouvement c'est commettre une erreur qu'on corrigera précisément en substituant la notion « force vive » à celle de la force selon DESCARTES. Cette critique se trouve insérée dans les *Acta Eruditorum* de LEIPSICK (1686) sous le titre *Brevis demonstratio erroris memorabilis Cartesii...* (1). On pourrait avoir l'impression que la question ainsi débattue était de pure convention : la quantité de mouvement donne la mesure de la force qui produit une certaine vitesse en agissant pendant un temps donné, tandis que la force vive donne la mesure de la force qui agit pendant le parcours d'un espace donné ; pour un système isolé aussi bien la somme des « quantités de mouvement » que celle des « forces vives » demeurent constantes. Cependant la polémique était loin de se réduire à une dispute sur des mots. Un intérêt scientifique d'ordre bien supérieur s'y rattachait : car la somme (algébrique ou vectorielle) des quantités de mouvement ne peut pas, dès qu'on tient compte de l'orientation des vecteurs, passer pour une réserve de quelque chose que

1) V. *Mathematische Schriften*, ed. Gerhardt, 1860.

le travail consommera ; pour l'univers pris en entier ou pour un système isolé de corps qui se meuvent également dans toutes les directions, la valeur de cette somme peut être considérée comme nulle. Au contraire la somme des forces vives est essentiellement positive ; HUYGENS et LEIBNIZ ont reconnu que sa constance est ce qui rend impossible l'espèce de création *ex nihilo* de forces mécaniques, dont devrait s'avantager le « mouvement perpétuel ».

Cette découverte donne à LEIBNIZ l'occasion de formuler nettement l'équivalence des causes et des effets. Ainsi l'axiome I de l'*Essai de dynamique* déclare que : « La mesme quantité de la force se conserve ou bien l'effect entier est égal à sa cause totale ».

« Ostendo aequationem latentem inter causam et effectum nulla arte violabilem esse » (1). Et l'essai se termine par l'affirmation que la *réalité vraie* n'est pas le mouvement mais la force qui constitue quelque chose en plus de la quantité de matière, de la figure et du changement de lieu ; et c'est pourquoi il n'y a rien d'étonnant à ce que la nature ou Dieu aient établi la loi de conservation à l'égard non pas du mouvement (qui n'est que phénomène) mais précisément de ce qui est réalité.

Pour peu qu'on s'intéresse au sens historique de la science, on ne pourra demeurer indifférent à la lecture de ces réflexions. Surtout si on se rappelle que le principe des forces vives (conçu par LEIBNIZ en conformité avec un mécanisme démocrito-cartésien) devait s'étendre par la suite aux mécanismes newtoniens que gouvernent des forces centrales ; cela s'opéra en ajoutant à la somme des forces vives ce qu'on appela l'*énergie potentielle* ; et c'est de là qu'allait jaillir au XIX^e siècle la découverte de l'équivalence mécanique de la chaleur, ainsi que le grand principe général de la *conservation de l'énergie*.

MAYER (1842), JOULE, COLDING et HELMHOLTZ ont contribué, comme on sait, à cette découverte qui était déjà implicite dans l'hypothèse mécaniste et qui toutefois a dû longtemps attendre l'heure de son éclosion. La plus grande partie des savants que nous venons de mentionner s'inspirent d'ailleurs directement de cette hypothèse et l'invoquent pour expliquer la portée du résultat qu'ils ont obtenu. Mais le premier en date, Robert MAYER médecin et guère mathématicien, ne savait rien d'une théorie mécaniste ; malgré

(1) *Mathematische Schriften*, éd. Gerhardt, bd VI, p. 201.

cela il prend pour point de départ de ses recherches le principe : *causa aequat effectum* (1). Il avait fallu presque deux siècles, pour que prit consistance cette idée déjà présente à l'esprit des premiers mécanistes : que la chaleur est le mouvement des particules dans un corps et que par conséquent l'augmentation de la température nous donne la mesure du mouvement communiqué à ces particules par un choc ou par le frottement avec un autre corps. Si l'on songe à ces péripéties de la recherche scientifique, on ne lira pas sans émotions cette phrase, où LEIBNIZ, en répondant à l'objection que dans un choc entre deux corps *non-élastiques* la force se perd, semble avoir la prescience d'une découverte encore lointaine : « ce que perdent les corps pris en leur entier, leurs parties le reçoivent lorsqu'elle sont agitées intérieurement par la force du choc. La perte n'est qu'apparente. Les forces ne sont pas anéanties mais seulement dispersées entre les moindres parties. Cela ne signifie pas une disparition ; c'est plutôt comme lorsqu'on fait la monnaie d'une grosse pièce d'argent (2). »

Toutefois ce principe même : *causa aequat effectum* demeure vague et obscur. Quel sens précis lui peut attribuer un critique moderne ?

Pour peu qu'il soit enclin au scepticisme, il observera que la mesure des phénomènes désignés sous les noms de « causes » et d'« effets » est définie au moyen d'une fonction arbitraire et que par conséquent le rapport causal devra se traduire par un lien fonctionnel quelconque $y = f(x)$.

C'est ce que déclare en effet l'esprit logique de notre temps par l'organe de ses représentants les plus remarquables. Tel par exemple Henri POINCARÉ qui ajoute : si la fonction $f(x)$ est différentiable (ce qui est le cas le plus fréquent) les petites variations des causes seront des fonctions linéaires des petites variations dans les effets

$$dy = f'(x) \cdot dx;$$

on peut donc dire que dans l'infinitésimale les variations-effets sont généralement proportionnelles aux causes qui les produisent.

Il y a cependant chez LEIBNIZ quelque chose de plus que de la logique : il y a l'intuition, peut-être pas tout à fait claire, d'une

(1) V. *Die Mechanik der Waerme* (dans la collection Ostwald), p. 3.

(2) *Œuvres*, éd. Erdmann, p. 775.

exigence rationnelle qui en partie a déjà trouvé son expression dans le fait de supposer une dépendance fonctionnelle mais dont l'essentiel est d'orienter l'effort scientifique vers la recherche de quelque chose qui demeurerait invariable à travers les transformations phénoméniques et qu'il nous serait donc loisible de concevoir comme l'objet réel de notre science. Nous devons revenir sur ce point pour expliquer mieux le sens qu'acquiert cette exigence chez les philosophes contemporains de la science. Ici nous observerons seulement comment LEIBNIZ savait fort bien qu'il s'agissait d'évaluer les causes et les effets en leur trouvant une mesure appropriée ; il admettait toutefois *a priori* qu'on pouvait établir une *mesure naturelle* grâce à laquelle le rapport causal se laisserait traduire par une égalité parfaite. C'est ce qu'il expliquait dans l'*Essai* déjà cité : « pour expliquer les choses *a priori* il faudrait estimer la force par la quantité de l'effet, prise d'une certaine manière qui a besoin d'un peu plus d'attention pour être bien entendue ».

13. Principes du maximum ou du minimum.

Une autre série d'applications des idées de LEIBNIZ sur la raison suffisante se rapporte aux lois de la nature qui correspondent à des problèmes de *maximum* ou de *minimum*. Rappelons en premier lieu le *principe de la moindre action* portant le nom de MAUPERTUIS (1744) auquel il ne serait que juste d'associer celui d'EULER puisque c'est en tout cas ce dernier qui a donné au principe en question sa forme exacte.

La *quantité d'action* que le principe affirme être la moindre possible dans chaque opération dynamique, se mesure en calculant pour chaque élément du système le produit de la masse par l'espace parcouru ou le produit de la force vive par le temps (et — d'après EULER — en prenant la moyenne des deux produits) ; sans remonter à la tradition plus ancienne, rappelons que l'idée d'une telle mesure se trouve déjà chez LEIBNIZ (1) de sorte qu'on peut dire, en tenant compte aussi de ce que nous avons dit plus haut, que MAUPERTUIS demeure dans le sillage des conceptions leibniziennes, même si on juge apocryphe le fragment d'une lettre que LEIBNIZ

(1) *Mathemat. Schriften*, P. II, Bd II, p. —45.

aurait adressée à HERMANN et qui, publiée en 1751 par KOENIG, dans l'intention de contester à MAUPERTUIS et à EULER la priorité du principe même de la moindre action déclancha une fameuse polémique (1).

Le *principe de Maupertuis-Euler* se retrouve inclus ou répété, sous des aspects quelque peu différents, dans d'autres formules telles que le *principe du moindre effort* de GAUSS, le *principe de HAMILTON* et le *principe de la voie la plus directe* de HERTZ qui mettent en lumière tantôt l'une tantôt l'autre des conditions dans lesquelles se réalisent le *maximum* ou le *minimum* d'un processus dynamique. Un exemple relativement simple suffira à donner une idée de ce que signifient ces principes. Si on suppose qu'un point matériel sur lequel aucune force n'exerce son action, doit se mouvoir sur une surface, la trajectoire sera une géodésique de cette surface, c'est-à-dire la ligne la plus brève qui s'y puisse tracer entre deux points. Un principe de ce genre fait immédiatement songer à une interprétation téléologique : le chemin parcouru par le corps en mouvement est précisément celui qu'il « choisirait » pour se transporter d'un lieu à l'autre par la voie la plus courte possible. Mais comment attribuer pareille astuce à un minuscule fragment de matière ?

Aux yeux d'EULER — comme déjà à ceux de LEIBNIZ pour des questions analogues — l'honneur en revient à l'Auteur de toutes choses. La perfection et la sagesse du Créateur sont un motif suffisant pour expliquer par des causes finales tout ce qui se passe dans l'univers ; c'est pourquoi « omnes naturae effectus sequuntur quandam maximi minimive legem (2) » bien qu'il ne soit pas facile dans chaque cas particulier de définir *a priori* cette propriété, en invoquant des principes métaphysiques.

Aujourd'hui cette façon de justifier les lois de la nature par des causes finales nous semble confondre d'une manière déplorable la science avec la théologie ; et d'ailleurs, en ce qui concerne les principes de variations mentionnés tout à l'heure, on les démontre en se fondant sur les *équations du mouvement*, telles qu'elles ont été établies (avec le principe des travaux virtuels, à travers le postulat

(1) V. H. HELMHOLTZ, *Zur Geschichte des Princips der Kleinsten Action in Wissenschaftliche Abhandlungen*, III, p. 249.

(2) *Methodes inveniendi lineas curvas maximi minimive proprietate gaudentes*, Lausanne, 1744, Add. II, p. 309.

de D'ALEMBERT) dans la dynamique analytique de LAGRANGE (1). Et pourtant l'apparence téléologique que conservent ces principes continue à offrir aujourd'hui encore un sujet de réflexions ; il faut tout au moins se rendre compte de cette circonstance historique : que, ne serait-ce qu'en ce qui concerne la découverte des premiers de ces principes, le point de vue finaliste s'est révélé d'une efficacité heuristique remarquable pour le développement de la science. Mais nous avons déjà essayé d'indiquer comment les principes invoqués exprimaient une exigence du déterminisme, étant donné que le *maximum* et le *minimum* correspondent à une détermination univoque des effets de la part des causes qui les produisent. Reportons-nous, par exemple, au mouvement d'un point sur lequel aucune force n'agit et qui se meut sur une surface. Dans cet ordre d'idées il n'est guère malaisé de donner raison du fait que le mouvement s'effectuera selon une géodésique. Il s'agit, en effet, de reconnaître la nécessité de voir satisfaite pour la trajectoire et par rapport à la surface en question — ou à son paraboloïde osculateur en un point O — la propriété différentielle caractéristique : plan osculateur normal à la surface. Or si on suppose qu' O se déplace selon une direction o , tangente à notre surface, il suffira de remarquer que quand le plan osculateur de la trajectoire parcourue ne serait pas le plan normal ω , mais serait un plan α par o incliné sur ω , il n'y aurait aucune raison de préférer le plan α à son symétrique par rapport à ω , car ce symétrique remplirait exactement les mêmes conditions, pourvu que soit admise la réversibilité du mouvement, c'est-à-dire que la trajectoire de notre point mobile demeure la même lorsque la direction de la tangente o est invertie (2).

Les principes du maximum ou du minimum se justifient donc pour ce qu'ils expriment par rapport à l'exigence du déterminisme. Si on songe d'ailleurs que le Dieu de LEIBNIZ et d'EULER n'était en somme autre chose que l'ordre dans la Nature, on ne trouvera guère étrange que le sentiment de la perfection divine, c'est-à-dire de l'unité du Tout ainsi que de l'harmonie et beauté des lois natu-

(1) V., par ex., LEVI-CIVITA et AMALDI, *Lezioni di Meccanica razionale* (Bologna, 1927), P. II, vol. II, p. 488-526.

(2) Sur la question générale des principes finalistes dans la dynamique, v. aussi ERNST MACH, *Die Mechanik in ihrer Entwicklung*, 4^e éd., Leipzig, 1901, chap. IV, 2.

relles, impliquât un encouragement très efficace à découvrir de vérités scientifiques plus ou moins « cachées » ; de même que le sentiment esthétique des nombres et des figures excite souvent les meilleures intelligences à découvrir des vérités mathématiques très importantes.

14. Le principe de raison en tant que critère normatif de la construction scientifique.

Nous avons insisté sur le fait que la prétendue déduction des axiomes ou des lois de la nature du principe de raison suffisante est dénuée de force probante et cela parce que cette déduction se fonde sur une certaine représentation conceptuelle des phénomènes ; la déduction ne saurait donc établir les lois en question, mais elle a servi à reconnaître que ces lois sont nécessairement impliquées dans la représentation rationalisée, à laquelle nous sommes parvenus par voie d'induction. La véritable portée du principe de raison suffisante se manifestera par conséquent, dans les cas où la représentation conceptuelle qu'on a adoptée, aura besoin d'un contrôle. Il se peut que la théorie que l'on a construite repose sur des observations et des expériences dont il y a lieu d'approfondir l'interprétation, et que l'on entrevoit la nécessité d'une retouche ; c'est souvent le principe de raison suffisante qui en excluant certain choix des concepts nous indiquera le sens de la revision à effectuer. En ces cas le caractère véritable du principe apparaîtra en pleine lumière : non pas comme un principe *a priori* de toute science, mais comme un critère normatif de la construction scientifique. D'ailleurs sa valeur heuristique sera démontrée par toute modification de la théorie proposée qui nous permette un meilleur enchaînement des faits répondant à une réalité plus étendue.

Cet emploi du principe de LEIBNIZ dans l'histoire de la pensée scientifique est illustré par des exemples célèbres parmi lesquels il nous sera permis de choisir ceux qui ont spécialement trait à des théories scientifiques de l'époque la plus récente.

Citons d'abord le principe de symétrie de *Curie*, invoqué et appliqué avec succès par ce savant dans ses recherches sur la physique des cristaux : « Lorsque certaines causes produisent certains effets, les éléments de symétrie des causes doivent se retrouver dans

les effets produits »... « Lorsque certains effets révèlent une certaine dissymétrie, cette dissymétrie doit se retrouver dans les causes qui leur ont donné naissance » (1).

Rappelons ensuite la stéréochimie de VAN'T HOFF où le modèle à deux dimensions de la molécule constituée par un atome de carbone saturé avec quatre atomes ou groupes atomiques différents a été remplacé par le modèle solide en situant les quatre atomes aux sommets d'un tétraèdre et non plus d'un carré. En effet le schéma du carré aurait laissé supposer l'existence de trois composés différents du type en question, alors qu'il n'y en a que deux, correspondant aux deux sens (hélicoïdales) possibles du tétraèdre.

On peut ajouter encore que la grande idée de MAXWELL touchant l'identité des ondes lumineuses et des ondes électro-magnétiques a été inspirée par le besoin d'expliquer la coïncidence de deux nombres (exprimant la vitesse de transmission).

De même la théorie générale de la relativité d'EINSTEIN correspond dans la pensée de son auteur au dessein de trouver une raison à la coïncidence de la masse d'inertie avec la masse d'attraction des corps.

Indiquons enfin une série de cas où les physiciens-mathématiciens appliquent délibérément le principe de raison suffisante comme méthode de contrôle de leurs théories. Lorsqu'ils ont réussi à représenter un phénomène donné — par exemple, la propagation de la chaleur dans un conducteur — au moyen d'un système d'équations différentielles, ils s'imposent de démontrer que les intégraux de ce système existent et demeurent déterminés de manière univoque par les conditions aux limites. Ces théorèmes, énonçant l'existence et la détermination univoque ne font que traduire simplement le caractère univoque du phénomène dans les conditions qu'on a au préalable fixées comme déterminantes. Et on y a recours pour donner la preuve que la théorie proposée est tout au moins plausible.

(1) *Œuvres* de PIERRE CURIE publ. par la Société française de Physique, Paris, 1908. Préface de M^{me} Curie. Cfr. F. ENRIQUES, « *Il principio di ragion sufficiente nella costruzione scientifica* » I. c.

15. Réalisme dialectique.

Si LEIBNIZ a cru que le principe de raison suffisante exprimait en même temps une loi universelle de la nature et une condition de l'intelligibilité du réel ou — comme nous disons aujourd'hui — un critère normatif de la construction scientifique ; si en somme il a semblé identifier la valeur objective de ce principe avec sa valeur subjective cela n'a nullement tenu à une confusion d'idées, mais bien au fait de supposer une harmonie préétablie entre l'entendement humain et la réalité universelle dont l'homme et sa pensée font partie.

C'est encore une idée qui nous vient de l'héritage hellène ; DÉMOCRITE l'exprimait peut-être déjà en disant que l'« homme est un microcosme » (p. 34). En tout cas PLATON traduisait par le mythe des idées, dont nous apportons le « souvenir » en naissant, sa conviction que les vérités mathématiques sont quelque chose que l'esprit humain tire de son propre sans recours à l'expérience. Les stoïciens ont adhéré sur ce point à la tradition platonicienne en supposant l'existence de *notions naturelles* ou de *notions communes et innées*. La doctrine de ces écoles, transmise par le Moyen-Age, a été reprise par les penseurs rationalistes de l'âge moderne : par Descartes, par Leibniz et en général par les philosophes mathématiciens qui sont naturellement portés à considérer les connaissances mathématiques, en raison de leur évidence ou de leur nécessité intuitive et de leur signification rigoureuse, comme d'une espèce différente et supérieure par rapport aux connaissances empiriques.

Cette présupposition — qui est un trait dominant du rationalisme métaphysique — est destinée à être renversée par la critique empiriste ; en attendant elle conduisait à l'admission d'un parallélisme parfait entre l'ordre des idées dans la pensée et l'ordre des choses dans la nature. Le rapport de succession qu'on croit constater dans la réalité physique entre les objets ou les phénomènes qualifiés de causes et d'effets se reflète dans le rapport de dépendance logique en vertu duquel l'idée de l'effet est déduite de l'idée de la cause. Ce *réalisme dialectique* a trouvé son expression la plus haute dans le système métaphysique d'un grand philosophe contemporain de LEIBNIZ, BARUCH SPINOZA. La formule très nette est énoncée dans la proposition VII de la seconde partie de l'*Ethi-*

que : « Ordo et connexio idearum idem est ac ordo et connexio rerum. »

Dans les démonstrations de deux théorèmes qui viennent un peu après (Prop. XIX et XX) la même formule est rappelée, en substituant à la « connexio rerum » la « connexio causarum ». D'ailleurs le réalisme dialectique apparaît déjà dans les axiomes III et IV de la première partie ; et notamment cet axiome IV est invoqué dans la preuve de la proposition VII (de la 2^e partie) mentionnée tout à l'heure : « Ex data causa determinata necessario sequitur effectus, et contra si nulla detur determinata causa impossibile est ut effectus sequatur » ... « Effectus cognitio a cognitione causa dependet et eandem involvit ».

Ces axiomes répondent d'ailleurs à la Définition III : « Per substantiam intelligo id quod in se est, et per se concipitur : hoc est id, cuius conceptus non indiget conceptu alterius rei, a quo formari debeat ».

L'identification du « in se est » avec le « per se concipitur » exprime exactement le parallélisme que SPINOZA concevait entre l'ordre de notre entendement et l'ordre de la nature.

16. L'empirisme psychologique de Locke.

En admettant une harmonie préétablie entre l'ordre des idées et l'ordre de la réalité, le rationalisme métaphysique donnait naissance à un problème de la connaissance qui virtuellement a dû se poser devant l'esprit en des termes scientifiques, dès que celui-ci eut reconnu l'importance des mathématiques en ce qui concerne l'étude de la nature. Par quelle disposition miraculeuse l'intelligence de l'homme se trouve-t-elle en possession d'une science innée ? Et comment se fait-il d'autre part que si souvent l'esprit humain ait aliéné ce patrimoine de vérité, don gratuit de Dieu et se voit égaré dans l'erreur ?

La philosophie anglaise, de LOCKE à BERKELEY, s'est appliquée à éclairer ce problème avec une méthode et une tendance bien marquées. Quoiqu'elle reprenne certains motifs de la pensée antique (en l'espèce certains raisonnements des Sceptiques) elle se montre, dans ses développements, préoccupée surtout de soumettre à un examen critique le rationalisme mathématique dont nous venons

d'évoquer les étapes principales et elle s'en prend particulièrement à DESCARTES, auquel elle se déclare ouvertement adverse.

Si d'une façon quelconque il nous arrive de constater une certaine correspondance entre les choses et les idées dont notre intelligence se trouve pourvue pour représenter ces choses mêmes, l'explication la plus simple que nous puissions donner de ce fait semble bien être que les idées ont été suscitées par les choses ; ce sera donc en étudiant comment les idées se forment dans notre esprit qu'on arrivera à découvrir leur véritable origine.

C'est ce but précis que se pose JOHN LOCKE. Et c'est en appliquant la méthode psychologique qu'impliquait la façon même de poser le problème qu'il développe dans son célèbre « Essai sur l'entendement humain » (« An Essay concerning Human Understanding », 1690) une critique de l'intelligence. La thèse des *idées innées* y est explicitement confutée.

LOCKE emploie le terme d' « Idée » pour désigner n'importe quel objet de la pensée et (après avoir consacré le Livre I à la confutation que nous avons dit) il entreprend de montrer comment toutes les idées sont acquises au moyen de la sensation et de la réflexion. Il admet d'accord sur ce point avec ses adversaires rationalistes qu'il existe des *idées simples* (II, 2) ; celles-ci se présentent distinctement à la sensation et à la réflexion et on ne peut pas les décomposer en éléments plus primordiaux (exemples : le froid, le dur, le blanc, etc.). L'intelligence les reçoit donc comme des *données* et presque toujours en les « subissant » d'une façon passive. Alors qu'au contraire les *idées complexes* sont composées par l'entendement qui emploie les idées simples comme des matériaux dans cette activité fondamentale qu'est l'association psychologique (II, 12).

