



idem

BERNARD D'ESPAGNAT

À la recherche du réel
Le regard d'un physicien

Présenté par ÉTIENNE KLEIN

DUNOD



idem

BERNARD D'ESPAGNAT

À la recherche du réel

Le regard d'un physicien

Présenté par ÉTIENNE KLEIN

DUNOD

Consultez nos parutions sur www.dunod.com

© Dunod, Paris, 2015

© Presses Pocket, Paris, 1991

© Bordas, Paris, 1981

© Gauthier-Villars, Paris, 1979

La première édition française de cet ouvrage a été publiée en 1979 par Gauthier-Villars, rééditée en 1991 chez Presses Pocket dans la collection « Agora » sous la direction d'Olivier Amiel.

Illustration de couverture : © stokkete – Fotolia.com

ISBN 978-2-10-072804-6

Le Code de la propriété intellectuelle n'autorisant, aux termes de l'article L. 122-5, 2° et 3° a), d'une part, que les « copies ou reproductions strictement réservées à l'usage privé du copiste et non destinées à une utilisation collective » et, d'autre part, que les analyses et les courtes citations dans un but d'exemple et d'illustration, « toute représentation ou reproduction intégrale ou partielle faite sans le consentement de l'auteur ou de ses ayants droit ou ayants cause est illicite » (art. L. 122-4).

Cette représentation ou reproduction, par quelque procédé que ce soit, constituerait donc une contrefaçon sanctionnée par les articles L. 335-2 et suivants du Code de la propriété intellectuelle.

Présentation

CERTAINS LIVRES ONT une puissance destinale. En 1979, alors que j'étais étudiant, un ami m'offrit *À la recherche du réel*, qui venait de paraître. Je le dévorai aussitôt en annotant chacune de ses pages et en soulignant presque une phrase sur deux. Bernard d'Espagnat y abordait la question du « réel », défendant l'idée qu'il serait intellectuellement discutable et philosophiquement fautif de prétendre la traiter sans tenir compte des leçons de la physique quantique, à ses yeux révolutionnaires.

Bien sûr, c'est autour de la controverse entre Albert Einstein et Niels Bohr, dont j'entendais parler pour la première fois, que tournait son propos : qu'est-ce que la physique quantique, qui semble si bien fonctionner, nous permet de dire du monde ? Est-elle un aboutissement, ou simplement une étape décisive de l'évolution de la physique, une étape décisive mais dépassable ?

Chacun sait que le père de la relativité considérait que la théorie quantique était une théorie ingénieuse, et qu'il louait sans la moindre réserve son efficacité opératoire et sa portée pratique. Mais, selon lui, une théorie physique ne devait pas être jugée à l'aune de sa seule efficacité : elle devait également dépeindre les structures intimes du réel, tel qu'il existe indépendamment de nous. Or à ses yeux, la physique quantique ne faisait pas bien cela.

De son côté, Bohr répugnait à considérer qu'il existât une réalité indépendante de l'appareil de mesure, car il lui semblait impossible d'obtenir une séparation nette entre le comportement des particules et leur interaction avec les appareils qui déterminent leurs conditions d'existence. De sorte que, selon lui, ce qu'une théorie physique peut prétendre décrire, ce sont seulement des phénomènes incluant dans leur définition le contexte expérimental qui les rend manifestes, et non une réalité prétendument objective.

On connaît la suite palpitante de l'histoire : le lumineux article EPR de 1935, la réponse immédiate et confuse de Niels Bohr, la longue indifférence des physiciens (on

se moquait bien que la théorie quantique fût « complète » ou dissimulât des « variables cachées », puisque ses prévisions ne cessaient d'être vérifiées avec une démoniaque précision), le coup d'éclat théorique de John Bell en 1964, et enfin, deux ans après la publication du livre *À la recherche du réel*, l'expérience d'Alain Aspect et de ses collègues démontrant qu'il faut renoncer à interpréter la physique quantique dans le sens des idées d'Einstein. Ce que Bernard d'Espagnat semblait déjà savoir lorsqu'il écrivit son livre, notamment le fameux chapitre quatre !

