

Tiré-à-part

CONTEMPORARY PHILOSOPHY

A Survey

LA PHILOSOPHIE CONTEMPORAINE

Chroniques

edited by

par les soins de

RAYMOND KLIBANSKY

★ ★

QUELQUES VUES PERSONNELLES SUR L'ÉVOLUTION DE LA PHYSIQUE THÉORIQUE

par LOUIS DE BROGLIE

Académie Française

FIRENZE
LA NUOVA ITALIA EDITRICE
1968

QUELQUES VUES PERSONNELLES SUR L'ÉVOLUTION DE LA PHYSIQUE THÉORIQUE

par

LOUIS DE BROGLIE

Académie Française

CONTRAIREMENT AUX affirmations poussées à l'extrême de certaines philosophies idéalistes, j'ai la conviction profonde qu'il existe une réalité physique extérieure à nous qui est indépendante de notre pensée et de nos moyens imparfaits de la connaître. S'il n'en était pas ainsi l'unité des connaissances humaines et l'accord de tous les hommes sur la constatation des faits seraient, me semble-t-il, incompréhensibles. Pour cette raison je crois que nos théories des phénomènes physiques doivent reposer sur des conceptions claires et sur des images précises de leur évolution dans l'espace et dans le temps (ou plus exactement dans cette combinaison de l'espace et du temps que constitue l'espace-temps einsteinien, l'exactitude des conceptions relativistes ne me paraissant pas devoir être mise en doute).

Sans aller jusqu'à affirmer d'une façon absolue que le déterminisme est universel, je pense que la recherche de la causalité qui lie les phénomènes physiques successifs a toujours été et reste encore le guide le plus sûr de la recherche scientifique. Les étonnants progrès contemporains de la Biologie par exemple reposent essentiellement sur une meilleure connaissance des phénomènes chimiques, électriques ou mécaniques qui influent sur le déroulement des processus biologiques et mettent de plus en plus clairement en évidence les liens de causalité qui existent entre ces processus. Les tentatives faites par certains auteurs comme M. Jordan pour introduire un indéterminisme quantique dans l'explication des phénomènes de la vie sont restées jusqu'ici sans aucune efficacité.

Je voudrais maintenant présenter un certain nombre de remarques qui aideront à mieux comprendre pourquoi l'orientation de la Physique théorique quantique depuis une quarantaine d'années me paraît comporter certains dangers.

Il est d'abord essentiel de remarquer que, si les formalismes mathématiques permettent seuls dans les sciences où l'on peut les introduire de donner à nos idées une grande précision, ils ne sont

cependant pas sans présenter quelques dangers car, entraîné par leur clarté et leur automatisme, on peut facilement oublier qu'ils ne fournissent jamais que les conséquences des hypothèses qui ont été mises à leur base. Seules l'intuition et l'imagination permettent de briser la cercle où s'enferme naturellement toute pensée qui veut rester purement déductive. Un exemple particulièrement important de ce fait est l'usage presque exclusif que les théories quantiques actuelles font de l'analyse linéaire. On sait qu'une théorie physique est linéaire quand, ayant trouvé plusieurs solutions des équations sur lesquelles elle repose, l'on peut admettre que la somme de ces solutions est encore une solution. Or *a priori* c'est là une circonstance très particulière dont la réalisation exacte doit être exceptionnelle. Le caractère linéaire que l'on attribue généralement à l'heure actuelle aux équations de la Physique quantique conduit à l'importance que l'on y attache à des espaces fonctionnels tels que l'espace de Hilbert, espaces purement abstraits qui n'ont évidemment aucun caractère physique. Dans beaucoup de branches de la Physique, de nombreux phénomènes peuvent être considérés comme régis par des équations linéaires ou du moins très approximativement linéaires dont le maniement est relativement facile. Mais il nous paraît très peu probable que la véritable nature du monde microphysique, et en particulier la structure des unités (photons ou particules matérielles) qui le composent, puisse être représentée par des équations linéaires ou même par des équations très faiblement non linéaires. Le développement encore assez embryonnaire de la difficile analyse non linéaire ne permet guère d'espérer accomplir de rapides progrès dans ce domaine, mais ce n'est pas là une raison pour ne pas admettre comme hypothèse de base le caractère non linéaire ou quasi-linéaire des processus microphysiques. Il est, au contraire, permis de penser que les problèmes posés par la physique quantique et la coexistence des ondes et des particules ne trouveront leur véritable et complète interprétation que dans le cadre de théories à caractère non linéaire.