Les idées simples que nous apporte la sensation sont à considérer comme « produites naturellement et régulièrement par les choses et [comme] représentant ces choses sous les apparences qu'elles peuvent produire dans notre esprit (IV, 4, § 4).

Cependant LOCKE concède une extension de cette activité acquiescitive en se conformant aux principes exprimés par NEWTON dans les *Regulae Philosophandi* : il admet en effet la possibilité pour la pensée d'étendre à ce qui n'est point perceptible des attributs ou des façons d'être que nous retrouvons constamment dans les objets perçus. Ainsi est-il amené à reprendre la distinction que DÉMO-

CRITE, GALILÉE, DESCARTES, NEWTON avaient déjà faite entre deux genres de qualités de la matière. D'abord les *qualités premières* qui demeurent inséparables des corps, puisque les sens les perçoivent toujours dans toute partie de matière suffisamment grande et que la pensée ne peut s'empêcher de les attribuer aussi aux parties trop petites pour être perçues ; selon LOCKE (comme pour GALILÉE et NEWTON) cette classe comprendrait non seulement les qualités cartésiennes de l'*étendue* et de la *figure* mais aussi la *solidité*, l'*im-pénétrabilité* et la *mobilité*. Ce sont ces qualités premières qui produisent en nous des idées simples ressemblant aux objets dont elles fournissent le modèle (I. II, chap. 8, § 15). Au contraire les *qualités secondaires* (odeur, couleur, etc.) n'existent effectivement dans les corps qu'en tant que puissance de produire différentes sensations au moyen des qualités premières de ces mêmes corps (§ 10) en excitant en nous des idées par l'action de particules imperceptibles sur les organes de nos sens (§ 13).

Le livre III développe une critique profonde des idées générales dans le sens du nominalisme et du terminisme : le terme général n'est que l'abstraction d'un groupe d'idées que l'entendement humain a associé, et de même, les « espèces » sont des constructions de l'intelligence humaine bien qu'elles soient fondées sur une ressemblance réelle entre des choses individuelles (III, a). La tendance critique qui se donne cours dans ces analyses aurait dû s'attaquer aussi au fantôme des « idées simples » qui en effet appartiennent à une conception rationaliste tout à fait opposée à celle de LOCKE ; mais c'est une circonstance historique digne de remarque que cette notion se soit montrée résistante au point de survivre encore et avec beaucoup de vigueur chez bon nombre de penseurs empiristes venus après l'auteur de l'« Essai sur l'Entendement ».

17. La définition de Berkeley : *esse est percipi*.

Du fait qu'il admettait les qualités premières de la matière, l'empiriste LOCKE avait respecté cette présupposition des rationalistes que la pensée serait à même de saisir dans la figure et dans le mouvement quelque chose qui existe dans l'« objet en soi », et ainsi de toucher à une réalité au delà de nos sensations. Cela impliquait la possibilité pour la science d'atteindre cet idéal de vérité que GALILÉE avait exprimé d'une façon pittoresque, en disant : « la vérité que

nous font connaître les démonstrations mathématiques est celle-là même que connaît la sagesse divine » (*Œuvres VIII*, p. 129).

La logique de l'empirisme et aussi l'aversion du croyant pour une mécanique où il entrevoyait une menace contre la religion, ont amené Georges BERKELEY à confuter cette prétention.

L'analyse des idées qui tirent leur origine de la vue (1) fut ce qui le persuada d'abord que la distance des objets ou les propriétés de leurs figures ne constituent point le véritable contenu de pareille sensation ; que ces « données » ne sont nullement perçues en elles-mêmes par l'œil, ni acquises à l'aperception ou au jugement grâce à des lignes ou à des angles et moyennant quelque chose qui s'avérerait en liaison nécessaire avec l'étendue et la forme géométrique, mais que la notion de ces prétendues « qualités premières » est imposée à notre esprit par l'association de certaines sensations ou de certaines idées qui accompagnent la vision.

Or si dans les idées qui se rapportent aux qualités premières de la matière il n'y a rien de plus réel que dans les idées concernant les qualités secondaires, que dirons-nous de l'existence même des choses, en dehors du sujet qui les perçoit ? (2)

BERKELEY invite les philosophes à réfléchir sur « ce qu'on entend par le mot *exister* lorsqu'on l'applique aux choses sensibles... Quand je dis que cette table sur laquelle j'écris, existe, j'entends par là que je la vois et que je la touche ; et si j'étais sorti de mon cabinet de travail je dirais encore qu'elle existe, en entendant par là que je pourrais la percevoir dès que je serais revenu dans la chambre où elle se trouve et qu'en ce moment même un autre esprit peut fort bien la percevoir... C'est tout ce que je puis laisser entendre en employant ces expressions ou d'autres du même genre. Tout ce qui a été dit sur l'existence de choses non douées de pensées et en dehors de tout rapport avec leur perception par quelqu'un, me semble parfaitement inintelligible. Leur « être » c'est *d'être perçues. Esse est percipi* ».

Il serait difficile d'apporter plus de clarté à cet énoncé. L'idée abstraite de l'existence ou de la « réalité physique » a besoin d'être définie par l'explication de ce que nous entendons dans chaque cas particulier où nous disons que quelque chose existe. Passer du phé-

(1) *An Essay towards or New Theory of Vision*, 1709.

(2) *Treatise on the principles of human knowledge*, 1710 (n° 3).

nomène à l'objet qui existerait de par lui-même comme cause du phénomène, ce serait faire une application transcendante du principe de cause en voulant établir un rapport causal, complètement inintelligible entre des objets hétérogènes (*l. c.*, n° 79). En tout cas on serait amené à cette conclusion sceptique qu'il nous est impossible de reconnaître « si les choses perçues sont conformes à celles que nous ne percevons pas et qui existent hors de notre esprit » (*l. c.*, n° 86). Il est vrai que le sens commun nous apprend que l'affirmation d'un objet est étroitement liée à la causalité, mais cela signifie seulement que l'objet implique toujours un ensemble de perceptions ou de volitions et de sensations qui dépendent de lui comme nous aurons l'occasion de l'expliquer mieux dans la suite de notre exposé. En tout cas on ne sort jamais du monde des phénomènes, tels qu'ils sont donnés au sujet en acte de percevoir.

18. La critique de la causalité par David Hume.

BERKELEY n'a qu'incidemment touché le problème du rapport de cause à effet. HUME en fit l'objet d'une critique approfondie qui représente son apport le plus important à la philosophie. Pour comprendre bien cette critique il faut encore revenir à la thèse rationaliste du réalisme dialectique. Empiriste résolu, HUME entreprend de démontrer que dans le rapport de cause à effet il n'y a aucune liaison *nécessaire*, ayant un sens dans le domaine de la réalité physique ; en effet si la cause et l'effet nous sont donnés comme deux phénomènes, il n'y a rien dans la perception de l'un d'eux qui doive nécessairement nous mener à l'autre ; de l'idée de l'un d'eux on ne déduit pas logiquement l'idée de l'autre ; et c'est seulement le fait que la même succession se répète constamment, qui fait naître dans notre esprit, par force d'habitude, une succession d'idées, de sorte que l'idée de la cause évoque celle de l'effet, et la sensation du premier de ces phénomènes suscite l'attente de la sensation du second.

Cette thèse est développée avec ampleur dans le *Treatise of human Nature* (1739) et l'auteur la reprend dans ses *Essais* qui sont de 1748 et plus particulièrement dans l'*Inquiry concerning human Understanding*.

C'est dans ces œuvres qu'il faut chercher l'idée que HUME se fait de la cause. On aperçoit tout de suite qu'il considère l'aspect phénoménique et objectif de ce rapport comme devait le faire un empi-

riste, entièrement rallié aux idées de BERKELEY et par conséquent adversaire décidé du mécanicisme. Cependant la première définition qu'on trouve dans le *Traité* (à la section XIV « sur l'idée de liaison ») maintient, d'après la conception rationaliste la « contiguïté » de la cause et de l'effet qui se fonde sur l'impossibilité de concevoir une action à distance sans intermédiaires dans l'espace et dans le temps. En effet HUME définit la cause comme « un objet qui précède un autre, et qui lui est contigu ; à la suite de quoi tous les objets qui ressemblent au premier sont mis en rapports semblables de précedence et de contiguïté à l'égard d'objets qui ressemblent au second ».

Ou encore : « une cause est un objet qui précède un autre et lui est contigu, et se trouve uni à ce dernier de telle sorte, que l'idée de l'un pousse l'esprit à former l'idée de l'autre et l'impression qu'on a du premier provoque la formation d'une idée plus vive du second ».

Cette idée de la contiguïté entre la cause et l'effet disparaît dans l'*Essai* (sect. VII) et on trouve même dans l'édition de 1753-1754 la définition du *Traité* (et que nous avons citée plus haut) reproduite textuellement, mais en supprimant l'allusion à cette condition de contiguïté (1). Cela semble bien indiquer qu'une notion positiviste de la cause, telle que la doctrine de NEWTON pouvait l'inspirer, a mûri dans l'esprit de HUME. NEWTON en effet avait laissé tomber la recherche des « vraies causes », pour ne considérer en tant que causes et effets que les phénomènes entre lesquels on constate invariablement un rapport de succession.

Cependant HUME ne met pas en doute ce qui constitue le contenu de notre croyance en un ordre causal ou (pour nous exprimer comme MEYERSON) le *principe de légalité* qu'on affirme en supposant pareil ordre. HUME reprend donc les critères de GALILÉE lorsqu'il admet dans les *Règles pour juger des causes et des effets* (*Treatise*, sect. XV) que « la même cause produit toujours le même effet, et le même effet provient toujours de la même cause » et que « quand nous voyons différents objets produire le même effet, il faut l'attribuer à quelque qualité commune à ces objets ». Et encore : « quand un objet augmente ou diminue à mesure qu'augmente ou diminue la cause qui le produit, il faut le considérer comme un effet complexe qui dérive de l'union d'effets différents, que produisent des parties différentes de la cause ».

(1) « La cause est un objet, suivi d'un autre et de telle façon que tous les objets semblables au premier sont suivis d'objets semblables au second. »

Cette espèce d'atomisme causal, je veux dire : cette façon de concevoir les causes et les effets simples en un rapport de succession univoque et linéaire se retrouvera chez le philosophe qui représente le mieux l'empirisme anglais du XIX^e siècle. John Stuart MILL nous offre dans ses célèbres canons du raisonnement inductif une décomposition analogue des phénomènes, en les réduisant à un schéma à l'aide de symboles A, B, C, D, etc...

Et pourtant, même si on concède que le postulat de l'*uniformité de la nature* est le résultat d'une induction partie d'observations et d'expériences familières pour arriver aux conclusions les plus générales, la difficulté demeurera pour l'empiriste de justifier la *simplicité de la nature* : car cette idée implique une abstraction tout à fait contraire à l'esprit du nominalisme empirique, puisque en somme elle est inspirée par un réalisme inconscient et presque une adhésion tacite au système des Idées platoniciennes, où l'enchaînement des définitions et la série des déductions a pour point de départ précisément les Idées de moindre compréhension et d'extension maximale.

On est donc en droit de conclure que l'empirisme n'a pas été porté par HUME, ni même un siècle plus tard par Stuart MILL à ses extrêmes conséquences logiques que nous verrons développées dans le sens du scepticisme. Chez HUME comme chez MILL la doctrine s'oriente vers ce qui constitue le but véritable de la philosophie positive : consolider la science en traçant les limites de son contenu objectif.

19. Le sensualisme de Condillac.

Lorsque LOCKE essayait d'expliquer la connaissance humaine en recherchant l'origine psychologique des idées dans les sensations et leur association, il ne touchait pas au problème des activités de l'esprit. A ses yeux la faculté de connaître et de raisonner demeurait quelque chose d'inné. Mais il est évident que si l'on développe plus à fond le motif de l'empirisme la question se posera de rechercher dans ces mêmes sensations la cause de l'origine des facultés qui constituent l'entendement humain. Le sensualisme de l'abbé DE CONDILLAC représente l'effort le plus considérable qui ait été fait pour résoudre le problème dans ce sens. CONDILLAC avait sans doute des précurseurs dans la tradition de la pensée française : il y avait l'empirisme de GASSENDI, calqué sur l'enseignement d'ÉPICURE et de LUCRÈCE ; il y avait aussi la thèse de DESCARTES qui tout en

octroyant à l'homme une âme selon le spiritualisme — faisait des animaux de simples automates, ce qui ne pouvait manquer de pousser des esprits conséquents à chercher pour l'intelligence humaine aussi une explication mécanique ou tout au moins une détermination par des influences extérieures. Ces tendances s'affirment dès les débuts du matérialisme français dans l'*Histoire naturelle de l'âme* (1745) et dans *L'Homme-machine* (1748) de J. O. DE LAMETTRIE disciple à la fois de GASSENDI et de DESCARTES. Mais c'est surtout l'abbé BONNOT DE CONDILLAC qui s'y appliqua, sous l'influence directe de la critique de LOCKE et de BERKELEY, dans l'*Essai sur l'origine de la connaissance humaine* (1746), puis dans le *Traité des sensations* (1754). Sa théorie sensualiste a pour point de départ l'hypothèse célèbre d'une statue d'abord privée de toute sensibilité et animée ensuite par étapes successives, en recevant d'abord le sens du toucher puis celui de l'odorat, etc. Ainsi l'auteur essaie d'expliquer d'une manière systématique et complète comment l'homme a pu acquérir progressivement les différentes facultés de l'intelligence, laquelle, de par ce fait se trouve ne contenir rien qui ne soit empreinte ou image réfléchie de la réalité extérieure.

Ce sensualisme, ainsi que le matérialisme contemporain qui s'y rattache étroitement ont exercé un ascendant formidable sur la pensée novatrice du XVIII^e siècle ; ils ont poussé le public cultivé à s'émanciper des croyances religieuses et à former cet idéal nouveau du bonheur et de la dignité humaine que la Révolution devait proclamer. Ce furent là aussi les motifs généraux d'une réaction et de cette critique plus approfondie des « premiers principes » qui constitue l'œuvre historique d'Emanuel KANT.

20. La critique de Kant.

La théorie de la connaissance qui s'exprime dans l'empirisme et dans le sensualisme et qu'on peut associer au point de vue historique à l'idée de l'homme-machine se fonde essentiellement sur la conviction qu'expliquer la vie signifie en retracer l'épigenèse ; l'activité des êtres vivants ainsi que la forme et la structure de leurs organes sont considérées comme les résultats du milieu où ils vivent et auquel ils tendent progressivement à s'adapter. Dans cet ordre d'idées LAMARK, vers la fin du XVIII^e siècle, ayant observé les effets de l'usage et du défaut d'usage sur les organes des ani-

maux arrivera à concevoir d'une façon générale toute l'évolution des espèces comme déterminée précisément par l'adaptation au milieu selon la formule : « c'est la fonction qui crée l'organe ».

Il faut dire que la conception épigénétique du monde vivant n'est pas logiquement indissoluble de l'idée de l'homme-machine ; on peut lui opposer un *préformisme* qui tend à limiter les influences extérieures que subit l'être vivant et à rehausser le rôle des activités congénitales, transmises par hérédité et impliquées en quelque sorte dans la structure originaire : c'est ce que feront DARWIN et WEISMANN lorsqu'ils expliqueront l'adaptation des espèces aux conditions d'existence par la sélection naturelle. Cependant la réaction contre l'empirisme et le sensualisme a eu pour motif dominant la réfutation du matérialisme. La théorie de la connaissance de LEIBNIZ et surtout celle de KANT sont inspirées par ce souci de défendre et restaurer l'idéalisme. LEIBNIZ avait tout de suite composé une réponse à LOCKE pour contrebattre la critique des idées innées, mais la mort du philosophe anglais (1704) ayant rendu inopportune la publication de cette polémique, ce n'est qu'un demi-siècle plus tard que parurent les « Nouveaux Essais sur l'esprit humain » ; dans cette œuvre posthume LEIBNIZ se met sur la voie que prendra KANT ; il soutient que l'esprit humain est pourvu non point d'idées toutes prêtes mais de dispositions et d'activités innées ; à la formule des scolastiques : « nihil inest intellectu quod prius non fuerit in sensu » l'auteur des « Nouveaux Essais » ajoute cet amendement : « nisi intellectus ipse ».

La pensée d'Emanuel KANT, à partir du jour où la lecture de HUME le réveilla, selon sa propre expression, du sommeil dogmatique, mûrit longuement le grand système gnoséologique qui sera exposé dans la « Critique de la raison pure » (première édition de 1781 et deuxième édition remaniée de 1787).

Rappelons les termes du problème. Il y a ou il semble y avoir dans notre esprit certaines connaissances antérieures à tout ce que nous apprennent les sens, ou qui dépassent les données sensibles en nous faisant concevoir des principes universaux et nécessaires. On avait supposé que ces « connaissances *a priori* » nous venaient d'idées innées que l'esprit porterait en lui comme un patrimoine dont il aurait été dès l'origine gratifié. Mais le fait que ces formes de connaissances correspondent à la réalité extérieure et l'efficacité de l'instrument mathématique pour l'étude de la nature n'étaient

explicables qu'en invoquant les desseins mis en œuvre par la Providence.

Pour échapper à ce dogme on se rabatit sur l'hypothèse d'après laquelle l'accord entre le sujet et l'objet dériverait du fait que les idées prétendues innées sont en réalité acquises au moyen des sensations et de leurs associations ; de sorte qu'en définitive le sujet lui-même ne serait qu'un miroir où se refléchet le monde extérieur ou, selon une autre métaphore, la pensée servirait de cire pour ces empreintes des choses que nous appelons leurs « représentations ».

Mais on peut aussi trouver plausible l'hypothèse contraire : puisque les choses ne nous sont connues que sous forme de représentations possédées par notre entendement, ne se pourrait-il pas que ce dernier, c'est-à-dire le sujet de l'activité cognitive plasmât en quelque sorte à son gré ce que nous appelons le monde extérieur ? Le fait est que les objets de notre entendement ne sont nullement des copies d'une « réalité en soi », complètement inintelligible, mais qu'ils sont les produits de notre activité de pensée et doivent donc subir les conditions de cette pensée. Il y a sans doute quelque chose de « donné » dans notre connaissance et ce sont précisément les données des sensations ; cependant la pensée opère sur ces données, elle les « recrée » à sa façon et il faut bien que quelque chose des facultés propres à la pensée se révèle dans le résultat de l'opération — dans la « chose représentée ».

KANT lui-même s'est comparé à COPERNIC parce que sa critique tendait à démontrer que les objets tournent autour du sujet et non pas les sujets autour de l'objet. Et les objections auxquelles devait se heurter la nouvelle théorie de la connaissance n'étaient pas sans rappeler les difficultés que soulevait le renversement du système de PTOLÉMÉE.

Le naturaliste qui s'efforce de saisir scientifiquement la réalité objective éprouve quelque malaise à comprendre le nouvel ordre d'idées. Afin de lui faciliter cette tâche nous n'hésiterons pas à essayer d'une explication peu orthodoxe en l'invitant à imaginer ce qu'un cerveau d'animal peut posséder en fait de science. Il nous concédera volontiers que par exemple la science d'un cheval se rapportera en quelque mesure à l'intelligence chevaline ; et il en ira de même pour le chien et les autres espèces : un certain nombre seulement de connaissances pourront pénétrer dans l'esprit de l'animal en question et en général il ne sera apte à

comprendre et à connaître que des choses qui sont susceptibles de correspondre à une représentation mentale, propre au cheval ou au chien ; et c'est précisément ce qui est le plus spécifique de leur forme d'intelligence que ces familles d'animaux devront juger comme étant la réalité par excellence. Il nous sera donc permis d'admettre que dans l'infinie réalité des choses, notre entendement aussi ne saisit à titre d'objets de la connaissance humaine que certains aspects ; et le choix est sans doute déterminé par une concordance en quelque sorte plus facile à atteindre entre ces aspects et les idées que nous sommes capables d'en former à travers notre appareil psychologique d'élaboration des données sensibles. Nous dirons encore que notre savoir est acquis par l'expérience ; mais cela ne signifiera pas que cette expérience consiste uniquement dans la réception passive des données fournies par les sensations ; au contraire expérimenter veut dire interpréter certaines sensations en les reliant entre elles à l'aide d'un travail actif de la pensée.

Les principes que KANT énonce *a priori* comme les conditions de toute expérience possible se trouvent ainsi formulés dans les « analogies de l'expérience » :

a) Dans tout changement des phénomènes la substance demeure et sa quantité dans la nature ne subit ni augmentation ni diminution.

b) Tous les changements se font selon la loi de l'enchaînement des causes à leurs effets.

c) Entre toutes les substances pour autant qu'elles peuvent être perçues simultanément dans l'espace, il y a action réciproque universelle.

KANT explique que l'idée même d'une réalité objective correspond à la liaison que notre entendement établit entre les phénomènes : « Si je posais l'antécédent et que l'effet n'en dérivât pas nécessairement, il me faudrait conclure que ma perception n'est qu'un jeu subjectif de mes images et si j'y rattachais quelque chose d'objectif je devrais l'appeler un simple rêve ; par conséquent, le rapport entre les phénomènes (c'est-à-dire entre les perceptions possibles) de par lequel une chose qui suit une autre dans le temps est déterminée par la chose qui l'a précédée et son existence s'avère ainsi produite nécessairement et selon une règle fixe, ce rapport donc que nous dirons rapport de cause à effet, est la condition de la vérité empirique de ces perceptions et en somme de l'expérience. »

21. Critique de la doctrine kantienne. Helmholtz.

La véritable portée de la thèse kantienne n'est pas très claire. On peut y voir une anticipation de la critique gnoséologique contemporaine : pour nous l'objet se définit comme un rapport invariable entre plusieurs perceptions possibles ; on reconnaît, par exemple l'existence objective d'une table parce que chaque fois que nous la regardons du même endroit, à la même distance dans le même éclairage nous éprouverons inmanquablement telles sensations visuelles, et qu'en étendant la main vers elle nous sommes sûrs de la toucher et d'éprouver telles sensations de résistance. Mais en affirmant que le fait de croire à un objet implique une liaison nécessaire entre certaines sensations, nous ne sommes nullement forcés d'admettre la vérité de cette croyance, c'est-à-dire d'attribuer à l'objet une existence réelle au sens le plus rigoureux de ce terme. Que dirions-nous si l'attente fondée sur cette croyance était déçue ?