Je compris grâce à cet ouvrage qu'il existe des situations dans lesquelles la physique permet de faire des « découvertes philosophiques négatives », pour reprendre l'expression du philosophe Maurice Merleau-Ponty^[1]. Que faut-il entendre par là ? Que certains de ses résultats peuvent modifier les termes en lesquels certaines questions philosophiques se posent, apporter des contraintes, et ainsi s'inviter dans des débats qui lui sont *a priori* extérieurs.

Un nouveau monde s'ouvrait là pour moi, que je décidai d'explorer dans la mesure de mes capacités. Quelques années plus tard, j'eus la chance de rencontrer Bernard d'Espagnat en chair et en os. Il me raconta sa vie et ses travaux, m'enseigna toutes sortes de notions abstraites de physique et de philosophie. Rapidement, nous décidâmes d'écrire un livre ensemble, *Regards sur la matière, des quanta et des choses*.

Aujourd'hui, je suis heureux et honoré de préfacer la réédition de ce texte important, qui fut prophétique en son temps. Il n'a pas pris une ride. Beaucoup de choses se sont passées en physique depuis sa première parution, mais il n'a rien perdu de sa profondeur ni de sa vérité.

On dit la physique quantique fort difficile d'accès. Certes, elle ne peut être sérieusement appréhendée sans un recours appuyé à l'abstraction et à des concepts mathématiques qui peuvent effrayer. Pourtant, l'essentiel du bouleversement qu'elle a entraîné tient dans le simple fait qu'elle systématise l'une des quatre opérations élémentaires, à savoir l'addition ! Au cœur de son formalisme gît en effet le principe dit « de superposition » qui dit ceci : si a et b sont deux états possibles d'un système, $a + b$ est également un état possible de ce système. Aurait-on pu imaginer une règle plus simple ? Et pourtant, elle a des conséquences terribles, que Bernard d'Espagnat fut l'un des premiers à analyser à la hauteur de ce qu'elles signifient pour la pensée. Elle implique notamment que, dans certaines situations, deux particules qui ont interagi dans le passé sont « intriquées », c'est-à-dire très fortement corrélées au point qu'elles ont des liens que leur distance mutuelle, aussi grande soit-elle, n'affaiblit pas : ce qui arrive à l'une des deux, où qu'elle soit dans l'univers, est irrémédiablement intriqué à ce qui arrive à l'autre, où qu'elle soit dans l'univers. L'espace ne joue plus aucun rôle

et la paire formée par les deux particules se trouve avoir des propriétés globales que n'ont pas les particules individuelles. En somme, le tout, d'une part, n'a plus de localisation précise, d'autre part, devient autre chose que la somme de ses parties.

Cette propriété, qu'on appelle la « non-séparabilité » ou l'« intrication quantique », implique qu'il existe des cas où « $1 + 1$ » donne autre chose que ce que prévoient les règles d'addition classique. Par exemple, un photon plus un photon, cela forme un système quantique mais, de temps en temps, cela en donne deux. À vrai dire, le résultat dépend de l'histoire des photons et de ce que l'observateur souhaite faire avec eux. Leur destin n'est pas décidé à l'avance : il est défini par le cours même de l'expérience.

L'intrication quantique a en outre ceci de spectaculaire qu'elle permet de « téléporter » une information, c'est-à-dire de la transporter à distance depuis un objet vers un autre objet. Comment ? Prenons deux jeunes gens, disons Paul et Jules, et supposons pour commencer qu'ils disposent chacun d'une particule constitutive d'une paire de particules intriquées l'une à l'autre. Donnons ensuite à Paul une particule supplémentaire dans un état quantique bien défini. Les lois de la physique quantique permettent à Paul de transmettre à Jules l'information associée à cette particule supplémentaire. Jules pourra ensuite mettre la particule qu'il possède dans l'état qu'avait la particule supplémentaire de Paul. Il y a alors téléportation non pas d'une particule proprement dite, mais de l'information qu'elle portait, de façon absolument conforme. Dans cette opération, aucun objet proprement dit n'a été transporté dans l'espace. Simplement, les propriétés physiques d'une particule ont été communiquées à distance à une autre particule identique. On pourrait presque parler de « fax quantique » sauf que, contrairement à ce qui se passe avec un fax ordinaire, la téléportation quantique détruit l'original de l'information qu'elle transmet au travers de l'espace.