Il ne faut d'ailleurs pas être dupe des représentations mathématiques trop abstraites. Si des concepts abstraits tels que ceux de l'espace de Hilbert en Mécanique quantique, de l'espace de configuration en Mécanique classique et en Mécanique ondulatoire, de l'extension-en-phase en Thermodynamique statistique constituent des auxiliaires très clairs et très utiles pour l'exposé des théories et facilitent beaucoup l'exécution des calculs, ce serait bien évidemment une grave erreur de leur attribuer une réalité physique qu'ils ne peuvent pas avoir et de les considérer comme le cadre véritable du déroulement des phénomènes, déroulement qui s'opère toujours pour chacun de

nous dans le cadre physique de l'espace et du temps.

Un autre danger qui menace sans cesse la Physique théorique et qui risque souvent d'y introduire des obscurités ou des erreurs est l'emploi de mots dont la signification peut être interprétée de façons diverses. Je citerai comme exemple le mot "incertitude" si usité en Physique quantique depuis le jour où M. Heisenberg, énonça ses fameuses « relations d'incertitude ». Que signifie au juste l'affirmation que la position d'une particule dans une onde qui remplit une région étendue de l'espace est incertaine? Cela signifie-t-il que la particule a à chaque instant une position dans cette région de l'espace, mais que nous ignorons cette position ou peut-être même qu'il nous est impossible de la déterminer? Ou bien cela signifie-t-il que la position de la particule dans toute l'étendue de cette région est réellement indéterminée, qu'elle y est en quelque sorte "omniprésente"? Toutes les réflexions que j'ai poursuivies sur cette question dans ces dernières années m'ont amené à penser que la première interprétation est très claire et toute naturelle tandis qu'il est bien difficile de donner à la seconde une signification vraiment satisfaisante. Pour ma part, je pense qu'une grandeur physique a toujours dans la réalité une valeur bien déterminée. Le fait que la valeur d'une grandeur soit *inconnue* (ou même que nous soyons dans l'impossibilité pratique de la déterminer) n'entraîne aucunement que cette valeur soit *indéterminée*. Ainsi le fait que la position ou la vitesse d'une particule nous soit inconnue ou échappe à nos mesures ne signifie nullement que cette grandeur n'ait pas à tout instant une valeur bien définie. C'est là un des points de départ de la réinterprétation de la Mécanique ondulatoire que j'ai de nouveau entreprise dans ces dernières années comme je le préciserai plus loin.

Il arrive aussi parfois que dans l'exposé de développements théoriques, l'on oscille entre deux interprétations contradictoires en passant subrepticement et souvent inconsciemment de l'une à l'autre. C'est ainsi que beaucoup d'auteurs envisagent tour à tour l'onde usuellement considérée en Mécanique ondulatoire soit comme une onde réelle, processus physique capable de déterminer des phénomènes observables tels qu'interférences, diffraction, états stationnaires des atomes etc., soit comme une simple représentation de probabilités n'ayant pas plus d'effet direct sur la production de phénomènes physiques qu'une table de mortalité sur le décès des individus. On peut dire qu'à ce point de vue l'enseignement usuel de la Mécanique ondulatoire et de la Mécanique quantique repose sur une perpétuelle équivoque. C'est pour éviter cette équivoque que j'avais dès 1927 proposé une interprétation de la Mécanique ondulatoire que j'avais

appelée « théorie de la double solution » où je distinguais deux solutions de l'équation des ondes l'une représentant l'onde physique réelle susceptible de produire des phénomènes physiques observables et l'autre, calquée en quelque sorte sur la première, qui serait fictive et servirait seulement à calculer des probabilités. Je crois que seule cette distinction subtile peut permettre de lever l'équivoque signalée plus haut.