KANT semble écarter tout doute de ce genre lorsque il fait se résoudre l'objet en une pure création du sujet universel qui est l'esprit humain : où l'on peut voir le point d'origine de l'idéalisme absolu que développera la philosophie de FICHTE à HEGEL. Cependant KANT lui-même récuse les conséquences idéalistes de sa doctrine et un appendice à la seconde édition de la « Critique » est précisément consacré à cette confutation. Comment pourra-t-il alors justifier d'une façon valable les connaissances *a priori* fondées sur la nature de l'esprit ? Son point de vue peut être éclairé si nous nous référons à la justification du « principe suprême de tous les jugements synthétiques » qu'on trouve à la section II du chapitre II de l'« Analytique des principes ».

« La possibilité de l'expérience », dit-il, « est ce qui donne une réalité objective à toutes nos connaissances *a priori*... L'expérience a donc pour fondement... les règles universelles de l'unité dans la synthèse des phénomènes, règles dont la réalité objective peut être toujours prouvée par l'expérience, puisqu'elles sont les conditions nécessaires de cette expérience et plus exactement encore de sa possibilité ».

Il semble qu'il faille comprendre ainsi ce passage : la forme de la connaissance rationnelle dépend non pas des perceptions isolées,

mais de la liaison que la pensée établit entre elles, c'est-à-dire des critères selon lesquels la pensée interprète l'expérience. Ce qui soulève le dilemme suivant : ou bien les jugements *a priori* qui expriment les conditions de toute expérience possible sont susceptibles d'une vérification qui ne laisse subsister le moindre doute, ou bien aucune science n'est possible. Mais puisque la science existe effectivement (il y a la géométrie d'EUCLIDE et la dynamique de GALILÉE-NEWTON) force nous est de résoudre le dilemme en déclarant que cette science et par conséquent l'expérience sont certainement possibles ; ce qui nous fait conclure à la validité des principes, qu'elles présupposent. Si l'interprétation que nous venons d'exposer correspond à la pensée véritable de KANT, il nous faudra maintenant en examiner les points faibles (1).

Le dilemme kantien nous invite à décider entre une science absolument rigoureuse et le défaut de toute science ; alors que rien ne nous donne le droit d'attribuer à une théorie scientifique, fût-ce même la géométrie d'EUCLIDE et la dynamique de NEWTON les prérogatives de la vérité rigoureuse. S'il ne fallait attribuer à ces doctrines qu'une valeur approximative il apparaîtrait clairement que la possibilité d'une connaissance de ce genre ne permet aucunement de tenir pour justifiés les principes dont on nous dit qu'ils en constituent les fondements nécessaires.

Si l'on admet que ces principes valent pour ce qu'une pensée rigoureuse accepte à titre de réalité objective, la demande se présentera : où trouverons-nous un objet dans le flot de la réalité phénoménale ?

Une réminiscence du Démonax de LUCIEN offre à KANT l'occasion d'exprimer son point de vue par cet apologue : « On demanda à un philosophe : que pèse la fumée ? Il répondit : ôte du poids du bois brûlé le poids des cendres et tu obtiendras le poids de la fumée. Il supposait donc incontestable que même dans le feu la matière (la substance) ne se laisse pas détruire, mais que sa forme seule subit un changement. »

On croirait voir ici une justification *a priori* du principe de la constance du poids dans les réactions chimiques, auquel LAVOISIER

(1) Une critique plus ample de la doctrine de KANT pour autant qu'elle touche à la philosophie de la science se trouve dans notre essai : F. ENRIQUES, *La théorie de la connaissance scientifique de Kant à nos jours*. Paris, Hermann, VII.

a donné son nom. Mais cette justification n'est pas recevable : de quel droit faisons-nous du poids d'un corps un caractère de ce que nous supposons être sa substance ?

En somme, la critique de KANT nous amène à voir dans le principe de causalité et d'une façon plus générale dans le principe de liaison nécessaire des critères normatifs qu'une science idéale devrait satisfaire et que partant acquièrent une importance certaine pour le progrès historique de la construction scientifique. C'est le sens que donnera à la thèse critique kantienne HERMANN HELMHOLTZ dans son célèbre discours (de 1878) sur « les faits dans la perception » (1).

« Tout raisonnement inductif », dit HELMHOLTZ (p. 243) « se fonde sur notre confiance en ce qu'une façon légale de se comporter telle que nous l'avons observée jusqu'à présent se reproduira également dans tous les cas qui pourront par la suite tomber sous notre observation. L'essentiel ici est cette foi dans la légalité de tout ce qui advient. Mais la légalité est une condition de la conceptibilité. Si notre sentiment est que nous concevons la réalité d'une façon plus complète, lorsque sous les variations observables nous avons découvert une dernière invariable, dont il s'est permis de supposer qu'elle est la cause des variations, nous appellerons alors principe de causalité ce principe régulateur de notre pensée qu'en la circonstance nous venons d'appliquer. Et nous pourrions dire que ce principe exprime notre foi en la conceptibilité complète de l'univers ».

« (P. 244) Le principe de cause est réellement une donnée *a priori*... il ne se laisse pas démontrer par l'expérience car l'expérience ne saurait faire son premier pas... sans appliquer déjà le raisonnement inductif et, par conséquent ce même principe de cause ... On ne peut encore que répéter le précepte : allez de l'avant *en ayant* la foi ! »

Le principe de causalité vaut donc en tant que règle méthodologique, grâce à laquelle nous pouvons avancer vers une formulation toujours plus compréhensive et toujours plus précise des lois, où nous enserrons la réalité. Par contre, ce principe ne peut nullement justifier la prétention d'avoir tant soit peu atteint une perfection

(1) *Die Tatsachen in der Wahrnehmung*, dans « *Vortraege und Reden* », 4^e éd. Brunswick, 1896, vol. I, p. 213.

rigoureuse dans l'une quelconque des théories particulières déjà élaborées. La tentative faite par KANT lui-même de construire *a priori* l'armature d'une science dans les « Premiers principes métaphysiques de la science de la nature » (1) (1785) offre l'exemple des conséquences peu heureuses auxquelles peut entraîner l'interprétation trop dogmatique de sa doctrine.

D'autre part KANT met bien en lumière un point qui confirme l'opinion que nous avons exprimée plus haut ; dans la troisième des *Analogies* que nous avons citées il admet un rapport nécessaire entre toutes les choses, c'est-à-dire le principe de la solidarité de l'univers. On entrevoit sans peine que ce principe se trouve déjà impliqué dans la théorie de la gravitation newtonienne et on peut même dire qu'il n'est que l'extension philosophique de cette théorie. Mais il est intéressant d'observer qu'une réflexion poussée plus à fond sur le sens véritable de ce principe nous porte à le mettre en contradiction avec cette forme *linéaire* que NEWTON comme déjà GALILÉE attribuaient à la série causale. Si tout est lié à tout, n'importe quel changement ou phénomène, dès que nous le considérons *in concreto*, devra dépendre de l'état de l'univers tout entier et, partant, du concours d'un nombre infini de causes que seulement par abstraction il sera possible de séparer les unes des autres.

Ce motif sera développé, en accord avec une vision vitaliste de la Nature, par la philosophie romantique qui a exploité l'héritage de KANT au début du XIX^e siècle.

22. Le déterminisme et la liberté du vouloir.

Le déterminisme qu'admettait KANT ne s'appliquait qu'aux phénomènes et nullement aux choses en soi. Il semblait donc possible de concilier l'exigence scientifique d'un univers gouverné par des lois inflexibles avec le postulat non moins impérieux de notre conscience qui veut que toute action « délibérée » de l'homme procède d'un « libre » mouvement de la volonté ; la « Critique de la raison pratique » expose et justifie l'existence de cette « liberté nouménique » dans le domaine de toute activité poursuivant des buts et particulièrement dans celui de la morale. On peut reconnaître dans cette doctrine de KANT l'intuition d'un fait indé-

(1) Traduction française d'ANDLER et CHAVANNES, 1891.

niable ; en effet, nous n'avertissons aucune contradiction entre le déterminisme scientifique et notre sentiment de liberté chaque fois que nous voulons quelque chose et que nous agissons selon notre volonté. Cependant la façon dont KANT explique cette compatibilité est loin d'être claire.

Il convient en effet de distinguer nettement entre l'attitude scientifique de celui qui cherche une représentation contemplative de la réalité et l'attitude active de l'homme mêlé à la vie de ses semblables. Sans doute l'individu qui agit, pour peu qu'il veuille examiner les motifs de son action, tiendra compte des prévisions où il trouvera indiquées les conséquences probables de son effort ou de son abstention ; mais la prévision ne peut pas s'étendre au sujet lui-même, car ce serait le réduire au rôle d'objet. L'impossibilité de superposer de cette façon l'attitude représentative à l'attitude active de l'esprit ou autrement dit l'exigence que le sujet qui contemple demeure toujours en dehors des séries de ses représentations peut être exprimée de différentes manières. Et nous avons déjà mentionné certaines formules logiques par lesquelles l'école de Mégare mettait en lumière ce problème. Qu'on se rappelle en particulier le fameux sophisme du Crétois.

Si nous envisageons l'ensemble des propositions et des jugements que nous avons exprimés (de quelque façon que ce soit) au sujet d'une région quelconque du monde connaissable, nous serons en droit d'admettre *a priori* que chacune de ces propositions était vraie ou fausse ; mais le jugement de vérité ou d'erreur est un jugement nouveau qui vient s'ajouter à ces propositions et en élargit le système. Si je dis simplement : « je mens », cette proposition qui implique pour ainsi dire un acte de réflexion immédiate, n'est ni vraie ni fausse. De même si j'écris sur un tableau noir une suite de propositions fausses et qu'au-dessous j'ajoute : « tout ce que j'ai écrit est faux », on pourra dire de cette dernière phrase que si elle dit vrai elle doit être fausse, et si ce qu'elle affirme est faux elle est vraie.

L'impossibilité pour le sujet de se prendre soi-même pour objet, c'est-à-dire la constatation que l'esprit en acte ne peut pas réfléchir sur lui-même sans se perdre dans un passé — constitue le motif fondamental de la philosophie de HEGEL que ROYCE a interprété comme un *paradoxe de la conscience*. Chaque fois que le moi tente de réfléchir sur lui-même pour se saisir en passe de penser ou d'agir,

ce moi actif que je voudrais atteindre est déjà devenu étranger à mon moi présent.

Je me surprends à esquisser un geste de haine pour faire du mal à mon ennemi, mais si à l'instant même je me mets à contempler ce moi furieux et que j'essaie de me rendre compte de ce qu'il est en train de faire, déjà ce moi gonflé de haine n'est plus et un moi observateur se dessine à sa place.

Revenons à l'attitude d'un esprit persuadé que la possibilité de la prévision scientifique implique quelque contradiction avec l'existence de son libre arbitre. Je fais des efforts, je lutte contre des difficultés et des passions contraires pour arriver à un but que je juge digne de ma volonté. Pourquoi subir ces peines et ces affres s'il suffit de connaître la réalité présente pour en déduire sans faute l'issue de la lutte où je me suis engagé ? Mais les éléments de la prévision, c'est-à-dire les motifs qui me poussent à agir constituent une série pouvant s'étendre à l'infini surtout dans les cas douteux, où la décision finale dépend du jeu de facteurs très petits. Il en appert que ni moi ni personne d'autre ne saurait parvenir à une prévision rigoureuse et certaine, tandis que la probabilité d'un résultat attendu peut raisonnablement se justifier.

Maintenant, quel effet psychologique aura sur moi le fait de me rendre compte que quelqu'un d'autre attend de moi telle action ? Par exemple si quelqu'un qui me connaît bien se déclare sûr de me voir triompher de toute faiblesse et accomplir vaillamment mon devoir ? Il est évident que cette manifestation de confiance, loin de m'encourager à l'attente inerte du résultat prévu, stimulera ma volonté et me poussera à agir avec plus d'énergie.

Nous ne croyons pas devoir insister davantage pour montrer que notre foi dans le libre arbitre, postulat essentiel de la raison pratique, ne contredit aucunement l'exigence rationnelle du déterminisme scientifique ; du moins aussi longtemps qu'on s'abstient de toucher aux questions métaphysiques qui surgissent de l'idée absolue d'une divinité. Seul l'esprit romantique avec son penchant à sublimer la liberté de puissance, en méconnaissant les limites qu'impose la réalité objective et dont la science aussi bien que la religion ont toujours admis la nécessité, s'insurgera contre le déterminisme et le dénoncera comme l'ennemi de l'âme souveraine... C'est pour ce motif que les successeurs de KANT dans le

mouvement philosophique allemand répudieront le déterminisme scientifique de la « Raison Pure » et développeront en un sens contraire aux intentions de l'auteur l'idée d'une « liberté nouménique ».



CHAPITRE III

Déterminisme et indéterminisme au XIX^e siècle et au début du XX^e siècle.

23. Le déterminisme dans la Physique mathématique. La formule de Laplace.

Tandis que les philosophes se livraient aux spéculations que nous venons d'indiquer sur les fondements de la causalité, les mathématiciens, en s'efforçant de représenter selon les règles de l'analyse, le déterminisme des phénomènes physiques, réussissaient à mieux comprendre la signification de ce déterminisme.

C'est sur le terrain de la dynamique que s'est accompli cet effort et le résultat fut qu'on put traduire ce déterminisme en *équations différentielles du mouvement*.

Alors que l'intuition naïve du sens commun se représente la force comme une impulsion et voit en elle la cause de la vitesse communiquée au mobile, la dynamique de GALILÉE-NEWTON prend pour point de départ un mouvement naturel qui tend à se conserver par inertie et elle décrit la variation du mouvement dans un *champ de forces* (définies statiquement) en faisant de la force la cause de l'accélération (ou variation de vitesse) ; ainsi le déterminisme du phénomène apparaît décomposé en une série d'actions élémentaires qui agissent par continuité dans l'espace et le temps, de tous les environs du point matériel en mouvement, sur ce point même : « beaucoup de force », dit GALILÉE, « s'obtient ainsi de moments très faibles ».

Cependant cette façon de voir suppose la réalité matérielle des « forces » déterminées dans un champ au moyen d'expériences possibles (par exemple le poids, etc.) et pour comprendre tout ce qu'im-

plique effectivement le déterminisme il faut se rendre compte de la manière dont ces forces varient.

NEWTON y réussit en les définissant en fonction des corps éloignés, *comme s'il* s'agissait d'actions instantanées, à distance de la matière sur de la matière. Mais si l'on veut expliquer pareilles actions conformément à nos exigences rationnelles il faudra imaginer comme existant quelque chose qui s'ajouterait à la matière visible — l'éther, des milieux élastiques, des particules ou des masses cachées — et ensuite réduire les forces de NEWTON à des actions et réactions qui se propagent par contiguïté à travers ces entités fictives. Quoi qu'il en soit, et qu'on arrive ou non à une représentation convenable du déterminisme physique par contiguïté, la théorie de NEWTON nous invite à concevoir l'idée d'une dépendance réciproque de tout ce qui est et de tout ce qui se passe dans l'univers. L'idée d'une causalité linéaire, d'un tissu de séries causales qui s'enchevêtrent, cette idée que nous avons vue encore professée par GALILÉE et NEWTON, est dépassée par l'intuition consciente de la *solidarité du monde*. Les physiciens, aussi bien que KANT devaient reconnaître cette intuition dans la doctrine du Maître. Peu avant la fin du XVIII^e siècle, dans une leçon donnée en 1795 (1), LAPLACE expliquait avec précision l'idée du déterminisme universel en des termes qu'on cite encore assez fréquemment :

« Les événements actuels ont avec les précédents une liaison fondée sur le principe évident qu'une chose ne peut pas commencer d'être sans une cause qui la produise. Cet axiome, connu sous le nom de *principe de la raison suffisante* s'étend aux actions mêmes que l'on juge indifférentes... » à moins qu'on ne veuille retomber, comme disait LEIBNIZ, dans le hasard aveugle des Epicuriens.

« Nous devons envisager l'état présent de l'Univers comme l'effet de son état antérieur, et comme la cause de celui qui va suivre. Une intelligence qui, pour un instant donné, connaîtrait toutes les forces dont la nature est animée et la situation respective des êtres qui la composent, si d'ailleurs elle était assez vaste pour soumettre ces données à l'analyse, embrasserait dans la même formule les mouvements des plus grands corps de l'univers et ceux du plus léger atome ; rien ne serait incertain pour elle, et l'avenir comme le passé serait présent à ses yeux. » L'esprit humain possède dans la mécanique céleste

(1) *Théorie analytique des probabilités*, 3^e édit., 1820. Introduction, p. 20.

un petit échantillon de cette science idéale, et d'ailleurs tous les efforts de la recherche de la vérité « tendent à le rapprocher sans cesse de l'intelligence que nous venons de concevoir, mais dont il restera toujours infiniment éloigné ».

24. Mécanisme et positivisme.

Ce n'est ni NEWTON, ni KANT, ni LAPLACE qui ont inventé ou découvert l'unité du monde réel. Cette unité est une exigence de la raison humaine, qui, d'une façon ou d'une autre, se manifeste chez tous les philosophes ; mais elle n'acquiert une justification concrète que grâce à l'effort constructif de la science moderne.

A la base de cette science il y a la tradition démocratéenne qui a son point de départ dans la conception d'objets et de phénomènes élémentaires isolés l'un de l'autre ; cet atomisme, auquel vient s'ajouter progressivement une vue de la solidarité de l'Univers, a inspiré la pensée novatrice des GALILÉE, des DESCARTES, des NEWTON, etc. et a suscité la théorie générale du mécanisme. Le XIX^e siècle recueille en guise d'héritage spirituel cette théorie, et il en tire le programme concret d'une explication mécanique des phénomènes physiques.

Rappelons que PASCAL avait accepté l'idéal de DESCARTES, mais comme un but impossible à atteindre : « il faut dire en gros : cela se fait par figure et mouvements, car cela est vrai, mais de dire quels, et composer la machine, cela est ridicule... » Et voici qu'après la construction de la dynamique newtonienne il n'apparaissait plus du tout impossible de « composer la machine » (tout au moins dans le cadre plus large des idées acceptées par le fondateur de cette dynamique) ; la composition de la machine en question devient même le but le plus immédiat de la recherche scientifique : si on ne pouvait l'atteindre, l'hypothèse abstraite du système mécanique aurait fini par perdre toute valeur.

Mais c'est précisément parce que la question se trouve transportée sur le terrain d'une explication quantitative exacte, que les savants sont tenus de se rendre compte des difficultés de l'entreprise et aussi des limites que l'hypothèse même a posées à la liberté de leurs recherches. D'autre part l'exemple de NEWTON lui-même qui n'a pas hésité à accepter les forces agissant à distance comme une donnée positive, sans explication préalable, devait naturelle-

ment pousser les esprits à vouloir s'émanciper de pareille hypothèse ou tout au moins à lui donner un sens toujours plus large.

Alors que LAPLACE dans sa *Mécanique Céleste*, III, I, suppose que tous les phénomènes terrestres dépendent des attractions moléculaires, comme tous les phénomènes célestes dépendent de la gravitation universelle, LAGRANGE apprend à élargir les schémas de la dynamique newtonienne en développant la mécanique analytique. Pour leurs études sur les phénomènes de l'élasticité NAVIER (1821) et POISSON reviennent au point de vue de LAPLACE, « LAGRANGE — dit POISSON dans son mémoire fondamental de 1829 — est allé aussi loin qu'on peut le concevoir, lorsqu'il a remplacé les liens physiques des corps par des équations entre les coordonnées de leurs différents points ; c'est là ce qui constitue la Mécanique *analytique* ; mais à côté de cette admirable construction, on pourrait maintenant élever la Mécanique *physique*, dont le principe unique serait de ramener tout aux actions moléculaires qui transmettent d'un point à l'autre l'action des forces données et sont l'intermédiaire de leur équilibre ».

On sait d'autre part que le schéma de LAGRANGE adopté par GREEN pour traiter des questions du même ordre, a conduit par rapport à l'hypothèse des forces centrales à une théorie plus générale de l'élasticité, avec laquelle cette hypothèse ne pourrait pas s'accorder aussi longtemps qu'on considère comme étant fixes les centres entre lesquels s'exercent les forces.

Dans d'autres domaines de la physique aussi l'idée mécaniste trouve une limite dans la difficulté de la réalisation. C'est pourquoi FOURIER (1822), dans son étude sur la propagation de la chaleur, se croit en devoir de faire cette réserve : « les causes primordiales — écrit-il — ne nous sont point connues ; mais elles sont assujetties à des lois simples et constantes que l'on peut découvrir par l'observation et dont l'étude est l'objet de la philosophie naturelle ».

De même AMPÈRE dans ses recherches sur l'électrodynamique (1822-1827) renonce tout au moins provisoirement, à établir les causes mécaniques pour édifier une « Théorie mathématique des phénomènes... uniquement déduite de l'expérience ». « Le principal avantage des formules qui sont ainsi conclues de quelques faits généraux — écrit-il dans la préface du mémoire principal — est de rester indépendant tant des hypothèses dont leurs auteurs ont pu

s'aider dans la recherche de ces formules, que de celles qui peuvent leur être substituées dans la suite. »

« Quelle que soit la cause physique à laquelle on veuille rapporter les phénomènes, la formule que j'ai obtenue restera toujours l'expression des faits. Si l'on parvient à la déduire d'une des considérations par lesquelles on a expliqué tant d'autres phénomènes, telles que les attractions... on fera un pas de plus dans cette partie de la Physique. »

Ces motifs qui s'affirmaient ainsi dans la physique mathématique de l'époque trouvent leur expression vigoureuse dans le *Cours de philosophie positive* d'AUGUSTE COMTE.

25. La doctrine de Comte.

Nous avons vu comment l'effort constructif dans le domaine des théories physiques avait amené la pensée à soupçonner quelque chose d'arbitraire dans les hypothèses mécaniques. COMTE ira plus loin en déclarant ces hypothèses vides et dénuées de sens, alors qu'elles prétendent nous offrir l'image d'une réalité objective transcendante au delà de toute expérience possible. « Tous les bons esprits reconnaissent aujourd'hui que nos études réelles sont circonscrites à l'analyse des phénomènes pour découvrir leurs lois effectives, c'est-à-dire leurs relations constantes de succession ou de similitude, et ne peuvent nullement concerner leur nature intime, ni leur cause, ou première ou finale, ni leur mode essentiel de production » (1).

La théorie de la chaleur de FOURIER deviendra ainsi pour COMTE le modèle d'une théorie scientifique positive, tandis que les spéculations de l'école de LAPLACE sur la physique mécanique sont dénoncées comme entachées de métaphysique, de même que l'optique ondulatoire de FRESNEL. Les analogies que cette doctrine croit pouvoir établir entre la lumière et le son paraissent à COMTE gratuites autant qu'incompréhensibles et incapables de perfectionner réellement nos façons générales de coordonner le savoir (2).

En leur lieu et place se dessinera un nouvel idéal scientifique et précisément celui qui à la fin du XIX^e siècle prendra corps dans l'« Optique sans hypothèses » d'E. MACH.

(1) *Cours*, etc. (1835). Leçon 28, II, p. 435.

(2) *Ibid.* Leçon 33, II, p. 647.

A l'abandon de l'hypothèse mécanique s'unit chez COMTE le renoncement à l'unité de notre science. La classification des sciences correspond dans son idée à une hiérarchie selon laquelle se rangeraient les différentes classes de phénomènes dans la Nature ; chacune de ces classes doit former l'objet d'une science particulière qui suppose celle du degré inférieur, mais y ajoute quelque chose de nouveau.

Les analogies hypothétiques qui prétendaient indiquer des assimilations réelles et fondamentales ayant été écartées, l'unité n'a plus ni consistance ni raison d'être. « Que l'esprit humain sache donc... renoncer enfin à l'irrationnelle poursuite d'une vaine unité scientifique » (1).

Les principes posés par COMTE impliquent que dans le traitement mathématique des phénomènes physiques on ne fasse figurer que des quantités mesurables, c'est-à-dire définies comme données de l'expérience : les lois scientifiques énoncent des rapports invariables entre ces données et c'est pourquoi la notion de cause se réduit à ce *postulat de légalité* auquel nous avons vu aboutir la pensée de DAVID HUME dans la dernière phase de sa carrière.

Et puisque les mesures des données expérimentales sont nécessairement approchées, il en suit que les lois aussi ne sauraient jamais prétendre à une rigueur parfaite ; du point de vue d'une critique avertie elles comportent seulement des rapports *presque invariables* entre les données en question. Le problème du déterminisme ou du non-déterminisme au sens absolu s'avère dans ces conditions comme n'ayant aucune raison de se poser. COMTE lui-même semble juger que les lois exposées par la science sont une simplification de la réalité ; il dit en effet que « les lois naturelles, véritable objet de nos recherches, ne sauraient demeurer rigoureusement compatibles, en aucun cas, avec une investigation trop détaillée » (2).

Il va de soi, d'autre part, que dans la notion de la causalité, comme la conçoit COMTE, il n'est plus faite aucune place aux exigences rationnelles (contiguïté de l'action, etc.) pour satisfaire auxquelles on avait dû élargir la réalité scientifique en y introduisant des entités fictives qui maintenant sont considérées comme des hypothèses inutiles et absurdes.

(1) *Ibid.* Leçon 33, II, p. 649.

(2) *Ibid.*, VI, pp. 637-38.

L'idéal de la science positive, réduite à n'être plus qu'une somme de faits ou de lois ayant un caractère objectif, et sans aucun rapport avec une vue quelconque de l'imagination, devient après COMTE un principe propulseur du progrès dans la construction scientifique. Cependant la tendance opposée, qui s'exprimait par le mécanisme, n'a pas déposé les armes devant l'école nouvelle ; le mécanisme connut même un regain de crédit grâce à la découverte du principe de conservation de l'énergie, bien que par la suite les travaux de MACH, d'OSTWALD et de DUHEM aient ramené l'énergétique aussi à une interprétation rigoureusement positiviste. L'exigence d'une compréhension scientifique unitaire ne s'en impose pas moins au-dessus des controverses entre mécanistes et positivistes. Et la théorie électromagnétique de la lumière, fondée par CLERK MAXWELL (1871) et confirmée par la découverte des ondes hertziennes (1886) marqua un succès retentissant de ce postulat d'unité.

26. L'idéalisme romantique.

Les motifs du positivisme s'enchevêtrent avec les motifs du romantisme dans le développement de la philosophie qui aboutit vers la fin du XIX^e siècle à l'*empirisme radical*. L'idéalisme de FICHTE, SCHELLING, HEGEL qui figurent comme héritiers et continuateurs de KANT dans le cycle de la pensée germanique, offre une expression de l'âme romantique en conflit déclaré contre l'esprit scientifique et en particulier contre la physique mathématique. La philosophie de la nature, qu'à côté de SCHELLING et de HEGEL cultivèrent de nombreux maîtres de moindre éclat, impliquait une vision vitaliste de l'univers et par là elle dénotait sans doute un sens aigu de l'unité du réel. Mais en même temps cette doctrine s'opposait radicalement à ce réalisme ou à ce « terminisme » scientifique qui sert de soubassement à la notion de loi physique. Dans un organisme vivant il n'y a pas des classes homogènes d'éléments, mais simplement des organes différenciés entre lesquels s'active une connexion réciproque ; et l'organisme lui-même n'apparaît pas comme un système d'abstraites possibilités mathématiques, immuables dans la durée, mais comme une chose qui évolue progressivement et les différentes phases de ce progrès sont expliquées comme des buts dont la réalisation constitue précisément le *devenir* de l'être en question.

On voit aussi les idéalistes romantiques et notamment HEGEL, chez qui tout ce mouvement se réfléchit et se ramasse, concevoir la réalité sous l'aspect historique d'un système, où se joue le sort d'individus nettement différenciés et dont chacun se définit par une série de rapports indéfiniment extensibles dans l'organique cohésion du Tout.

Même lorsque la « philosophie de la Nature » aura dû céder devant le flot remontant des valeurs scientifiques — vers le milieu du XIX^e siècle — il en demeurera quelque chose sous la forme d'un désir d'arriver à comprendre l'univers non pas seulement en tant que système de lois mathématiques, qui comportent des possibilités abstraites en nombre infini, mais comme un devenir concret et en rapport avec les intérêts humains. A côté de la science proprement dite, s'affirme l'idée de l'*histoire naturelle*.

La doctrine de l'évolution de HERBERT SPENCER, tout en nous ramenant dans le cadre des explications scientifiques, sera précisément une tentative de satisfaire ce « besoin de comprendre », suscité et développé par la spéculation philosophique de SCHELLING, de HEGEL, de leurs disciples et de leurs émulateurs.

27. Philosophie de la contingence. Pragmatisme, empirisme radical.

L'interférence de motifs positivistes et de motifs romantiques explique les tendances hostiles au « scientisme » de la théorie de la connaissance, telles qu'elles apparaissent vers la fin du XIX^e siècle, par exemple chez EMILE BOUTROUX (1), WILLIAM JAMES (2), HENRI BERGSON (3).

Nous avons dit que l'exigence de l'unité du réel s'oppose, dans le domaine même de la physique mathématique, à la notion d'une série linéaire des causes ; le phénomène ou l'objet particulier, dès qu'on le conçoit dans un réseau de liaisons avec un nombre infini d'autres éléments, nous apparaît comme possédant une réalité individuelle,

(1) *De la contingence des lois de la nature*, 1874. *L'Idée des lois naturelles* 1895.

(2) *The will to believe* New-York, 1897. *Pragmatism*, 1907. *Essays in radical Empirism*, 1912.

(3) *Essai sur les données immédiates de la conscience*. Prais, 1889. *Matière et mémoire*, 1896. *L'évolution créatrice*, 1907.

en tout analogue à celle que comporte une vision historique de la nature. Mais ce réseau de liaisons qu'implique l'entendement se retrouvera-t-il en effet dans les choses mêmes ? Est-il vrai que les lois physiques serrent d'assez près les phénomènes de la réalité pour rendre déterminé le cours des événements futurs ?

BOUTROUX se fonde sur la hiérarchie des connaissances établie par COMTE, pour nier ce déterminisme, en découvrant dans les degrés supérieurs de la hiérarchie une contingence toujours plus large. Plus résolument encore, BERGSON et JAMES affirment l'incompatibilité du déterminisme physique avec leur conception (romantique) de la liberté morale ; conception qui ne saurait se résigner à reconnaître un monde objectif auquel notre volonté devrait se soumettre. La création du *nouveau* qui éclôt d'une façon imprévue comme une ascension vers un degré plus élevé de la réalité, le vitalisme de BERGSON et le pluralisme de JAMES révèlent chez ces penseurs une source commune d'inspiration qu'on aperçoit plus clairement si on en fait le rapprochement avec la négation radicale des postulats fonciers de la science et de la religion dans l'amoralisme de NIETZSCHE.

Que ces penseurs aient exercé une influence notable même dans les milieux scientifiques, cela tient d'abord à ce que l'idée d'une science essentiellement utilitaire et tendue vers des succès pratiques touchait bien des esprits et qu'ensuite l'*empirisme radical* dont s'inspirait JAMES et BERGSON était un apport positif à l'analyse de la connaissance. Les données immédiates de la conscience ne sont plus, comme pour LOCKE, les objets ou leurs qualités simples mais des perspectives synthétiques ou des tableaux de la réalité. C'est une vue d'ensemble que j'ai « immédiatement » de ma chambre ou d'un coin de mon jardin ; tandis que pour isoler un des objets qui sont « contenus » dans cet ensemble, par exemple cette table ou cet arbre, il faut un travail d'association et d'abstraction qui confère un caractère artificiel aux « constructions » de l'intelligence.

Pour mesurer l'influence générale que ces attitudes philosophiques ont exercée, et particulièrement dans les milieux scientifiques il convient d'ajouter que les mêmes motifs se retrouvent, exprimés sous les formes les plus variées par d'autres courants de la pensée philosophique contemporaine qui connurent une grande

vogue en Italie, en France, en Allemagne, en Angleterre et en Amérique.

28. Probabilité et loi statistique.

Avant d'examiner la nouvelle critique de la connaissance scientifique qui s'ébauche vers la fin du XIX^e siècle, il nous faut mentionner l'importance qu'ont prise de plus en plus dans la science la notion de probabilité ainsi que les théories statistiques qui s'y rattachent.

L'observation des régularités statistiques qu'on constate dans des systèmes embrassant un grand nombre d'événements isolés et fortuits a naturellement conduit les savants à considérer à côté des *lois naturelles*, conçues comme l'expression d'un *déterminisme rigoureux* capable de servir de fondement pour des *jugements certains*, les *lois statistiques* sur lesquelles on ne saurait étayer que des *expectations probables*.

A. COURNOT qui incorpore à ses raisonnements certains motifs du positivisme de COMTE, s'écarte toutefois du dogmatisme de ce dernier, en faisant de la certitude d'une connaissance la limite poussée à l'infini, d'une probabilité (1). Il croit qu'il existe dans l'univers des séries relativement indépendantes de phénomènes reliés entre eux par un rapport de cause à effet ; et c'est de l'interférence de séries distinctes que naît le *hasard*.

Quelques années après que COURNOT eût exposé ses considérations générales, celles-ci trouvèrent une application concrète dans la physique : CLAUSIUS (1850) et MAXWELL ayant revu et approfondi la théorie cinétique des gaz dont la première formation remontait à DANIEL BERNOULLI ; à un siècle de distance les deux savants que nous venons de nommer expliquaient la loi de BOYLE et de MARIOTTE, celle de VOLTA et celle de GAY-LUSSAC, comme des régularités statistiques qui se révèlent dans le mouvement stationnaire d'un système de particules, libres de se déplacer dans toutes les directions.

A la théorie cinétique des gaz se rattache la question générale concernant la possibilité de donner une explication mécanique de la

(1) *Exposition de la théorie des chances et des probabilités* (1843). *Essai sur les fondements de la connaissance et sur les caractères de la critique philosophique* (1851).

chaleur. Tandis que la découverte de la conservation de l'énergie apparut tout de suite comme une conséquence de l'hypothèse mécanique, le II^e principe de la Thermodynamique que CLAUSIUS emprunta à CARNOT indiquait un *sens* dans lequel procède l'évolution cosmique et qui ne semble pas pouvoir se concilier avec la réversibilité des phénomènes cosmiques, telle que l'implique la forme des équations de la Dynamique.

Les réflexions de CLAUSIUS et de MAXWELL mais surtout celles que développa un peu plus tard (après 1870) L. BOLTZMANN firent entrevoir par quelle voie le paradoxe pouvait être résolu : l'inverse d'un phénomène donné est théoriquement toujours possible, mais lorsqu'il s'agit d'un mouvement de particules très nombreuses, les systèmes de mouvements ordonnés sont infiniment moins fréquents que les systèmes de mouvements désordonnés et c'est pourquoi le passage du premier cas au second comporte une probabilité qui pratiquement se confond avec la certitude. Ainsi, par exemple, si on agite ensemble deux poudres on obtiendra un mélange toujours plus intime des particules et il y aura toujours moins de probabilité de voir les deux substances séparées l'une de l'autre.

L'interprétation probabiliste des lois physiques dont on voit ici la naissance et qui par la suite devra s'imposer d'une façon exclusive agissait sur la pensée des physiciens positivistes en un sens qui s'accordait parfaitement avec les thèses des partisans de la contingence ; et nous avons noté plus haut comment ces derniers s'étaient laissés inspirer par des motifs romantiques.

29. La nouvelle critique des principes de la connaissance : Mach.

Parmi les physiciens qui, vers la fin du XIX^e siècle se sont mis à réfléchir sur la portée et la véritable signification de la science qu'ils cultivaient, ERNEST MACH mérite une mention particulière : il a repris pour l'approfondir, la substance du positivisme de COMTE, et d'autre part il s'est rapproché de KANT en ce qui concerne le postulat de la causalité, considéré comme présupposition de toute recherche scientifique (1). Mais il interprète la théorie kantienne dans

(1) Cfr. *Erkenntniss und Irrtum* (1905, 2^e éd. 1906), p. 280 et suiv. (V. aussi DELZEIT-NEWIN, cité à p. 283).

le sens d'un *nativisme psychologique* et la refute, en niant que le principe de causalité corresponde à une forme déjà déterminée et parfaite de l'entendement, que l'esprit humain posséderait de naissance. Ce qu'il y a d'inné ce n'est qu'une prédisposition physiologique à certaines associations qui se manifestent par des reflexes. Lorsque un homme à l'intelligence déjà formée par l'éducation s'attend chaque fois qu'il est en présence d'une série de phénomènes, à découvrir une liaison ordonnée entre ceux-ci, c'est-à-dire lorsque son esprit prend consciemment l'attitude qui est le postulat méthodologique de toute recherche rationnelle, cela n'est que le développement d'une disposition instinctive de l'organisme ; et cette attitude trouve sa justification objective dans la dépendance fonctionnelle qui se révèle entre certaines données ou certains « éléments » de la réalité. Le principe de cause se résout entièrement dans ces rapports fonctionnels. MACH avait déjà essayé de traduire de cette façon l'enchaînement des causes et des effets dans plusieurs de ses ouvrages précédents (1), et il s'est appliqué à montrer comment les équations par lesquelles s'exprime la liaison entre certaines données objectives, contiennent presque toujours des paramètres que pratiquement on considère constants (ce qu'on entend généralement par « conditions permanentes de la nature ») et cela implique en somme la reconnaissance d'un lien de solidarité embrassant toute la nature.

Le choix de certains éléments déterminés qui — par rapport à d'autres — sont tenus pour facteurs de cause — comporte, selon MACH une plus ou moins obscure intervention de la volonté guidée par un intérêt biologique.

C'est le point où se manifeste le pragmatisme du philosophe viennois.

« Ce que nous appelons cause et effet — dit encore MACH (2) — ne sont que les caractères principaux d'une donnée de l'expérience, qui ont une importance plus grande que d'autres caractères pour la reproduction que notre intellect fait de cette expérience. »

Il ajoute que la question du *déterminisme* ou de l'*indéterminisme* ne saurait être résolue par une démonstration précise (3), car pour

(1) *Analyse der Empfindungen* (Iena, 1900), chap. V et déjà dans *Die Geschichte und die Wurzel des Satzes der Erhaltung der Arbeit* (Prague, 1872).

(2) *Ökonomische Natur der Wissenschaft Populaer wissenschaftliche Verlesungen*, 3^e éd., p. 277.

(3) *Erkenntniss und Irrtum*, p. 282.

cela il faudrait une science parfaite, ce qui manifestement est impossible. Mais, comme on vient de dire, il s'agit d'une présupposition nécessaire à tout penseur au cours de ses recherches. Même le principe de la régularité statistique, la *loi des grands nombres* établie par JACQUES BERNOULLI ne serait selon MACH qu'une conséquence déduite de la causalité. La science d'ailleurs exige une certaine stabilité (bien entendu pas absolue) de la pensée. Cette stabilité est à la fois une déduction et une condition préalable de toute connaissance scientifique ; en tout cas les deux notions sont inséparables. Il se pourrait qu'aucune stabilité parfaite n'existât jamais ; mais dans notre expérience courante des constances se vérifient en des limites suffisantes pour nous permettre de fonder un idéal de la science.

30. Pearson.

Un autre philosophe, étroitement apparenté à MACH exprime plus nettement le point de vue de l'*indéterminisme*.

CARL PEARSON qui s'est consacré principalement à la « biométrie » est aussi l'auteur du livre intitulé *The Grammar of Science* (1892). Dès l'introduction à cet ouvrage, il dénonce le « fétiche de la cause qu'on trouve parmi les inscrutables arcanes de la Science ». « Cette catégorie — dit-il — est-elle autre chose qu'une limite conceptuelle de l'expérience, sans aucune base dans la perception et qui n'intervient que comme approximation statistique ? »

« L'Univers » — explique l'auteur au chapitre V, § 5 — est formé d'entités innombrables, chacune desquelles est probablement individuelle et probablement non permanente. Tout ce qu'il est donné à l'homme d'achever c'est de classer ces entités selon la mesure et l'observation de leurs caractères distinctifs, en classes d'individus analogues. Grâce à ces classifications, on est à même de noter des variations dans les classes, et le problème fondamental de la science consiste à découvrir comment la variation dans une classe est corrélative ou contingente par rapport à la variation dans une deuxième classe. » Et plus loin PEARSON dit : « L'Univers est une somme de phénomènes dont les uns sont plus contingents, les autres moins contingents par rapport à chacun des autres : c'est là une conception plus vaste que celle de la causalité que nous pouvons tirer de notre expérience élargie. »

31. Poincaré.

Si on s'en tenait à certaines déclarations du *Traité des probabilités* on serait en droit de faire d'HENRI POINCARÉ un défenseur du déterminisme scientifique le plus rigoureux. Et dans son ouvrage sur *Le hasard* il fait encore profession de déterministe. « Les anciens — dit-il — distinguaient des phénomènes qui obéissent à des lois et des phénomènes qui se produisent par hasard. » « Nous sommes devenus des déterministes absolus et même ceux qui entendent réserver les droits du libre arbitre chez l'homme laissent régner toutefois le déterminisme sans distinction, dans le monde inorganique. Tout phénomène, si infime soit-il a une cause, et un esprit infiniment puissant et infiniment informé des lois de la nature, aurait pu le prévoir dès le commencement des siècles. Avec un tel esprit (s'il existait) on ne pourrait jouer à aucun jeu d'hasard, car on serait toujours sûr de perdre. »

Mais ces déclarations où retentit l'écho des idées de LAPLACE n'expriment pas toute la pensée de POINCARÉ philosophe qui a subi l'influence de son parent BOUTROUX en ce qui concerne les idées sur la contingence. La vision de la solidarité de l'Univers lui a notamment inspiré certaines réflexions caractéristiques (1).

POINCARÉ explique comment l'énoncé de n'importe quelle loi est nécessairement incomplet : car pour être complet, il devrait embrasser *tous* les antécédents grâce auxquels une conséquence donnée aura lieu ; mais toutes les parties de l'Univers peuvent exercer une influence plus ou moins appréciable sur le phénomène qui est en passe de se produire. Les savants n'ont jamais ignoré qu'une loi particulière n'est qu'approchée et probable ; mais, à tort ou à raison ils croient que toute loi peut être remplacée par une autre qui sera plus approchée et plus probable que la précédente, et cela se répétera à l'infini de façon que l'approximation finira par se distinguer aussi peu qu'on voudra de l'exactitude, et la probabilité aussi peu qu'on voudra de la certitude (*La Valeur de la Science*, p. 251).

Ces réflexions se terminent par cette assertion plus précise (*ibid.*,

(1) *Contingence et déterminisme*, chap. IX : de *La Valeur de la Science*. Paris, 1904.

p. 260) : « Supposons que nous puissions embrasser la série de tous les phénomènes de l'univers dans toute la suite du temps. Nous pourrions envisager ce que l'on pourrait appeler des séquences, je veux dire des relations entre antécédents et conséquents. Nous reconnaitrions alors que parmi ces séquences il n'y en a pas deux qui soient tout à fait pareilles. Mais... il y en aura qui seront à peu près pareilles et qu'on pourra classer les unes à côté des autres. En d'autres termes, il est possible de faire une classification des séquences. C'est à la possibilité et à la légitimité d'une pareille classification que se réduit, en fin de compte, le déterminisme. »

32. Enriques.

Les idées des philosophes que nous avons examinées et le fait que malgré la différence d'origines et de tendances ils s'accordent quant à la limitation du déterminisme peuvent s'expliquer si on note que cette limitation découle sans faute de la *conception positiviste* ou empiriste de la science.

Nous avons déjà relevé qu'aux yeux de ceux qui réduisent la science aux faits expérimentaux la *question* de savoir s'il y a un *déterminisme rigoureux* est dénuée de sens. Puisque les données sensibles ne sauraient être l'objet de définitions exactes, les rapports entre ces faits dans l'expérience ne peuvent être qu'approchés. Disons-nous au moins qu'on peut concevoir le déterminisme rigoureux comme une limite de l'expérience ?

Mais cette prétention de conférer au déterminisme une valeur asymptotique, c'est-à-dire la présupposition de pouvoir approcher du moins théoriquement à une détermination rigoureuse du phénomène ne supporte pas non plus l'épreuve.

Déjà dans le cas bien simple, où il s'agit de la longueur d'une règle on peut facilement s'apercevoir que « la mesure exacte ne signifie rien. Ce que nous savons ou supposons de la matière [structure atomique, mouvements des dernières particules pour lesquelles la longueur à mesurer est continuellement variable] et ce que nous admettons à l'égard de la lumière [surtout la notion de longueur d'onde] font obstacle à l'hypothèse d'une détermination rigoureuse ; de sorte qu'il n'est point difficile, par exemple, d'attribuer une limite

théorique, pas très éloignée de la limite pratiquement atteinte, à la plus petite longueur visible au microscope » (1).