Nous terminerons ces considérations générales en affirmant que les progrès de la Science considérés indépendamment de leurs applications ont toujours résulté d'efforts pour "mieux comprendre". Le désir de comprendre a été à l'origine de toutes ses réussites. Aussi suis-je amené aujourd'hui à penser qu'il convient d'être très réservé en face de l'affirmation si souvent répétée par de nombreux physiciens depuis une quarantaine d'années, suivant laquelle les phénomènes de transition quantique transcenderaient (pour employer une expression due à Niels Bohr) toute description en termes d'espace et de temps et échapperaient par suite à toute compréhension de notre part. Il me paraît plus naturel et plus conforme aux idées qui ont toujours orienté la recherche scientifique de supposer que les transitions quantiques pourront un jour être interprétées, peut-être à l'aide de moyens analytiques dont nous ne disposons pas encore, comme des processus très rapides, mais en principe descriptibles en termes d'espace et de temps, analogues à ces passages brusques d'un "cycle limite" à un autre que l'on a déjà rencontrés si fréquemment dans l'étude des phénomènes mécaniques et électromagnétiques.

Je dirai même, plus généralement, que, quand un processus physique nous paraît difficile à comprendre ou à représenter, nous devons toujours penser que de nouveaux et vigoureux efforts intellectuels nous permettront un jour de le comprendre et de le représenter. Renoncer à cet espoir serait très grave car ce serait là une démission de notre raison. Mais la pensée des savants comme celle des autres hommes n'est pas sans présenter une certaine inertie. Quand une théorie, c'est à dire une certaine manière d'envisager et de prévoir les phénomènes, a bien réussi, on a tendance à s'y tenir et à ne pas faire l'effort d'en envisager d'autres. Aussi arrive-t-il souvent que les novateurs, je veux dire ceux qui proposent des idées nouvelles, se heurtent à de vives résistances et cela s'est vu dans toutes les branches de la Science. Pour se borner au domaine de la Physique en ne citant que quelques noms, est-il besoin de rappeler combien des hommes de génie comme Fresnel, Maxwell, Boltzmann, Planck, Einstein ont eu de la peine à faire admettre leurs idées destinées cependant à ouvrir à la Physique d'immenses perspectives

nouvelles. Il y a là de quoi préserver les novateurs du découragement que pourraient leur inspirer les incompréhensions auxquelles ils peuvent se heurter.

Sans insister davantage sur les idées générales qui me guident dans mes recherches actuelles, je veux maintenant dire quelques mots sur l'aspect proprement scientifique de ces recherches. Depuis environ 40 ans, la plupart des théoriciens ont adopté une interprétation de la Physique quantique qui avait été alors développée par Niels Bohr et ses collaborateurs de l'École de Copenhague et à laquelle j'avais fini moi-même par me rallier. Néanmoins cette manière de voir n'était pas du tout celle qui m'avait guidé quand j'avais en 1923-24 découvert les bases de la Mécanique ondulatoire en généralisant à toutes les particules l'idée de la coexistence des ondes et des particules introduite par Einstein en 1905 dans sa théorie des quanta de lumière (photons). Je voulais alors continuer à concevoir les ondes comme un phénomène physique de propagation ondulatoire et les particules comme de petits objets localisés dans l'espace au cours du temps. Pour réaliser l'union des ondes et des particules, j'en arrivais ainsi à me figurer les particules comme de petites régions de haute concentration de l'énergie incorporées à l'onde. J'avais développé cette conception en 1927, comme je l'ai rappelé plus haut, sous le nom de « théorie de la double solution » dans une tentative malheureusement restée sans lendemain.

Depuis environ quinze ans, inquiet de voir la Physique quantique se réduire de plus en plus à des formalismes abstraits qui fournissent évidemment des "recettes" souvent exactes pour la prévision statistiques de phénomènes microphysiques, mais qui sont incapables de nous en donner des représentations claires et compréhensibles, j'ai repris et, je le pense, considérablement fait progresser la tentative que j'avais esquissée il y a cette année 40 ans. J'estime aujourd'hui que c'est dans cette voie que la Physique quantique pourra trouver sa véritable interprétation.

Comme je ne crois pas qu'il y ait lieu de donner ici une bibliographie détaillée des publications purement scientifiques que mes collaborateurs et moi-même avons fait en suivant cette nouvelle ligne d'idées, je me contenterai de renvoyer le lecteur au dernier ouvrage que j'ai publié sous le titre *Certitudes et incertitudes de la Science* en 1966 à Paris chez l'éditeur Albin Michel. On y trouvera à côté d'exposés scientifiques assez facilement accessibles un certain nombre d'indications bibliographiques précises.