L'auteur de cette observation pense cependant qu'on peut donner une signification à l'hypothèse de la mesure exacte en considérant les conséquences qu'on en déduit.

La réalité de l'objet a été définie par ENRIQUES (et avant lui par J. PIKLER) comme étant un rapport qui ne varie pas entre certains actes volontaires et les sensations qui s'y rattachent. Par exemple : il y a une table lorsque en regardant d'une certaine façon et d'un certain point qu'on occupe on éprouve telles sensations visuelles, ou bien qu'en mouvant la main on éprouve telle sensation du toucher. Cette définition s'étend de l'objet et du fait brut aux faits ou aux systèmes de faits enchaînés dans des théories scientifiques. Dans ce cas les hypothèses auxquelles est liée l'interprétation des expériences constituent la prémisse volontaire de rapports invariables plus généraux.

Et la recherche des invariants — ou des rapports qui varient le moins — dans le flot des choses sensibles doit être mise en rapport avec les principes logiques d'identité et de contradiction qui précisément exigent l'invariabilité des objets de la pensée (2).

Le contenu positif des théories scientifiques consiste dans l'ensemble des prévisions expérimentales qu'elles rendent possibles ; mais la science considérée dans son devenir est autre chose encore que ce contenu : les hypothèses et les théories ont une valeur heuristique qui correspond à la satisfaction de certaines exigences rationnelles. Plus tard l'Auteur en retrouvera la signification dans l'histoire de la pensée scientifique.

C'est ainsi qu'à l'encontre de la tendance dont MACH et de nombreux savants contemporains sont les porte-paroles, ENRIQUES affirme que les *hypothèses et les représentations imaginatives nous mènent plus loin que la science positive* (3). Vue sous cet aspect, l'explication causale implique quelque chose de plus que simplement la réponse à cette question : « comment un phénomène que nous observons se produit-il ? » La science va au-delà de cette expli-

(1) F. ENRIQUES, *Problemi della scienza*, 1906, chap. I, p. 20, traduction française : *Les problèmes de la Science et la Logique*. P. Alcan, 1908.

(2) *Op. cit.*, III, § 25.

(3) *Op. cit.*, chap. IV-V (traduction française sous le titre : *Les concepts fondamentaux de la Science*, éd. Flammarion).

cation quand elle essaie de rendre compte du « pourquoi ». Cette dernière demande acquiert un sens par rapport à une représentation imaginative qui relie l'effet à la cause, au moyen d'une *continuité* d'images. Ainsi le physicien qui a adopté la théorie cinétique de la chaleur voit le mouvement du marteau frappant une plaque de métal se prolonger dans le mouvement désordonné des particules et c'est ce mouvement qui se manifeste à nos sens par l'échauffement.

33. Meyerson.

Les idées que nous venons d'exposer s'accordent très bien avec l'analyse poussée à fond par l'éminent penseur contemporain que fut EMILE MEYERSON (1).

L'examen circonstancié et profond des théories physiques a conduit MEYERSON à distinguer deux significations différentes qu'on trouve souvent confondues dans la notion du déterminisme scientifique et qui correspondent à la distinction que faisait LEIBNIZ entre la raison et la cause. En opposition avec la thèse positiviste (de HUME, de COMTE, de MACH et de DUHEM) MEYERSON pense que le postulat des successions constantes de phénomènes, fondement de la croyance aux « lois naturelles » ou (comme dit notre auteur) du principe de légalité, n'épuise nullement la signification de la science, car celle-ci lorsqu'elle recherche les « causes » a pour but l'explication.

Un ordre de phénomènes qui laisse apparaître des changements ou des variations sera considéré comme expliqué rationnellement dans la mesure où il nous sera donné de reconnaître l'identique dans le divers. Cette exigence se révèle la nature de l'entendement humain, essentiellement unificateur. Notre entendement ne trouve intelligible que ce qui ne varie pas ; comprendre une variation veut dire avoir découvert en elle quelque chose qui demeure constante.

Cette thèse est démontrée en particulier par une vaste enquête sur l'histoire des doctrines atomistiques et des principes de conservation (conservation de la matière, de la vitesse, de l'énergie). Le contenu de ces principes est donné par l'expérience, mais la forme d'identité qu'ils revêtent correspond à un *a priori* de la raison. Et cette raison qui se révèle dans l'évolution de la

(1) *Identité et Réalité*. P. Alcan, 1908.

science, se retrouve aussi dans les démarches, par lesquelles la pensée arrive à construire la réalité du sens commun (1). Tandis que les empiristes anglais s'efforçaient de ramener le degré supérieur de nos connaissances au degré inférieur, le philosophe français soutient que la conscience du procédé scientifique le plus élevé peut nous éclairer aussi sur les démarches psychiques les plus élémentaires.

Mais puisque l'intime signification de notre aspiration rationnelle consiste à nier le divers et le changeant (dont est faite « la Nature ») cette aspiration ne pourra jamais être satisfaite pleinement ni par la totalité des phénomènes, ni par quelque ordre particulier de phénomènes : toute recherche où notre entendement aura jusqu'à un certain point trouvé ce qu'il lui faut, n'en laissera pas moins comme un résidu opaque et réfractaire à toute explication, ce que MEYERSON appelle l'*irrationnel*.

« Les matières élémentaires qui existaient avant le phénomène ont subsisté après ; de ce côté il n'y a pas eu de changement. Le poids est également le même ; là encore rien n'est modifié. Enfin l'énergie aussi s'est conservée. En somme, aussi loin que va notre explication, *il ne s'est rien passé*. Et comme le phénomène n'est que changement, il est clair qu'à mesure que nous l'avons expliqué, nous l'avons fait évanouir. Toute partie expliquée d'un phénomène est une partie niée » (2).

En contraste avec ces principes, le principe de CARNOT-CLAUSIUS sur la dégradation de l'énergie exprimera la réaction de la Nature qui résiste à l'effort de notre entendement pour l'expliquer, c'est-à-dire pour l'annuler.

Ainsi la doctrine de MEYERSON qui certainement contient une part importante de vérité, aboutit à un absurde. Comme l'a très bien dit LÉON BRUNSCHVIG : « une raison telle qu'elle ne parvient jamais à rendre compte de la réalité n'a aucune espèce de droit à être appelée raison ; une conception de la causalité dont l'essence est de nier le changement et le cours du temps, c'est exactement le contraire de la causalité » (3). Et c'est encore avec raison que BRUNSCHVIG reconnaît dans cette théorie de MEYERSON l'influence

(1) *Du cheminement de la pensée*, t. I, II, III. Paris, Alcan, 1931.

(2) *Identité et Réalité*, p. 207.

(3) *L'expérience humaine et la causalité physique*. Paris, Alcan, 1922, p. 359.

de l'anti-intellectualisme bergsonien. L'antinomie peut être résolue, si on se reporte à la notion critique de causalité : « Substance et cause ne sont nullement des réalités qui se définissent comme des choses et se représentent à l'intuition ; ce sont des rapports qui ne prennent une valeur de vérité que par leur connexion avec le contenu de l'expérience » (1)

Il nous semble pouvoir contribuer à rendre la question plus claire en rapprochant le point de vue de MEYERSON de celui que nous avons exposé au paragraphe précédent. L'effort pour retrouver l'identique dans le divers se traduit par la recherche d'invariants ; et nous avons vu que cette recherche constitue ce que la pensée logique prend comme étant l'objet de la réalité phénoménique. Ainsi donc l'identité réfléchit uniquement l'aspect logique de la connaissance. Si, par delà le schéma logique nous considérons la représentation imaginative, c'est-à-dire la reconstruction vivante de la réalité dans la pensée scientifique ne fut-ce que dans la mesure où cela est possible, nous verrons alors à la place de l'identité, la continuité, et au lieu d'un appauvrissement du monde des phénomènes un effort poétique qui étend et enrichit le réel par la vision simultanée de plus vastes possibilités. Telle est, par exemple, la signification de la théorie de MAXWELL, grâce à laquelle le phénomène lumineux se dilate dans la vision théorique des ondes électro-magnétiques, que HERZ réalisera per expérience dix-sept ans après. Enfin pour éclairer le sens de notre critique, il ne sera pas inutile de porter notre attention sur quelques constructions des mathématiques pures.

Là où les logiciens stricts ont cru apercevoir une simple tautologie on découvre une activité associative de la pensée qui par ses définitions donne la vie à de nouvelles entités et à de nouvelles figures. Et il faut souligner que la déduction procède ici, non pas en partant du principe d'identité, mais du principe d'égalité et que dans cette notion de l'égal se trouve impliquée l'affirmation simultanée d'une identité et d'une différence. La raison mathématique dans son développement concret, surmonte ainsi l'antinomie que MEYERSON considère comme un obstacle infranchissable au progrès de la science.

Nous avons exposé les principales prises de position de la pensée

(1) *Ibid.*, p. 360.

philosophique et scientifique dans la question du déterminisme, telles qu'elles se présentent à la fin du xix^e siècle et pendant la première décennie du xx^e, c'est-à-dire avant la crise de la physique contemporaine.

Il nous reste encore à rendre compte des nouveaux développements de la science et des idées qu'on voit souvent proposées par les physiciens non point comme devant exprimer une philosophie particulière, mais à titre de résultat des doctrines et des recherches les plus récentes. Il sera intéressant de reconnaître les connexions entre ces idées et celles des penseurs précédents.



CHAPITRE IV

Le problème de la causalité et la physique des Quanta.

34. L'électro-magnétisme et la théorie de la relativité.

L'effort constructif pour offrir une explication mécanique des phénomènes physiques et plus généralement pour unifier les théories qui les concernent, a été poursuivi pendant tout le XIX^e siècle et plus particulièrement après les conquêtes de la Thermodynamique, dans le domaine de l'électro-magnétisme; mais l'effet de ces travaux a été une révision critique des principes de la mécanique elle-même, et par la suite une crise encore plus radicale de la science dont l'issue a été le détrônement du mécanicisme. Cette évolution réfléchit en même temps les exigences rationnelles de la construction théorique et les faits nouveaux que l'expérience n'a pas cessé de découvrir.

La théorie la plus compréhensive des phénomènes électro-magnétiques des corps en mouvement a été développée par H. A. LORENTZ (en 1892). Cette théorie empruntait aux constructions plus anciennes de FARADAY et de MAXWELL le dessein fondamental d'expliquer les actions par contiguïté à travers un milieu hypothétique qu'on supposait être aussi le véhicule de la lumière et qu'on avait baptisé « éther ». L'éther demeure tout au moins comme système de références du mouvement qui par rapport à ce milieu supposé prend un sens absolu, le même que lui attribuait déjà la dynamique classique de GALILÉE et de NEWTON.

Or dès qu'on met en jeu d'une façon quelconque l'éther dans la production et dans la transmission des forces à travers l'espace, il

apparaît *a priori* que les principes de NEWTON ne pourront plus valoir exclusivement pour la matière en mouvement : par exemple le principe d'action et de réaction ne pourra se vérifier, si les forces attractives ne sont pas instantanées, mais demandent un certain temps pour se propager (POINCARÉ). Un corps investi par la lumière subit une pression déjà prévue par MAXWELL et par BARTOLI et vérifiée par l'expérience de LEBEDEV. Or cette pression ne s'accorde pas avec le principe newtonien d'action et de réaction, car le moment où la lumière investit le corps ne coïncide pas avec celui où elle émane de sa source. En outre POINCARÉ a démontré que cet accroc au principe de NEWTON est lié nécessairement à toute théorie électromagnétique qui veuille tenir compte de l'entraînement partiel des ondes lumineuses.

D'autre part l'étude de certains rayonnements jugés comme étant plus ou moins corpusculaires, montrait que le principe d'inertie (où la masse est supposée constante) ne s'accorde pas avec les hautes vitesses, puisque dans celles-ci, lorsqu'elles s'approchent de la vitesse de la lumière on note une résistance au mouvement (c'est-à-dire une augmentation de masse) qui tend à l'infini.

Ces constatations rendirent de plus en plus nécessaire une revision critique des principes de la mécanique. Même si on admet que la mécanique classique soit justifiée dans le système d'ensemble des masses matérielles auxquelles s'ajoutent les masses cachées de l'éther, la solidarité universelle impliquée dans la supposition de ce fluide amènera à la conclusion que les mouvements apparents des masses visibles (c'est-à-dire les seuls mouvements dont la science positive consente à tenir compte) ne satisfont plus aux principes de NEWTON. Dans ce tableau pourraient figurer, par exemple, les phénomènes d'hystérésis (élastique et électro-magnétique) qui d'ailleurs se laissent représenter à l'aide d'un *postulat d'hérédité*, selon lequel le mouvement d'un corps dépendrait non seulement de sa position et de sa vitesse à un instant donné, mais encore de tout son « passé vécu ».

Le besoin d'unifier les phénomènes électromagnétiques et mécaniques s'exprime d'une façon significative dans la théorie de la relativité d'ALBERT EINSTEIN dont l'importance s'avéra très grande pour la théorie de la connaissance scientifique. Selon une idée qui remonte à ARISTOTE et qui se retrouve aussi bien chez KANT que chez COMTE on avait toujours admis un ordre logique ou

une hiérarchie naturelle des sciences (1) ; la géométrie constitue le premier échelon du savoir et le fondement de la mécanique, comme celle-ci à son tour contient les notions présupposées par la physique. La critique des géomètres non-euclidiens fut la première à mettre en lumière le fait que les postulats géométriques ne correspondent guère à une nécessité logique et gnoséologique mais impliquent au contraire bon nombre de vérités contingentes que seule l'expérience a pu fournir. Cependant l'expérience géométrique pure ne saurait être conçue que par abstraction ; en réalité tout essai d'étudier les qualités de l'espace met en jeu des propriétés mécaniques et physiques qui indiscutablement se trouvent liées aux propriétés géométriques des corps. Cette observation implique que la géométrie, considérée dans son contenu réel ne peut pas être isolée de la science physique et trouve dans la mécanique un prolongement naturel.

C'est là le point de départ de la révolution critique effectuée par EINSTEIN. La doctrine de LORENTZ en s'appuyant sur l'hypothèse d'un éther immobile, laissait prévoir la possibilité de rendre évident le mouvement absolu, par exemple le mouvement de la terre par rapport à l'éther qui l'entoure. Mais lorsque les expériences de MICHELSON et de MORLEY eurent déçu ces prévisions théoriques, FITZ GERALD et LORENTZ lui-même imaginèrent différentes hypothèses pour expliquer comment il se fait que l'observateur perçoive les mesures de l'espace et du temps d'une telle façon qu'il lui est impossible de constater un mouvement uniforme de translation. L'espace et le temps *vrais*, postulats de la théorie repris de la dynamique classique prenaient ainsi l'aspect d'un pur fantôme transcendant derrière la réalité phénoménale d'un espace et d'un temps *apparents*. Selon l'esprit du positivisme critique EINSTEIN ne pourra faire autrement que de considérer ces prétendues apparences comme le seul véritable temps-espace de la physique. La construction d'EINSTEIN a été développée dans deux doctrines successives : en un premier temps dans la théorie de la relativité restreinte (1905-1907) où s'affirme l'idée absolument nouvelle de la relativité du temps et, par conséquent, la fusion des formes jusqu'alors distinguées de l'espace et du temps en un « chronotope » ou univers à quatre dimensions ; plus tard la théorie de la relativité générale

(1) V. F. ENRIQUES, *La Théorie de la connaissance scientifique de Kant à nos jours*. Hermann, 1938.

(1916) identifie le chronotope avec un espace non euclidien dont l'incurvation varie en fonction de la matière. Dans ce cadre la dynamique se fonde sur une généralisation du principe d'inertie qui apporte quelque chose de nouveau par rapport à la dynamique de NEWTON ; cette dernière n'apparaît désormais que comme une approximation de la nouvelle doctrine.

La correction introduite par EINSTEIN est déjà sensible dans le domaine de la mécanique céleste pour les termes séculaires et ainsi pour le périhélie de Mercure dont elle réussit à expliquer la petite anomalie.

Mais cette même innovation acquiert une importance toujours plus considérable pour les grandes vitesses et par conséquent, pour l'étude des rayons constitués par la projection de corpuscules (à des vitesses approchant celle de la lumière) ainsi que (plus tard) pour la description du mouvement des électrons dans le champ atomique.

Les confirmations que la théorie reçoit de l'observation et des expériences sont, bien que peu nombreuses, extrêmement significatives ; en tout cas la confiance que cette théorie inspire aux esprits critiques tient en grande partie au fait qu'elle représente une synthèse vers laquelle convergent divers courants du mouvement scientifique moderne et qui satisfait d'une façon heureuse aux exigences rationnelles que la dynamique de Newton n'arrivait pas à satisfaire.

35. Atomes et corpuscules (1).

Dans les développements de la physique dont il a été question, un rôle essentiel appartient aux notions d'atome et de corpuscule électrique.

(1) Parmi les meilleures expositions des nouvelles doctrines nous mentionnerons :

L. DE BROGLIE, *La physique nouvelle et les quanta*. Paris, Flammarion, 1937 ; du même : *Matière et Lumière*. Paris, Michel, 1937.

H. REICHENBACH, *Atomes et Cosmos*. Paris, Flammarion, 1934.

A. EINSTEIN et L. INFELD, *The Evolution of Physics* (trad. française. Cambridge, 1938) (trad. fr. : « L'évolution des idées en physique », Flammarion).

J. JEANS, *The New Background of Science*. Cambridge, 1933 (trad. fr. : « Les nouvelles bases philosophiques de la science », Hermann).

On trouvera les mêmes questions traitées d'une façon plus technique chez :

W. HEISENBERG, *Die Physikalischen Prinzipien der Quantentheorie*. Leip-

La conception atomiste léguée par l'antiquité et renouvelée par la science moderne à ses débuts, avait déjà pris, avec DALTON et BERZELIUS (au commencement du XIX^e siècle) l'aspect d'une théorie chimique précise, capable de représenter la loi des combinaisons par multiples de poids simples ; mais elle avait dû s'arrêter devant la difficulté que présentait l'explication des combinaisons de gaz par multiples de volumes simples, selon la loi de GAY-LUSSAC. L'atomisme s'affirma cependant avec une force nouvelle lorsque CANNIZZARO et KEKULÉ réussirent en 1860, à surmonter cette difficulté, en faisant état de l'hypothèse d'AVOGADRO qui concevait la molécule comme composée d'un certain nombre d'atomes. C'est alors que fut dressée la table des éléments (corps chimiquement indécomposables) et que MENDÉLÉËV découvrit (en 1868) dans la série de ces corps la loi d'après laquelle les propriétés physico-chimiques sont des fonctions périodiques du poids atomique.

Malgré ces progrès W. OSTWALD pouvait en 1895 crier à la faillite de l'atomisme, devant le Congrès des Naturalistes allemands. Le positiviste intransigeant dénonçait la vanité de l'hypothèse qu'il jugeait dépasser les faits dont elle devait fournir l'explication. Entre-temps les physiciens constructifs serraient toujours de plus près la réalité de cette hypothèse. Rappelons particulièrement le brillant succès du mesurage des dimensions atomiques, entreprises par JEAN PERRIN ; en 1908 le physicien français pouvait présenter le résultat des calculs faits sur la base du mouvement Brownien ainsi que du théorème de l'équipartition de l'énergie, tel que l'avait formulé EINSTEIN. Ces mesures concordent d'une façon admirable avec celles qu'ont données d'autres méthodes, se rapportant à l'étude des rayonnements.

L'idée d'une structure discontinue de l'électricité et par conséquent la supposition qu'il existe des corpuscules électriques élémentaires, s'est présentée déjà, au cours de recherches sur les phénomènes électrolytiques à HELMHOLTZ (1885) et cette idée s'est révélée particulièrement féconde pour l'étude des rayonnements.

zig, 1930 (trad. française : « Les principes de la mécanique quantique ». Paris, 1932).

P. A. M. DIRAC, *Les Principes de la Mécanique quantique*. Paris, 1931.

E. PERSICO, *Fondamenti della Meccanica atomica*. Bologna, 1935.

La découverte de rayons RÖNTGEN en 1895 et ensuite de la radioactivité de l'Uranium qui a amené les époux CURIE à isoler le radium (1898), ont ouvert un nouveau champ d'applications et un immense nouveau chapitre de la Physique. C'est dans cette physique des radiations que se sont présentées les idées plus radicalement novatrices de la science moderne.

Le problème essentiel est celui du rapport entre matière et rayonnement. LORENTZ avait essayé par sa théorie de donner une réponse à cette question ; pour y parvenir il ne reculait pas devant une extrapolation audacieuse des lois connues. Il a adopté l'hypothèse fondamentale de la discontinuité du fluide électrique et a parlé d'électrons ou grains d'électricité négative. A part quelques modifications qui dans cet ordre d'idées se présentent d'une façon toute naturelle, LORENTZ admettait que les quantités microscopiques — champs, charges, courants — pouvaient satisfaire à des équations de la même forme que les équations macroscopiques de MAXWELL. Ainsi réussit-il à représenter les lois mêmes de MAXWELL comme des lois statistiques qui expriment les effets moyens, tels qu'on peut les observer en comparant un grand nombre de phénomènes microscopiques élémentaires. L'électromagnétisme de MAXWELL apparaît donc comme un électromagnétisme grossier, où se manifeste l'aspect statistique de l'électromagnétisme affiné de LORENTZ.

Mais la doctrine ainsi bâtie, après avoir conduit à quelques prévisions brillamment vérifiées (par ex. l'effet ZEEMANN) s'est heurtée à des difficultés tout à fait imprévues qui ont motivé l'introduction d'idées radicalement nouvelles.

Selon l'intuition de la mécanique classique l'énergie qui s'exprime en fonction d'éléments d'espace et de temps, est susceptible de varier d'une manière continue. La nouvelle physique au contraire part de l'hypothèse paradoxale d'une structure discontinue : toute quantité d'énergie, émise ou absorbée, par exemple, par les rayonnements d'un atome, est multiple d'un certain *quantum* ou unité élémentaire ; ce quantum se présente comme un produit $h\nu$, où ν figure une certaine fréquence relative aux phénomènes périodiques en cause et h (reconnue toujours identique au cours d'expériences très variées) constitue la *constante universelle* de PLANCK.

L'idée des *quanta* a été proposée pour la première fois par PLANCK (1900) pour expliquer la composition spectrale du corps

noir et remédier ainsi à un échec de la théorie de LORENTZ. Acceptée en un sens plus large par EINSTEIN en 1905, cette idée a permis ensuite de donner raison de l'effet photo-électrique, dont les circonstances s'accordent bien avec l'hypothèse d'une structure granulaire de la lumière (*quanta* de lumière ou *photons*). Malgré la difficulté qu'on éprouve à vouloir concilier cette hypothèse avec la théorie des ondes d'après HUYGHENS et FRESNEL, théorie qui correspond à d'autres aspects du phénomène lumineux, il faut dire que le point de vue « quantique » a réussi à expliquer d'une façon très satisfaisante les résultats d'expériences nouvelles et imprévues. Par exemple l'effet COMPTON qui se rapporte à la diffusion des rayons X à travers la matière et aussi les exceptions à la loi de DULONG et PETIT sur la chaleur spécifique moléculaire, etc. Mais le plus grand succès de la nouvelle doctrine a été cet ensemble de théories qui constitue aujourd'hui la physique de l'atome.

Dès le début de ce siècle on avait abandonné cette vue de l'esprit, consacrée par une longue tradition, selon laquelle les atomes seraient ce qu'il y a de plus simple. L'idée vint tout naturellement alors que l'atome pourrait bien offrir un modèle microscopique des mondes ; qu'il serait en somme un système planétaire en miniature. NIELS BOHR qui avait emprunté cette idée à l'école de RUTHERFORD, réussit à lui donner corps (en 1913) dans une théorie capable d'expliquer — à peu près — les aspects principaux des phénomènes de rayonnement. SOMMERFELD perfectionna cette théorie en se valant des principes de la relativité einsteinienne (1916).

L'atome de BOHR et de SOMMERFELD est représenté comme un noyau ou *proton* chargé d'électricité positive, autour duquel tournent, tels des planètes ou des satellites, des *électrons* : on passe d'un électron pour l'atome de l'hydrogène par tous les nombres jusqu'à 92 électrons pour l'élément au poids atomique le plus lourd. Le mouvement des électrons autour du noyau est gouverné par l'attraction *coulombienne* (en accord avec la dynamique de NEWTON). Mais il y a une série d'états stationnaires, les seuls d'ailleurs qui se laissent physiquement réaliser, où tout correspond à la quantification de l'énergie ; et les raies du spectre de l'atome sont émises lorsque l'atome lui-même subit une transition entre deux états stationnaires.

Le modèle indiqué est sans doute difficile à concevoir. La supposition que, dans son état stationnaire, l'élection mobile dans son orbite ne rayonne pas d'énergie est absolument en contraste avec les

lois qu'on observe dans le macrocosme. Et l'intuition conforme à la mécanique classique se rebiffe contre l'hypothèse d'une énergie quantifiée en vertu de quoi l'ellipse képlérienne que forme l'orbite d'un électron ne pourrait pas varier d'une façon continue, parce que son aire doit demeurer multiple de la constante de PLANCK. Mais si, d'accord avec son auteur, on accepte ce modèle à titre provisoire, comme « hypothèse de travail », il éclaire du coup un grand nombre de phénomènes inexpliqués : depuis les lois de BALMER sur les raies du spectre jusqu'aux propriétés chimiques des corps, en donnant aussi raison de la loi de MENDELÉÏEV, des transmutations des atomes, etc. Seuls les progrès de l'expérience et l'exigence d'une explication plus subtile ont marqué une limite à la validité de cette théorie merveilleuse et ont amené une révision critique de ses principes.

La révision qui a donné naissance à la *Nouvelle mécanique quantique* s'est accomplie par deux voies différentes qui seulement plus tard se sont révélées convergentes vers un nouveau corps de doctrines. D'une part il y eut la théorie des ondes de LOUIS DE BROGLIE (1923-1924) et de ERWIN SCHRÖDINGER (1926) ; de l'autre la théorie des matrices de WERNER HEISENBERG (1925), de MAX BORN et de PASCAL JORDAN.

L'accouplement hybride de notions classiques et de notions quantiques que BOHR avait dû admettre dans son hypothèse de travail, a poussé DE BROGLIE à opérer une réforme radicale des images acceptées, en faisant état de certaines analogies avec d'autres ordres de phénomènes. HEISENBERG de son côté refuse toute hypothèse représentative, pour fournir une description de la réalité qui adhère étroitement aux données de l'expérience.

Une conception ondulatoire de la matière (et des éléments dont se compose l'atome) a été suggérée particulièrement par l'analogie avec l'optique, en tenant compte du fait que l'optique géométrique nous apparaît comme une approximation de l'optique physique, laquelle s'exprime précisément dans la théorie des ondes. Cette façon de voir permet d'ailleurs de trouver une conciliation avec l'exigence quantique : l'intervention de nombres entiers pour définir les états stationnaires des électrons atomiques est ici très symptomatique ; car, observe DE BROGLIE, les nombres entiers se rencontrent en effet dans les branches de la physique où on a affaire aux ondes : dans les phénomènes d'onde stationnaire, d'interférence

et de résonance. Cependant une représentation ondulatoire de la matière et de l'électron devait rencontrer les mêmes difficultés auxquelles on s'était heurté dans l'optique, où nous avons vu les phénomènes présenter aussi un aspect corpusculaire qu'EINSTEIN était parvenu à expliquer en introduisant les photons. De même les ondes lumineuses et aussi celles que DE BROGLIE associe au mouvement des électrons, devront s'éloigner du type intuitif qui nous est fourni par les vibrations des corps élastiques, pour indiquer seulement une répartition de corpuscules ; elles n'arriveront donc à posséder qu'une signification probabiliste ; l'intensité de l'onde mesurant la probabilité d'une présence de corpuscule. Bien qu'ainsi la représentation ondulatoire devienne purement symbolique (étant réduite à une analogie mathématique) la théorie s'accorde admirablement avec les apparences phénoméniques qu'on en déduit, en évaluant les effets moyens des événements isolés, c'est-à-dire en développant les lois statistiques qu'elle conduit à formuler. Et même cette théorie laisse prévoir quelque chose qui n'avait jamais été observée auparavant : la diffraction des électrons, que les expériences de DAVISSON et GERMER, de G. P. THOMSON et de RUPP ont pu vérifier.

Tandis que DE BROGLIE et SCHROEDINGER développaient la mécanique quantique en prenant pour base une représentation ondulatoire des phénomènes, HEISENBERG s'inspirait de l'idée positiviste et entreprenait d'éliminer de la théorie de BOHR toute donnée hypothétique en ce qui concerne l'orbite des électrons, pour n'admettre dans sa description mathématique des faits que les données immédiates de l'observation et de l'expérience : amplitudes et phases, au lieu des coordonnées variables des corpuscules. L'ensemble de ces données est représenté chez cet auteur et chez les autres physiciens qui ont collaboré au développement de sa théorie par une matrice ; et c'est du calcul de ces matrices qu'on obtient les effets moyens qui correspondent aux phénomènes observables.

La théorie développée de cette façon coïncide avec la théorie ondulatoire, comme l'a montré SCHROEDINGER en 1926. Complétée par la notion du moment magnétique de l'électron tournant, qu'on doit à DIRAC, cette théorie réussit à donner la meilleure représentation unifiée d'un nombre imposant de faits et elle constitue le plus haut point auquel soit arrivée aujourd'hui la physique de l'atome ; à côté de cette théorie celle de BOHR et de SOMMERFELD ne vaut

plus que comme un degré d'approche qu'il faut corriger pour pouvoir rendre compte des phénomènes les plus subtils. Mais il convient d'examiner à quel prix ce progrès a pu être obtenu et ce que la nouvelle doctrine signifie du point de vue du déterminisme.

36. Les phénomènes élémentaires de la physique quantique.

L'ancienne théorie cinétique des gaz et la théorie électromagnétique de LORENTZ offraient, tout comme la nouvelle mécanique quantique, des lois statistiques qui décrivaient l'aspect global des phénomènes et de ce fait justifiaient la prévision d'événements jamais rigoureusement nécessaires, mais extrêmement probables. Cependant les phénomènes élémentaires dont on enregistrait ainsi les moyennes étaient supposés soumis à des lois précises et rentraient ainsi régulièrement dans le cadre du déterminisme. La mécanique quantique, par contre, entreprend de noter les effets moyens de phénomènes dont on ne sait absolument pas s'ils obéissent ou non à des lois déterminées. Et même cette indétermination joue un rôle essentiel dans la théorie ; tout au moins en ce sens que dans l'ordre d'approximation, où il arrive de corriger la théorie de BOHR et de SOMMERFELD, il n'est plus permis de se représenter l'électron comme s'il se mouvait sur une orbite képlérienne bien déterminée, mais il faut tenir compte de plusieurs orbites possibles ; il semble bien que la description d'une orbite plutôt que d'une autre soit l'effet du hasard, et qu'on ne puisse en juger qu'à titre de probabilité.

Autrement dit : lorsqu'on envisage les phénomènes élémentaires comme étant susceptibles d'une description dans des termes d'espace et de temps, les choses se passent *comme si* ils échappaient à tout déterminisme rigoureux. Mais bien qu'ils subissent les caprices du *hasard*, ces phénomènes élémentaires obéiraient tout de même aux lois des grands nombres, sur lesquelles est fondé le calcul des probabilités. Et c'est pourquoi elles donnent lieu à des lois statistiques, où se retrouve l'aspect de la réalité macroscopique et aussi une justification du déterminisme apparent. On voit tout de suite quelle révolution radicale cette façon de voir les choses prétend introduire dans nos idées philosophiques. Selon les anciennes doctrines, le hasard n'existait que pour autant que nous ignorions les

causes complexes et variables dans un vaste ensemble de phénomènes, qui n'en étaient pas moins tous assujettis à un déterminisme absolu ; les lois du calcul des probabilités n'avaient elles-mêmes d'autre raison d'être, sinon le principe de causalité ou de raison suffisante, puisqu'on admettait *a priori* que là où les causes présentent une certaine symétrie (songez, par ex., aux six faces d'un dé) la même symétrie doit se révéler dans l'ensemble des effets (comme dans le cas des chances à peu près égales pour chaque face d'un dé jeté). Au contraire certains théoriciens de la nouvelle physique considèrent le hasard, le fortuit, le fait individuel n'ayant pas de loi comme le constituant primordial de la réalité. Et cependant ce monde du hasard obéirait à la loi des grands nombres, de sorte que cette dernière serait le véritable fondement de la régularité statistique et aussi de la « légalité » qu'on observe dans la réalité macroscopique, c'est-à-dire dans les phénomènes à l'échelle de nos sens.

Jusqu'à quel point ces idées sont-elles recevables ? et dans quelle mesure découlent-elles de la mécanique quantique et des expériences auxquelles cette théorie a fourni l'expression ?

Pour examiner un peu plus à fond cette question il faut s'arrêter particulièrement au sens précis de ce soi-disant indéterminisme, tel qu'il se révèle dans les « relations d'incertitude » de HEISENBERG.

37. Les relations d'incertitude de Heisenberg.

Nous avons dit plus haut que WERNER HEISENBERG fonde la mécanique quantique sur un critère positiviste. En conséquence de quoi il soutient que le déterminisme d'un phénomène consiste dans la possibilité de prévoir l'issue d'une expérience. Or pour prévoir le mouvement futur d'un électron (et donner ainsi une signification positive à la notion de son orbite) il faudrait connaître, à un instant donné, la position et la vitesse du corpuscule. Mais un examen approfondi des expériences possibles nous amène à reconnaître que ces deux quantités (*complémentaires*) ne peuvent jamais être déterminées, toutes les deux, avec une précision poussée au delà d'une certaine limite : les erreurs dans la détermination de l'une et de l'autre sont réciproques, c'est-à-dire que leur produit demeure nécessairement plus grand qu'une constante fixe et proportionnelle à la constante de PLANCK.

Les relations d'incertitude qui expriment la limite de l'observabilité simultanée des données complémentaires (position et vitesse) peuvent trouver leur explication dans la perturbation qu'introduit dans le cours du phénomène observé l'action même de l'observateur ; elles sont aussi d'ailleurs une conséquence du double aspect de la réalité, selon qu'on l'interprète comme composée de corpuscules ou d'ondes.

Si nous nous efforçons de *voir* un électron dans une position donnée, nous serons obligés de nous servir d'une onde lumineuse qui portera un photon ; plus nous chercherons à fixer la position d'une façon précise, plus la longueur de l'onde lumineuse devra être réduite ; or plus l'onde est courte, plus le choc entre électron et photon sera violent ; cela ne peut manquer d'altérer la vitesse du mouvement que nous entendions observer ; et il est évident que cette altération augmentera en raison inverse de l'erreur de la position.

Si d'autre part nous supposons une onde monochromatique qui se propage dans une certaine direction avec une vitesse constante, nous pourrions essayer de fixer la position d'un électron porté par cette onde en interposant un écran perpendiculaire aux trajectoires des électrons et en ménageant dans cet écran un trou minuscule. La position de l'électron sera fixée à l'instant du passage par le trou avec une erreur proportionnelle à la grandeur de ce trou. Mais voici qu'intervient ici la diffraction de l'électron ; et cette diffraction sera d'autant plus forte que le trou sera plus petit ; la conséquence sera une altération de la vitesse qu'on supposait donnée *a priori*.

Ces raisonnements amènent HEISENBERG à la conclusion que chaque fois que nous observons ou déterminons par voie d'expérience des données se rapportant à la position et à l'état dynamique d'un électron, nous avons affaire à des quantités complémentaires qu'il est impossible de déterminer simultanément avec une approximation infinie : le produit des approximations qu'on est à même d'atteindre reste supérieur à une limite théorique indiquée par la constante de PLANCK.

D'après le point de vue positiviste l'impossibilité de déterminer, dans un certain ordre d'approximation, la position et la vitesse d'un corpuscule, démunie de toute signification l'*hypothèse* les concernant, dont dépend la prévision du mouvement comme l'enten-

daît la mécanique classique. Mais on pourrait avancer un doute à ce propos : lorsque nous mesurons un fil au mètre, il nous faut tendre le fil ce qui certainement l'allonge ; la détermination de la mesure cherchée a donc été troublée par l'action même du mesureur ; cela n'empêche pas qu'on s'en tienne à l'*hypothèse* d'une mesure exacte et cette hypothèse peut nous conduire dans diverses occasions à des résultats plausibles.

HEISENBERG et les physiciens qui d'accord avec lui admettent les relations d'incertitude ont dû certainement songer à ce point délicat ; et ce n'est pas sans raisons profondes qu'ils ont cru loisible d'éliminer l'objection et d'attribuer une signification intrinsèque à la limite établie. Essayons à notre tour de trouver une explication.

Les circonstances qui rendent impossible la détermination simultanée des quantités complémentaires réfléchissent le contenu phénoménique de la théorie ; par conséquent l'hypothèse de cette détermination (avec une approximation supérieure à la limite mentionnée) contredirait la théorie elle-même. Mais cela impliquerait aussi une contradiction avec différents ordres de faits.

Un bon exemple nous est offert par les gaz d'électrons, dont les propriétés sont exprimées parfaitement par la statistique de FERMI et DIRAC, fondée sur le principe d'exclusion de PAULI. D'après ce principe il faut admettre que deux électrons ne sauraient avoir la même vitesse. Mais comment pourrions-nous imaginer que le fait qu'un électron se trouve dans un état dynamique donné, empêche un autre électron, éloigné du premier, de se mouvoir à la même allure ?

La contradiction disparaît aux yeux de celui qui voit dans les relations d'incertitude une impossibilité intrinsèque de donner un sens quelconque à la valeur exacte des quantités complémentaires. Selon la théorie tout électron est porté par une onde ; mais si la vitesse de mouvement du corpuscule est donnée, sa position demeure complètement indéterminée *comme s'il* remplissait tout l'espace occupé par le gaz.

38. Les interprétations des physiciens : Heisenberg, Bohr, Schrœdinger, Dirac, Eddington.

Après avoir reconnu la signification intrinsèque qu'ont, en mécanique quantique, les relations d'indétermination de HEISENBERG, rappelons comment ces mêmes relations ont été interprétées par les principaux auteurs des nouvelles doctrines.

HEISENBERG, en accord avec l'attitude que nous avons déjà définie, se place du point de vue positiviste : « supposer que derrière l'univers statistique perçu se cache un autre univers *vrai*, pour lequel serait valide le principe de causalité, c'est là une spéculation dont nous tenons à affirmer expressément qu'elle est stérile et dénuée de sens. La physique doit se limiter à ce qui est perçu » (1) « Notre description habituelle de la nature » dit encore le même auteur (2), et particulièrement l'idée d'une rigoureuse légalité (*Gesetzmaessigkeit*) dans les phénomènes physiques repose sur la supposition qu'il serait possible d'observer les phénomènes sans les altérer sensiblement. Subordonner une action déterminée à une cause déterminée, cela n'a de sens que si nous pouvons observer les actions et les causes sans en troubler la marche. C'est pourquoi il est inhérent au principe de cause, dans sa forme classique, d'être défini uniquement pour des systèmes fermés de phénomènes. Mais d'habitude dans la physique de l'atome toute observation s'accompagne d'une perturbation finie et jusqu'à un certain point non contrôlable, comme il fallait s'y attendre *a priori* pour une théorie fondée sur l'hypothèse de petites unités. Comme d'autre part toute description en termes d'espace et de temps d'un événement physique dépend de l'observation, il s'ensuit que la description en termes d'espace et de temps d'une part et le principe classique de la cause de l'autre correspondent à des aspects complémentaires de la réalité qui mutuellement s'excluent. »

On retrouve de nouveau ici la pensée du positiviste qui ne voit dans les lois de la nature que des successions constantes de phénomènes définis, en ce qui concerne leur quantité, par des expériences de mesurage ; ce qui sous-entend qu'on ne saurait attribuer *aucun*

(1) *Ueber den anschaulichen Inhalt der quantentheoretischen Kinematik und Mechanik*, dans « *Zeitschrift fuer Physik* », 1927.

(2) *Die physikalischen Prinzipien der Quantentheorie*. Leipzig, 1930, p. 48.

sens à l'idée de *loi rigoureuse*. Mais nous trouvons exprimé dans ce même discours le résultat de raisonnements théoriques développés au cours de recherches en physique atomique, où un point acquis a été le dualisme des deux aspects complémentaires : corpuscules et ondes.

Cependant NIELS BOHR qui a creusé la notion de cette dualité semble lui attribuer une signification qui dépasse le point de vue positiviste. Il dit en effet : « la nature véritable de la théorie des *quanta* nous contraint à considérer la coordination dans l'espace et le temps et l'exigence de la causalité, dont l'union était le trait dominant des théories classiques, comme des aspects (*features*) complémentaires et s'excluant l'un l'autre, de la description qui symbolise la transposition idéale de l'observation et partant de la définition (de la réalité) » (1).

Les deux aspects de la réalité dont parle BOHR sont pour lui deux visages de la nature, également essentiels mais dont chacun cache l'autre. Ainsi l'exigence intuitive d'une description dans l'espace et dans le temps, et l'exigence d'une causalité rigoureuse se trouvent posées sur le même plan. « L'indétermination fondamentale que nous rencontrons [dans la mécanique quantique]... doit être considérée comme impliquant une limite absolue à l'application des notions visualisées à l'aide desquelles nous essayons de décrire les phénomènes atomiques ; cette limitation se manifeste dans le dilemme apparent que pose la question de la nature de la matière » (*Ibid.*, p. 114). Par conséquent le problème de la causalité nous semble aussi se poser à nouveau en termes essentiellement métaphysiques. « La découverte du *quantum* d'action... nous mène à une situation dont on n'avait jamais vu la pareille dans la science de la nature ; et elle jette aussi une lumière nouvelle sur le vieux problème philosophique concernant l'existence objective des phénomènes, indépendamment de notre observation » (*Ibid.*, p. 115). « La limite que la nature elle-même nous a posée pour ce qui regarde la possibilité de parler de phénomènes comme s'ils existaient d'une façon objective, trouve maintenant, pour autant que nous puissions en juger, une expression appropriée dans les formules de la mécanique quantique » (p. 115).

(1) *Atomic Theory and the Description of Nature*. Cambridge, 1934, p. 54.

« Nous pouvons dire que la découverte de PLANCK nous a porté à reconnaître ceci : le bien fondé de notre façon habituelle d'aborder l'étude des phénomènes, c'est-à-dire en recherchant des enchaînements de cause à effet, dépend uniquement de la petitesse du *quantum* d'action par rapport aux actions qui entrent en jeu dans les phénomènes ordinaires » (p. 116).

Cette circonstance « nous contraint à des précautions de langage analogues à celles qui s'imposent pour les problèmes psychologiques, où nous rencontrons à chaque pas des difficultés, dès que nous essayons de noter exactement le contenu objectif des phénomènes observés » (p. 116).

L'auteur signale ensuite le parallélisme entre la discussion qui s'est rallumée à propos du problème de causalité et l'ancienne controverse sur le libre arbitre. Il retient que la causalité et le libre arbitre sont deux exigences complémentaires de la compréhension de l'homme.

Enfin les théories qui ont affleuré d'une manière inattendue dans le domaine de la physique semblent à BOHR pouvoir projeter quelque lumière sur les problèmes de la vie. Dans certaines circonstances l'action mutuelle entre l'organisme et le monde extérieur dépend d'éléments tout aussi petits que les *quanta* ; par exemple la vision tient à la rencontre de l'œil avec quelques photons. En général le dynamisme biologique n'exige pas un tel raffinement, mais si l'on touche aux problèmes biologiques plus profonds, comme la liberté ou l'adaptation de l'organisme aux excitants extérieurs, il faut nous attendre à rencontrer sur notre chemin les mêmes circonstances qui impliquent une limite de la causalité » (p. 117).

A ces idées, très suggestives même si elles demeurent discutables, nous voyons s'associer un sentiment romantique de la vie chez un autre savant illustre de notre époque.

ARTHUR EDDINGTON l'astronome qui a su revêtir son tableau du devenir des mondes d'un haut degré de poésie scientifique, se félicite explicitement de ce que la vision de l'univers, telle que l'ont transformée les récents progrès de la physique, nous délivre d'un déterminisme qui heurtait douloureusement le sentiment profond de spontanéité dont tout être vivant est imbu. Aux yeux d'EDDINGTON, l'indéterminisme n'est pas une hypothèse positive ; ce n'est que le refus d'accepter une hypothèse même « irréfutable », mais tout à fait arbitraire à peu près comme si on prétendait nous faire croire

que la Lune est faite de fromage de Roquefort. « Des hypothèses de cette sorte peuvent être inventées à volonté » (1).

Dans son livre *La nature du monde physique* EDDINGTON écrit : « On pourra peut-être dire, comme conclusions à tirer de ces arguments fournis par la science moderne, que la religion est devenue acceptable pour un esprit scientifique raisonnable à partir de 1927... Si notre prévision se confirme que 1927 aura vu l'élimination définitive de la causalité stricte par HEISENBERG, BOHR, BORN et d'autres, cette année représentera certainement l'une des plus grandes époques dans le développement de la pensée scientifique » (2).

Comme illustration scientifique des idées d'EDDINGTON on peut citer ce qu'il dit de la radioactivité où il voit un cas frappant de l'indétermination radicale des phénomènes physiques élémentaires. Pour un corps radioactif il existe une certaine régularité statistique, qui nous permet de dire, par exemple, dans combien d'années le corps aura perdu la moitié de son poids. On peut encore prévoir qu'un certain nombre d'atomes feront explosion en un temps donné ; mais il n'y a aucune possibilité de distinguer aujourd'hui l'atome qui fera explosion en 1960 de celui qui encourra le même sort en l'an 150.000 (3).

Des thèses de ce genre sont accueillies sans scandale même par des savants qui n'extravagent guère hors de l'orbite des recherches strictement scientifiques. Ainsi par exemple ERWIN SCHRÖDINGER (qui, de plus, n'est pas un positiviste) n'hésite pas à écrire : « A la suite de KIRCHHOFF nous avons accoutumé de croire que la science ne doit s'occuper d'autre chose, en définitive, que d'une description précise et consciencieuse de ce que perçoivent nos sens. Sans doute ce précepte de l'éminent théoricien contient une bonne part de vérité si on le considère du point de vue épistémologique ; mais il ne s'accorde point avec la *psychologie* de la recherche » (4) car personne ne s'intéresse vraiment à des lois conçues comme des rapports contingents entre les mesures des données qu'on manipule dans les expériences.

Pour ce qui regarde la question de la causalité, SCHRÖDINGER

(1) *Sur le problème du déterminisme*. Hermann, Paris, 1934, p. 18.

(2) Cité par LANGEVIN, *La notion de corpuscules et d'atomes*. Hermann, Paris, 1934, p. 33-34.

(3) *Sur le problème du déterminisme*, p. 17.

(4) *Science and the human temperament*. Londres, 1935, p. 75.

pose le dilemme suivant : « On peut adopter l'opinion, selon laquelle l'essence réelle ou la constitution intrinsèque des lois de la Nature est découverte complètement du moment où on en a révélé le caractère statistique, et que, par conséquent l'idée d'un enchaînement nécessaire de causes doit être bannie de notre image du monde... Nous serons particulièrement enclins à sacrifier la causalité si nous suivons HUME dans son raisonnement qui voit dans la liaison par causes et effets non pas une disposition nécessaire de notre pensée, mais seulement une habitude née de l'observation de certaines régularités, dont maintenant on a pu s'assurer qu'elles sont simplement de fréquences statistiques. Si, au contraire nous repoussons le point de vue de HUME et demeurons persuadés que le principe causal est quelque chose qui existe *a priori* et constitue un élément nécessaire de notre pensée, au point de marquer inévitablement toute expérience possible, il nous faudra alors adopter la seconde alternative c'est-à-dire admettre qu'un atome se comporte à chaque instane selon les déterminations d'une causalité rigoureuse. De ce point de vue la causalité apparaîtra comme le fondement des lois statistiques qui se révèlent dans les phénomènes de masse » (*Ibid.*, p. 15).

SCHRÖDINGER rappelle que FRANZ EXNER, de l'école de Vienne, à qui il reconnaît beaucoup de voir, avait déjà eu l'occasion de mentionner comme parfaitement possible et plausible une façon de concevoir la Nature sans jeu de causes et d'effets. C'est dans une série de leçons publiées en 1919 qu'EXNER a dit qu'« il se pourrait que les lois de la Nature eussent un caractère essentiellement statistique. En demandant que des lois de ce type trouvent leur fondement dans des lois naturelles absolues... *on s'aventure au delà des limites de l'expérience*. Un tel dualisme de base pour le cours des événements dans la Nature est en soi improbable. En tout cas *l'onus probandi* retombe sur les avocats d'un déterminisme absolu et non pas sur ceux qui mettent ce déterminisme en doute » (*Ibid.*, p. 117-118).

SCHRÖDINGER avait lui aussi, accepté cette opinion philosophique d'EXNER avant de collaborer à la construction de la théorie des ondes. Alors il semble avoir encore professé un positivisme de stricte observance, car dans une conférence qu'il tint à Zurich en 1922 (1), il déclarait que l'acceptation d'une loi causale rigoureuse n'a

(1) *Was ist ein Naturgesetz?* cité par FRANK, *Das Kausalgesetz und seine Grenzen*. Springer, Vienne, 1932, p. 246.

de sens que par rapport à un monde soustrait à notre observation et que pareille supposition semble bien faire part d'un résidu de la mentalité primitive.

Enfin P. A. M. DIRAC auquel nous devons une contribution magnifique à l'édifice le plus parfait de la mécanique quantique n'hésite pas, lui non plus à s'associer aux indéterministes. Dans sa conférence de Bruxelles (de 1927) il dit qu'« à certains moments la nature fait un choix » (1). Et dans son ouvrage *Quantum Mechanics* (de 1930) il explique (2) : « lorsque une certaine observation est faite sur un système atomique préparé d'une certaine façon et qui, à la suite de cela, se trouve dans un état donné, le résultat n'est généralement pas déterminé, de sorte que si on répète l'expérience un certain nombre de fois dans des conditions identiques les résultats obtenus pourront varier ».

39. Opinions contraires de Planck, Einstein, Langevin.

Tandis que tant de physiciens de haut renom se montrent disposés à accepter l'indéterminisme sans la moindre répugnance, d'autres demeurent fermement attachés à l'idée déterministe. Et parmi ces derniers figurent les grands pionniers des nouvelles doctrines : MAX PLANCK, ALBERT EINSTEIN, PAUL LANGEVIN.

PLANCK n'est pas seulement le grand physicien à qui la science doit des idées et des découvertes fondamentales ; il est aussi un théoricien vigoureux de la connaissance scientifique. A l'encontre de MACH et de KIRCHHOFF il a soutenu que la science doit pousser ses regards plus loin que la ligne d'horizon tracée par le positivisme. Dans une série de leçons réunies en volume (3) PLANCK a exprimé très clairement ce qu'il pense sur les questions qui forment le sujet de cette étude.

L'auteur commence par affirmer que le but de la science est la conquête d'une conception unifiée de la réalité. Ce progrès s'effectue en intégrant les vues méthodiques partielles qui relèvent de la description purement phénoménique et de l'hypothèse générali-

(1) Cité par LANGEVIN, *La notion de corpuscules et d'atomes*, p. 33.

(2) *In* JEANS, *l. c.*, p. 44.

(3) *Wege zur physikalischen Erkenntniss*. Leipzig, 1933.

sante. Même dans la science la plus rigoureuse la libre construction d'images trouve à s'exercer tout comme dans l'art et dans la poésie ; rien que l'affirmation d'un fait, tel que « la lumière prend le chemin le *plus court* » implique comme une comparaison avec des lumières imaginaires et jamais vues.

Quant au principe de cause grâce auquel les phénomènes sont reliés par des lois dans l'écoulement du temps PLANCK se demande s'il est inhérent à la nature des choses ou s'il n'est, tout ou en partie, qu'une création de notre faculté imaginative. Il a appris chez HUME qu'il ne s'agit point d'une nécessité logique de la pensée, mais KANT (délivré des dernières scories du dogmatisme) lui offre cette idée critique que le principe de causalité exprime la règle interprétative de l'expérience (*das Erfahrungsmaessige*) pour relier la succession de sensations isolées (p. 96). Et poussant plus loin l'examen, PLANCK arrive à reconnaître que ce même principe constitue le critère fondamental sur lequel nous construisons la notion de réalité et pouvons ainsi distinguer le rêve de ce qui existe « objectivement ». Car avec les seuls moyens de la logique on ne trouverait jamais une issue pour sortir du solipsisme.

Dans le chapitre intitulé « Die Kausalitaet in der Natur » (p. 232) qui reproduit une conférence faite à la Société de Physique de Londres en 1932 notre auteur examine de plus près le problème de la causalité par rapport à la physique nouvelle. Après avoir exposé les nouvelles doctrines et particulièrement les relations d'indétermination de HEISENBERG, PLANCK remarque (p. 246) : « Le fait qu'il est impossible de répondre à une question dénuée de sens ne peut naturellement toucher le principe de causalité, mais seulement mettre en cause les présuppositions d'où on est parti pour poser cette question, c'est-à-dire dans le cas qui nous intéresse, la structure supposée de l'image qu'on se fait du monde (*Weltbild*) » (p. 246) ; il s'agit précisément de l'image correspondant à la théorie des ondes, véhicules de corpuscules.

Voici maintenant le jugement conclusif de PLANCK sur la signification de la nouvelle mécanique quantique : « La probabilité est le thème des plus récentes conquêtes de la Physique ; mais je ne crois guère qu'on se contentera à tout jamais de poser le problème en ces termes. On ne peut démontrer que le principe de causalité est vrai ou qu'il est faux, mais c'est un principe heuristique, un guide et à mon avis le plus précieux des guides » (p. 259).

Le prétendu contraste entre le déterminisme scientifique et l'idée de la liberté humaine est soumis lui aussi à un examen critique des plus lucides par PLANCK (p. 257). Le sens de notre notion de liberté est que l'homme se sent parfaitement libre et que lorsqu'il a ce sentiment il est seul à le savoir. Il n'y a rien de contradictoire à ce qu'un esprit idéalement parfait connaisse les motifs nécessaires de notre vouloir, à moins que nous ne réduisions cet esprit à la mesure de notre intelligence humaine.

Le sentiment très fort de la raison suffisante qui se manifeste dans la construction de la théorie de la relativité, laissait prévoir qu'ALBERT EINSTEIN se trouverait d'accord avec PLANCK sur la plupart des points que nous venons d'exposer. Et en effet EINSTEIN voit nettement dans la science ce qui dépasse son contenu positif. « La science » dit-il n'est point une simple collection de faits sans rapport les uns avec les autres. Elle est création de l'esprit humain qui invente en toute liberté des idées et des notions raisonnées... Il ne peut y avoir de science si l'on ne croit pas à la possibilité de saisir la Nature à l'aide de nos constructions théoriques et si l'on ne croit pas en l'harmonie du monde où nous vivons. Cette croyance demeure le motif essentiel de toute création scientifique » (1).

Au sujet du déterminisme EINSTEIN déclare explicitement : « Le non-déterminisme est un concept tout à fait illogique... Dire que la durée de vie moyenne de tel atome est indéterminée en entendant par là qu'elle n'aurait pas de cause, c'est un non-sens. La loi qui régit les événements naturels est bien plus rigoureuse et bien plus étroite que nous ne l'imaginons aujourd'hui, quand nous disons d'un événement qu'il est la cause d'un autre. Ici, notre concept se limite à un événement *unique* produit dans une section unique du temps. Il est séparé du processus total. Le procédé grossier qui nous sert aujourd'hui dans l'application du principe de causalité est tout à fait superficiel... La physique des *quanta* nous met en présence d'opération très compliquées. Pour en venir à bout, il faut étendre et réviser notre notion de la causalité » (2). On voit que

(1) A. EINSTEIN and L. INFELD, *The Evolution of Physice*. Cambridge, 1938, p. 310; 312.

(2) Cité par J. JEANS, *Les nouvelles bases philosophiques de la science* (trad. française par Lalande). Paris, Hermann, p. 233-34.

la révision indiquée par EINSTEIN et dont l'occasion a été donnée par les développements récents de la physique, se trouve étroitement associée avec l'idée de la solidarité du monde réel ; l'hypothèse mécanique avait cru pouvoir faire abstraction (dans une certaine mesure) de cette idée.

PAUL LANGEVIN savant et penseur, se prononce dans le même sens : « On est parti [des relations d'indétermination de HEISENBERG]... pour proclamer la faillite du déterminisme, pour affirmer que les corpuscules de toute nature n'ont pas un mouvement déterminé, puisqu'il est impossible de définir expérimentalement au même instant la position et la vitesse ou la quantité de mouvement d'un corpuscule quelconque. Au nom du principe d'indétermination on s'est livré à toute une variété de dévergondages intellectuels en parlant d'un libre arbitre des corpuscules, d'un libre choix de la nature... Pourquoi ne pas admettre, plutôt que notre conception corpusculaire est inadéquate, qu'il n'est pas possible de représenter le monde intra-atomique en extrapolant jusqu'à l'extrême limite notre conception macroscopique du mobile ? Du fait que la nature ne répond pas d'une façon précise quand nous lui posons une question concernant le mobile corpusculaire, c'est beaucoup de prétention de notre part de conclure : il n'y a pas de déterminisme dans la nature. Il est plus simple de dire : c'est que la question est mal posée, et que la nature ne connaît pas de mobile corpusculaire (1). »

Nous verrons tout à l'heure le sens plus précis de la solution que propose M. LANGEVIN pour le problème physique.

40. La causalité n'est pas un résultat scientifique mais un problème philosophique.

Le fait que différents physiciens tout en tombant d'accord pour adopter les nouvelles doctrines, en offrent des interprétations contradictoires montre déjà, si besoin en est, que le problème du déterminisme autour duquel la querelle s'est allumée, n'est guère un problème scientifique, mais bel et bien un problème philosophique, comme d'ailleurs on l'a toujours considéré par le passé. Mais il n'est pas inutile de le rappeler aux physiciens qui font de la philo-

(1) *La notion de corpuscules et d'atomes*. Hermann, Paris, 1934, p. 33, 35.

sophie sans le savoir. Les sympathies qu'a rencontré dans ce milieu la solution indéterministe peut s'expliquer par des influences philosophiques souvent inaverties. La plus forte est celle qu'a exercé le positivisme (par le truchement de MACH et de KIRCHHOFF, sinon pris à la source même chez HUME et chez COMTE). L'idée qu'exprimait EXNER à l'école de Vienne, il y a de cela vingt ans, est une conséquence logique de cette prédisposition de l'esprit ; elle se rattache donc étroitement aux opinions que nous avons vu exprimées par MACH, par POINCARÉ, mais surtout par PEARSON, propagateur de ces mêmes doctrines statistiques et probabilistes où les physiciens du nouvel âge ont trouvé l'instrument approprié à leurs recherches (1).

Pour établir l'influence d'une philosophie il n'est d'ailleurs pas nécessaire de démontrer un contact direct entre ces savants et les penseurs qui ont élaboré tels systèmes. Il suffit d'établir que avant qu'il fut question de la « nouvelle physique », l'idée d'une Nature où la causalité ne jouerait aucun rôle était déjà affirmée par maintes écoles : romantiques, positivistes, pragmatistes. Il est donc difficile d'admettre que cette idée ait été simplement un résultat du progrès de la science. Vers 1850 les matérialistes prétendaient aussi faire passer leur doctrine pour le dernier résultat de la science contemporaine et ne tenaient aucun compte de la longue tradition métaphysique qui remonte à DÉMOCRITE ; on sait comment ALBERT LANGE a su mettre à nu la vanité de pareille prétention.

Mais pour nous faire une opinion plus exacte sur l'évolution de la pensée chez les jeunes physiciens de notre temps, il convient de considérer la signification révolutionnaire qu'a eu pour eux la théorie de la relativité d'EINSTEIN. Si l'on s'arrête à l'aspect superficiel de cette doctrine, c'est-à-dire à la thèse (déjà soutenue, cependant, par les premiers géomètres non-euclidéens) sur la valeur empirique de la géométrie, on est porté naturellement — par la logique de toute révolution — à aller de l'avant dans l'affirmation de l'empirisme et à nier tout principe *a priori* qui prétend échapper au jugement de l'expérience.

Ce qui dans ces principes semble relever d'une nécessité de la pensée, sera expliqué comme l'avaient fait HUME et CONDILLAC

(1) V. F. ENRIQUES, *Il determinismo e la fisica quantistica nel Congresso fiorentino della Mathesis*, dans « Periodico di Matematiche », mars 1930.

par l'habitude, c'est-à-dire comme le résultat d'expériences répétées dans des domaines plus familiers. Tandis qu'on repoussera l'idée que cela pût dépendre de la structure même de notre organe de la pensée.

41. La question du déterminisme et les néo-positivistes.

Essayons de résumer et de fixer clairement les différentes questions philosophiques prises à l'égard de cette question : quel est le sens du déterminisme pour la science ?

Nous avons vu que la *conception positiviste de la science* selon laquelle celle-ci ne serait qu'une simple description des phénomènes conduit à envisager uniquement des lois naturelles approximatives, donnant lieu à des prévisions probables ; à ce point de vue *parler d'un déterminisme rigoureux n'a aucun sens*. On ne s'étonnera donc pas de voir les néo-positivistes, tels que les philosophes de « l'école de Vienne », fort enclins à faire bon marché du principe de causalité et prêts à accepter l'indéterminisme ou (si l'on pardonne cet hybride gréco-latin) l'*a*-déterminisme qu'ils considèrent comme ayant été seulement illustré (ou précisé) par les étapes récentes de la physique. HANS REICHENBACH dit en effet : « Qu'il y ait crise réelle du causalisme, c'est seulement aujourd'hui qu'on peut l'affirmer, car en physique même le doute règne au sujet de la prédétermination rigoureuse de tout devenir naturel et... ce doute a conduit, précisément en mécanique subatomique, à renoncer résolument aux conceptions casualistes. Cependant, cette conquête de la mécanique des quanta n'est pas si nouvelle qu'elle semblerait ; car qui-conque a suivi de près le développement de la physique durant le dernier siècle, a pu remarquer que toute la préparation conceptuelle de la nouvelle phase s'y était déjà accomplie et cette phase n'est d'ailleurs que l'aboutissement conséquent d'une évolution » (1).

Selon la logique du positivisme le fait de renoncer à une causalité

(1) *Atomes et Cosmos*. Flammarion, Paris, 1934, p. 243. Une thèse assez semblable est soutenue par MORITZ SCHLICK, *Die Kausalität in der gegenwärtigen Physik* (dans « *Naturwissenschaften* », 1931) : La causalité est un critère pour servir de guide à l'intelligence et elle n'adhère à la réalité que dans certaines limites que l'expérience peut reconnaître.

rigoureuse n'implique rien d'autre que l'impossibilité d'attribuer un sens positif à cette hypothèse, en essayant d'affiner au delà de toute limite les mesures des données expérimentales ainsi que les prévisions fondées là-dessus. PHILIPP FRANK qui appartient lui aussi à l'école de Vienne, discute amplement la question dans son livre *Das Kausalgesetz und seine Grenzen* (Springer, Vienne, 1932) pour expliquer comment il ne faut pas interpréter le non-déterminisme de la nouvelle physique dans cet esprit mystique, théologique, animiste, vitaliste qu'à toute occasion on voit revenir à la surface dans les sciences naturelles, mais qu'il convient d'y voir uniquement une limite de l'expérience effectivement praticable.

FRANK expose très clairement ce que signifie la causalité aux yeux d'un positiviste. Il s'agit de l'affirmation qu'à chaque état A doit succéder inmanquablement un certain état B et que par conséquent des états égaux sont toujours suivis d'états égaux. Mais si l'état A s'appliquait à l'univers tout entier, il faudrait admettre que l'évolution cosmique procède par cycles, de façon que l'état A puisse ultérieurement se répéter ; et cette hypothèse outre qu'elle est improbable en soi, ne pourrait en aucun cas trouver une application.

Il faut donc se borner à l'étude de portions convenablement limitées de la réalité, pour lesquelles un même état A peut se répéter. Mais comment définirons-nous cet état ? Et comment pourra-t-on établir les données de l'observation et de l'expérience, qui permettent l'application du principe, c'est-à-dire la prévision qu'il comporte ? Il est évident que pour y arriver il faudra introduire les rapports qui peuvent exister entre les phénomènes du champ délimité et d'autres corps ; et jamais on ne sera sûr que ces rapports introduits sont suffisants. Si on pousse ce raisonnement jusqu'aux dernières conclusions, on se voit amené à dire que la définition exacte de l'égalité de deux états implique aussi l'égalité des états successifs et qu'ainsi le *principe de cause se réduit à une tautologie*.

En somme, le déterminisme, comme l'entend le positiviste, ne saurait signifier autre chose que l'existence de lois approchées qui donnent lieu à des prévisions probables. Cette conclusion se justifie selon FRANK (p. 246) sans qu'il y ait besoin d'invoquer les développements de la nouvelle physique. Et il rappelle à ce propos les opinions de SCHRÖDINGER exprimées en 1921 et que nous avons déjà eu l'occasion de citer.

42. Le déterminisme en tant que présupposition de la science.

Si le principe de causalité n'implique la connaissance d'aucun fait ni d'aucune loi naturelle, effectivement contrôlés par l'expérience, il nous reste cependant à examiner s'il est exact d'y voir non point un résultat mais une présupposition de la science.

Cette thèse qui se rattache à la critique de KANT, peut toujours être interprétée de différentes façons, qu'il importe de mettre en lumière. Le dilemme entre la possibilité d'une science fondée sur la notion de cause et son impossibilité (parce qu'il est impossible de comprendre scientifiquement le fortuit) ne peut être résolu (comme le pensait KANT) par le fait que la science existe, à moins que celle-ci ne soit une science absolument parfaite, ce qui évidemment n'est pas le cas et jamais ne pourra l'être.

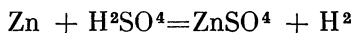
Le fait que la science telle que nous la possédons (et si nous n'en considérons que le contenu positif) arrive seulement à des « approximations » des lois de la Nature s'explique aisément non seulement par les erreurs inévitables dans toute mesure ou évaluation expérimentale mais encore par la nécessité de faire abstraction d'un nombre infini de causes perturbatrices qui exercent des influences minimes sur le cours des événements.

C'est pourquoi on ne peut dire que le déterminisme, entendu dans un sens rigoureux est une présupposition de la science qu'à n'importe quel moment donné nous possédons effectivement. Mais en émettant ce jugement nous demeurons sur les positions choisies par le positivisme. Et ainsi se trouve justifiée l'affirmation suivante de LOUIS DE BROGLIE : « Un certain nombre de physiciens manifestent encore la plus grande répugnance à considérer comme définitif le renoncement au déterminisme rigoureux auquel la physique quantique actuelle est contrainte. On a été jusqu'à dire qu'une science indéterministe est inconcevable. Cette opinion nous paraît exagérée puisqu'en somme la physique quantique existe et qu'elle est indéterministe » (1).

Il est évident que la thèse : « le déterminisme est une présupposition de la science » ne signifie pas la même chose pour DE BROGLIE

(1) *La Physique nouvelle et les quanta*. Flammarion, Paris, p. 240.

et pour les physiciens qu'il critique. Pour ces derniers le déterminisme est une présupposition de la science *dans son devenir*, c'est-à-dire de la recherche scientifique pour peu qu'on veuille assigner à celle-ci un but capable de satisfaire, ne fût-ce qu'abstraitement, la pensée humaine. Or dès qu'on pose ce but, nous l'avons dit et nous le répéterons, on dépasse les bornes du positivisme. Il est d'ailleurs évident qu'une théorie scientifique peut rendre compte de certains aspects des phénomènes en se contentant de tracer des lois régulatrices qui laissent dans l'inconnu ou dans l'indéterminé le cours des événements. Ainsi, par exemple, les formules qui en chimie traduisent la représentation atomique de la matière marquent une limite aux combinaisons possibles mais ne déterminent pas d'une manière univoque les combinaisons qui réellement ont lieu : la combinaison du zinc avec l'acide sulfurique se produit selon la formule :



tandis que la combinaison du cuivre avec le même acide est représentée par :



La théorie atomo-moléculaire n'a donc pas pu serrer de près le déterminisme des combinaisons chimiques et c'est pourquoi elle a suscité un problème ultérieur auquel on a trouvé une réponse dans un ordre différent de considérations et précisément dans la théorie des solutions où entrent en jeu les rapports entre la matière et l'électricité.

Il semble qu'il faille émettre un jugement tout à fait analogue sur la théorie de la radioactivité, soutenue par la physique quantique. Si pour simplifier les choses, nous nous reportons au modèle atomique de BOHR où plusieurs électrons tournent autour d'un noyau dans des orbites quantifiées, nous verrons que la quantification est le propre des états stationnaires des atomes alors que le passage d'un état à l'autre (qui correspond à une explosion de l'atome suivie d'une émission d'ondes) n'est d'aucune façon représenté dans le modèle en question. Pourquoi nous étonnerions-nous alors de ce que ce modèle ne puisse nous expliquer les causes de ces explosions et nous donner une raison valable du fait que tel atome éclate au bout de dix minutes et tel autre au bout de plusieurs siècles ?

On prétend que cette différence dans le comportement d'atomes qui aujourd'hui ne nous semblent se distinguer les uns des autres par aucun trait spécifique, serait démontrée par la circonstance que la radioactivité n'est ni augmentée ni altérée en fonction des causes chimiques ou physiques habituelles (chaleur, etc.). On oublie que cette circonstance (à laquelle il faut ajouter cette autre : l'ordre plus élevé des quantités d'énergie qui entrent en jeu dans le phénomène en question) est interprétée par notre modèle puisque il suggère que la radioactivité dépend non point de modifications moléculaires, mais de quelque chose qui se passe à l'intérieur de l'atome.

En somme, si le modèle de la physique quantique a été construit sans la moindre tentative de rendre compte des explosions dans les atomes est-ce vraiment là un motif suffisant pour admettre que nous avons affaire ici à une impossibilité intrinsèque de la Nature et que cette impossibilité dépendrait du fait que « deux choses aujourd'hui égales pourront se comporter demain de façons différentes, même si les circonstances demeurent les mêmes ».

Notre refus d'admettre quelque chose dans ce genre ne se fonde pas sur une hypothèse concernant la structure de la réalité ; une hypothèse qui pour avoir une signification positive devrait impliquer une solution du problème. Non, ce qui nous répugne c'est d'accepter le non-intelligible d'où sourd la position même du problème ; et cette répugnance n'est pas autre chose que notre foi dans l'intelligibilité des choses. Nous voici en présence d'un *critère méthodologique*, tout à fait général et qui est la présupposition de *la science qu'il s'agit de créer* c'est-à-dire de la recherche scientifique.

Une science parfaite devrait expliquer tous les phénomènes possibles. C'est là évidemment un idéal impossible à atteindre et si l'on veut, dénué de sens. Mais *ne fût-ce que par voie d'abstraction*, nous pouvons nous efforcer d'expliquer des ordres particuliers de phénomènes, constituant un fragment de la réalité, et de les comprendre, en quelque sorte à travers une représentation conceptuelle qui constitue une *théorie scientifique adéquate à cette réalité*. Et avant de vérifier la théorie par l'expérience ou en dehors de cette vérification (en n'oubliant pas qu'elle ne saurait être qu'approximative) nous demandons que la théorie soit en elle-même *plausible*, qu'elles satisfasse au *principe de la raison suffisante* qui est l'aspect mental de la causalité.

43. Le subjectif et l'objectif dans la science.

La thèse que nous venons d'illustrer s'accorde, en grande partie, avec la critique de KANT, à condition qu'on débarrasse cette dernière de tout résidu dogmatique (1).

Il faut entendre l'*a priori* (la condition de possibilité de la science) non pas comme une hypothèse générale qui serait le fondement des choses connues, mais comme un apport de l'activité de l'esprit qui interprète l'expérience et construit la science. Il faut reconnaître que cet *a priori* qui est dans la nature du sujet pensant, ne saurait être exprimé par des axiomes indépendants de l'expérience ou du progrès du savoir, mais que la définition même de l'*a priori* en question est un progrès accompli en fonction de l'expérience, comme cela est mis en évidence par les géométries non-euclidiennes et par la théorie einsteinienne de la relativité. Nous avons vu que HELMHOLTZ interprétait ainsi l'*a priori* de KANT. Et c'est aussi l'interprétation sur laquelle tombent d'accord des philosophes critiques contemporains tels que LÉON BRUNSCHWIG (2) et ERNEST CASSIRER (3).

Mais il faut expliquer comment un critère méthodique, essentiellement subjectif arrive à s'imposer à la science, qui d'habitude est considérée comme tendant à une pure *vérité* objective. L'explication se trouve dans le fait que la vérité scientifique n'est pas une chose que le savant contemple du dehors comme si elle appartenait à un monde ontologique qui dépasse l'homme, mais qu'elle est une élaboration des données réelles, accomplie par la pensée et par conséquent une construction partiellement libre de cette pensée. Dans toute connaissance il est impossible de dissocier d'une façon absolue le subjectif de l'objectif. Cela ne signifie pas que le savant expérimentateur trouble plus ou moins la réalité qu'il entreprend d'observer, car son action dans ces circonstances fait partie de l'objet effectivement observé. Ce qui est décisif c'est que la réalité est pour nous une réalité pensée qui prend la forme de la pensée elle-même. Si on voit

(1) V. F. ENRIQUES, *La théorie de la connaissance scientifique de Kant à nos jours*.

(2) *L'expérience humaine et la causalité physique*. Alcan, Paris, 1922.

(3) *Determinismus und Indeterminismus in der modernen Physik*. Goteborg, 1936.

l'objet dans un rapport invariant d'un groupe de volitions et de sensations qui s'y rattache, on devra dire que ce rapport — l'objet affirmé — est une présupposition de l'esprit qui l'affirme et que l'expérience appelée à le vérifier dans la mesure du possible a toujours un caractère d'approximation.

Cette approximation laisse de la place pour un choix, en dedans de certaines limites arbitraires, entre différents systèmes d'images ou d'interprétations qui s'accordent également avec les faits observés ; la théorie scientifique introduit et coordonne ces systèmes en une représentation conceptuelle qui tend à satisfaire les exigences intrinsèques de la raison, en dépassant le monde des choses observables. C'est précisément ainsi que la science, loin de s'épuiser par les données de l'expérience (qui en constituent le contenu positif) se construit sur ces données grâce au libre jeu de l'activité créatrice de l'esprit.

On peut illustrer ce qu'on vient de dire en observant que dès le moment où l'on fait appel à une loi pour décrire n'importe quel phénomène de la physique classique, on substitue une courbe continue à une multiplicité finie de points qui ont été marqués pour donner une représentation graphique du phénomène. Et cette substitution implique une interpolation des observations faites, ce qui signifie l'intervention d'une certaine dose d'arbitraire. La vérité scientifique de la loi à laquelle on est parvenu de cette façon ne consiste pas dans la simple description des points observés, mais bien dans l'acte intellectuel de saisir la nature de la courbe dont ces points font partie et dans la comparaison de cette courbe avec des observations nouvelles et plus précises.

44. La non-individualité des corpuscules de la physique atomique.

Après avoir élucidé le sens philosophique du déterminisme scientifique en le présentant comme l'exigence méthodologique d'une représentation conceptuelle, qui contienne la raison suffisante des faits à expliquer, nous pouvons revenir à la physique quantique pour nous demander quel peut donc être le sens des relations d'indétermination de HEISENBERG. Le dilemme que nous pose cette théorie est de renoncer soit à la causalité, soit à la représentation mécanique en termes d'espace et de temps. Ce dilemme

ne peut être résolu que par le renoncement à la représentation mécanique au sens de la physique classique. Mais il faut approfondir la signification de ce renoncement.

Le phénomène élémentaire qu'envisage cette théorie serait le mouvement d'un corpuscule associé à une onde, de façon que l'intensité de cette dernière en un point donné et à un instant donné indique la probabilité d'existence d'un corpuscule en ce point et à cet instant. Mais pareille définition n'est qu'un pur symbole mathématique puisqu'elle ne signifie rien en soi et qu'on ne l'emploie qu'à l'égard de la distribution d'un ensemble nombreux de corpuscules qui se réfléchit dans des phénomènes de masse. Or si le corpuscule isolé ne peut pas être localisé à chaque instant par rapport à l'onde qui lui est associée, si d'autre part dès que nous serrons de près l'observation du lieu où il se trouve, nous voyons nous échapper toute possibilité de reconnaître sa vitesse, quelle espèce d'existence pourrons-nous encore accorder à son mouvement ?

Le fait est que l'appareil photographique de WILSON enregistre certaines impressions, auxquelles nous croyons devoir faire correspondre la trajectoire d'un corpuscule mobile ; mais est-ce là une idéalisation légitime de la réalité sensible ? S'il en était ainsi il faudrait supposer qu'à des moments successifs les corpuscules pourront être identifiés et distingués les uns des autres, c'est-à-dire qu'en observant deux corpuscules à des moments différents nous saurons dire si c'est ou si ce n'est pas le même que nous revoyons. Mais l'observation ne nous permet pas de trancher la question. L'hypothèse se présente donc, que les corpuscules élémentaires (l'électron, etc.) ne seraient point de vrais corpuscules ou des points physiques individuellement distincts. C'est là, sans doute, une hypothèse hardie et paradoxale ; cependant malgré son apparence absurde, elle semble confirmée par le développement même de la théorie physique. En effet P. LANGEVIN a remarqué que cette hypothèse correspond seule aux nouvelles statistiques de BOSE, EINSTEIN et de PAULI-FERMI qui corrigent la théorie cinétique classique des gaz en rendant compte des propriétés des gaz qui s'éloignent du type parfait.

Si nous considérons, par exemple, les possibilités se rapportant à deux corpuscules A et B, qui doivent se trouver dans deux compartiments, ces possibilités se réduisaient dans la statistique classique à *quatre* cas distincts : A et B dans le premier comparti-

ment, ou les mêmes dans le deuxième, ou A dans le premier et B dans le deuxième, ou enfin B dans le premier et A dans le deuxième. Mais dans les nouvelles statistiques on ne considère pas les deux derniers cas comme différant l'un de l'autre et cela veut dire qu'on renonce à discerner A de B. Cela veut dire précisément que le corpuscule de la physique atomique ne possède pas une individualité qui lui soit propre.

Le raisonnement de LANGEVIN qui nous paraît irréfutable offre l'explication la plus claire du paradoxe de la physique quantique. Ce que nous essayons de nous représenter comme le mouvement d'un corpuscule n'est guère susceptible d'être représenté ainsi parce que le *prétendu corpuscule ne possède pas l'individualité* d'un point physique qu'on puisse assimiler à un point matériel.

Selon LANGEVIN l'individualité est un caractère qui n'appartient qu'aux formes plus complexes de la réalité, de même que la personnalité n'est l'attribut que de formes encore plus compliquées... Nous dirions plutôt que le *corpuscule* qu'on était enclin à se figurer d'après les habitudes de la physique classique (c'est-à-dire en interprétant d'une certaine façon les données de l'observation) *n'est pas un objet*. Qu'est-ce, en effet, qu'un « objet » ? C'est, comme nous l'avons dit (§ 32) un invariant des volitions et des sensations associées (que celles-ci soient effectives ou supposées) que la pensée logique peut envisager comme un individu. Mais dans le cas qui nous occupe nous voyons faire défaut la propriété exprimée par les principes logiques et qui implique que deux objets ne peuvent être en même temps distincts et identiques ; or deux électrons, par exemple qui observés à un certain moment paraissent distincts, peuvent ensuite être pris l'un pour l'autre, de sorte que chacun d'eux *est et n'est pas* identique à l'autre.

La signification physique qu'on est amené ainsi à attribuer à l'électron (ou au corpuscule élémentaire) sera celle d'un point isolé jusqu'à un certain point et pouvant exprimer un état qui appartient à la portion d'espace et de temps, où se trouve compris le phénomène. Les idées bien connues de FARADAY et MAXWELL sur l'électromagnétisme rendent d'une façon assez claire cette idée. Et elle est aussi éclairée par des analogies mathématiques.

Par exemple une fonction rationnelle de 2^e ordre $\frac{1}{(x-a)(x-b)}$ possède deux pôles a et b qui sont interchangeables pour une varia-

tion continue de cette fonction ; et un point isolé ne suffit pas à caractériser la fonction de 2^e ordre.

45. Confirmations et critiques.

Cette explication du paradoxe de la physique quantique par la non-individualité de ce qu'on appelle les corpuscules élémentaires a donné lieu à des commentaires qu'il nous faut brièvement examiner.

Parmi les physiciens nous voyons par exemple MAX VON LAUE (1) accepter cette explication.

Parmi les philosophes, ERNEST CASSIRER la consolide par des références historiques opportunes et par des observations sagaces. Il rappelle que différents penseurs, par exemple LOCKE et SCHOPENHAUER s'étaient déjà aperçus du lien qui existe entre le « principium individuationis » et la localisation dans l'espace et dans le temps. Ce lien apparaît encore impliqué dans la définition de la masse d'un point matériel, donnée par HENRI HERTZ : « un signe grâce auquel nous associons à chaque point du temps un point de l'espace ». Intéressante est aussi l'observation, faite par CASSIRER que l'impossibilité de localiser un électron dont on suppose l'état dynamique connu, nous aide à comprendre le principe d'exclusion de PAULI qui exprime sous une forme scientifique précise le principe leibnizien de l'identité des indiscernables (1).

Mais par contre des objections sont venues de la part d'un philosophe qu'on n'aurait pas pensé rencontrer parmi les adversaires, étant donné qu'il a défendu les exigences de la raison contre le positivisme. EMILE MEYERSON juge spécieuse et peu plausible la thèse de la non-individualité des corpuscules élémentaires et il se montre plutôt disposé à lâcher le déterminisme, en faisant dans la Nature une part plus large à l'irrationnel qui exprime l'aspect sceptique et agnostique de son système (2). Le motif de ce refus est que l'objectivisation constitue aux yeux de MEYERSON la pre-

(1) *Ueber Heisenbergs Unbestimmtheitsbeziehungen und ihre erkenntniss theoretische Bedeutung*, dans « Die Naturwissenschaften », vol. XXII (1934), p. 441.

(2) E. CASSIRER, *Determinismus und Indeterminismus in der modernen Physik*, p. 224 et suiv. et 230 (note).

(3) *Réel et déterminisme dans la Physique quantique*. Hermann, Paris, 1933.

mière et la plus importante des exigences de la pensée. Mais il ne nous semble pas difficile de dissiper l'erreur où est tombé sur ce point l'éminent philosophe.

Il est vrai (nous avons d'ailleurs déjà exprimé notre accord avec MEYERSON en cette question) que la pensée logique doit se référer à quelque chose qui est pensée comme étant invariable et dont on puisse faire l'objet de la pensée logique. Mais pour juger si quelque chose qu'on a pris pour invariant dans le flot de la réalité sensible est effectivement invariant, seule l'expérience et le progrès du savoir qui se fonde sur elle peuvent être compétents. Autrement on retombe dans l'erreur de KANT qui ayant reconnu l'exigence rationnelle de supposer une substance sous-jacente aux phénomènes, s'est laissé pousser à la concrétiser simplement dans le poids. Je regarde une petite goutte qui s'évapore et me sens induit à y voir un *objet* ; mais l'instant d'après cette goutte se retrouve en sa plus grande partie dans un petit nuage ; où est alors l'objet auquel je me reportais ? Je ne saurais prétendre dans ce qui reste de la goutte, car le petit nuage en fait partie aussi. Ainsi rien ne s'oppose à ce que l'objet véritable, auquel correspond pour nous l'apparence d'un électron soit, du moins à certains moments et dans certains de ses aspects, un état physique passible d'être défini par une certaine portion d'espace et de temps ; que dans l'état d'une telle portion ou dans l'image que nous en formons (et que nous devons essayer de rattacher à la masse des phénomènes inexplorés) on reconnaisse la raison de ce que la mécanique quantique d'aujourd'hui voudrait n'*avoir aucune raison d'être*, par exemple la raison des explosions de l'atome, etc.

Nous croyons avoir répondu ainsi aux objections de MEYERSON dont l'autorité reconnue et aussi la situation particulière qu'il a parmi les théoriciens de la connaissance scientifique, nous imposaient de ne pas négliger une opinion émise par lui.

46. Conclusion.

Essayons de résumer les conclusions auxquelles cette étude nous a conduits. En premier lieu : la question du déterminisme est une question essentiellement philosophique ; elle ne peut donc être résolue par le développement de la science. Les physiciens qui ont cru pouvoir tirer une conséquence indéterministe du progrès des

théories quantiques comme un résultat de l'expérience ou de la science fondée sur l'expérience, ont en réalité subi l'influence de motifs d'ordre philosophique qui avaient *déjà* été affirmés et illustrés avant que la physique quantique prit naissance.

Le problème du déterminisme prend une signification différente pour les positivistes et pour ceux qui professent une gnoséologie critique ou rationaliste. Pour les positivistes cohérents le déterminisme ne peut avoir un sens rigoureux ; *a priori* le sens positif de la causalité se réduit à l'affirmation de lois approchées et de prévisions probables .

Mais la critique gnoséologique et épistémologique ne peut pas se contenter d'une notion qui réduit la science à son contenu positif, comme une simple collection ou description de faits. La science dépasse son contenu positif en essayant d'*expliquer* les faits à l'aide d'une construction imaginative ou d'une représentation conceptuelle qui soit à même de satisfaire (autant que possible) les exigences rationnelles de la pensée.

Selon cette vue de l'esprit le principe de causalité prend la signification d'un critère logique ou méthodologique ; critère sur lequel se fonde le jugement concernant la *plausibilité* des théories et, par conséquent, présupposition de la recherche scientifique qui se traduit d'une façon appropriée par la requête de la *raison suffisante*.

Le dilemme paradoxal auquel a abouti le développement de la récente physique quantique, mécanicisme dénué de cause ou déterminisme incompatible avec une explication mécanique, doit être résolu par le choix de la seconde alternative et plus exactement par la négation de l'existence objective des corpuscules élémentaires. Cette négation a déjà trouvé un commencement de validation dans les théories des gaz, fondées sur les nouvelles statistiques. La crise de la nouvelle physique implique donc non pas la crise du déterminisme, mais *le dépassement* du mécanicisme.

Ce point de vue philosophique n'a pas toutefois une signification intransigeante à l'égard des physiciens et particulièrement des positivistes qui lui sont contraires. Leur attitude résignée et agnostique en ce qui concerne certains aspects des phénomènes, et surtout la nature des phénomènes élémentaires ne les empêche pas de faire avancer l'étude au moins pour autant qu'il s'agit du comportement statistique qui correspond à la réalité matérielle. Ils peuvent logiquement prétendre à jouer dans ces théories un rôle comparable à

celui qu'ont tenu pendant deux siècles les newtoniens qui acceptaient l'hypothèse des forces instantanées à distance, sans tenir compte des exigences rationnelles qui s'y opposent. Quoi qu'il en soit, le fait de renoncer à comprendre ce qu'il y a d'intime dans les phénomènes, éloigne la possibilité de découvertes significatives qui (tôt ou tard) conduiront probablement les *vrais croyants* de la science à dépasser les points de vue actuels.

En attendant, la mise au point du problème philosophique de la causalité enlève tout crédit aux spéculations où revivent des motifs romantiques, vitalistes, mystiques en prenant prétexte des nouveaux progrès de la physique. En disant cela nous ne songeons guère à nier le caractère suggestif de certaines idées comme celles qu'avance BOHR ; les raisons qui portent à reconnaître d'une façon plus large la solidarité universelle des phénomènes, contribuent aussi à nous faire mieux comprendre cette solidarité des organismes vivants qui se manifeste réellement dans les aspects les plus profonds de la vie. Quelqu'un a voulu exprimer cette solidarité par le terme assez vague de l'influence causale du Tout (*Ganzheitskausalität*) ; toujours est-il qu'il n'y a aucun besoin de concevoir l'existence de *vires a fronte* qui s'opposeraient aux *vires a tergo* ou à la causalité proprement dite, ou comme limite de cette causalité. Mais nous ne sortirons pas des bornes que nous avons fixées à notre étude pour discuter sur le sens qu'on peut attribuer dans l'ordre de la causalité, à la finalité apparente des phénomènes biologiques. D'autant plus que nos connaissances dans ce domaine nous semblent trop insuffisantes pour tenter quelque aperçu clair et raisonnable. Beaucoup de problèmes précis qui touchent à la validité des lois physico-chimiques dans les organismes vivants devront être résolus et élucidés avant que le philosophe se trouve en état de prononcer un jugement sensé sur ce sujet (1).

(1) On trouvera des informations intéressantes sur ces questions et sur les idées qu'elles suscitent par ex. chez B. BAVINK, *Ergebnisse und Probleme der Naturwissenschaften* ; A. MITTASCH, *Katalyse und Determinismus* (Berlin, 1938, Springer).

Ph. FRANK, *Das Kausalgesetz und seine Grenzen* (1932).