Le 29 mai 2014, la revue *Science* a publié un article de Ronald Hanson et de son équipe de l'université de Delft aux Pays-Bas annonçant qu'ils avaient réussi à téléporter l'état quantique d'un atome vers un autre atome situé trois mètres plus loin, avec une fiabilité parfaite. Bernard d'Espagnat a sans doute admiré la prouesse technique qu'exige une telle expérience, mais je parierais que sa réalisation ne l'a nullement surpris. Je me plais à la considérer comme un hommage que le réel a voulu rendre à l'homme qui était si sérieusement parti à sa recherche.

Étienne Klein

1

Introduction

Il serait nécessaire que les spécialistes en divers champs de la pensée aient les uns avec les autres plus de communication que ce n'est actuellement le cas. Mais par leurs motivations, leurs convictions, leurs manières de penser, les êtres humains diffèrent les uns des autres plus qu'il ne semble. Aussi est-il toujours très difficile de jeter des ponts entre des domaines différents de l'esprit. Incompatibilités de notions de base, de langage, conceptions diverses de la rigueur, tout conspire à rendre l'entreprise vraiment ardue.

Surtout, il faut qu'ici les artifices soient proscrits ! En la matière la seule activité convenable semble être de chercher avec patience à découvrir ce qui, en fait de liens, existe de façon naturelle. Tout bien considéré, ni l'esprit ni le monde ne sont, après tout, cloisonnés en compartiments. Des relations entre les divers domaines de la réflexion doivent par conséquent exister. Il suffit de les déceler. Même cette tâche n'est pas aisée car, même maniées avec virtuosité, les brillantes généralités n'y aident guère, étant toujours fondées sur de séduisantes *intuitions*. Or en ce qui concerne, du moins, la science, celle-ci ne progresse dans la voie de l'universalité qu'elle vise que par un incessant travail d'affinement et de généralisation de ses principes. Ce qui a pour conséquence qu'à l'heure actuelle ces derniers s'écartent très appréciablement des idées *intuitives* qu'on peut spontanément avoir. De telles difficultés expliquent sans doute qu'un cloisonnement, qui n'est – encore une fois – ni dans l'esprit ni dans les choses, conditionne cependant nos activités de pensée.

Le contenu du présent livre est le fruit d'une tentative de longue haleine entreprise dans le but de surmonter, autant que faire se peut, de tels obstacles sur la voie des idées. Et cela par l'acquisition de certaines connaissances de faits. La *physique* et le *problème du réel* ont été pris respectivement comme base de départ et comme thème central de réflexion. Ces choix bien entendu ne relèvent pas du hasard. Par-delà les

problèmes pratiques, psychiques, sociaux, esthétiques ou moraux la question relative à la nature de *ce qui est* a toujours paru à l'auteur constituer la question centrale, avec laquelle toutes les autres doivent avoir des liens, plus ou moins ténus, faisant qu'en fin de compte elles en dépendent pour leurs réponses. Et quant à la physique il apparaît de façon manifeste qu'elle est maintenant assez avancée pour qu'on puisse y voir à bon droit la science universelle de la nature : de cette « nature » que – du moins selon les apparences – il semble légitime d'identifier au réel. Même si ce dernier jugement doit en définitive être nuancé – comme on le verra par la suite – il se justifie de toute évidence à titre d'hypothèse de travail.

Il est vrai que les problèmes de connaissance pure ne figurent pas au premier plan des préoccupations *explicites* des êtres humains d'aujourd'hui. Ceux relatifs à la pratique, ou plus généralement à l'action, focalisent tout naturellement l'attention de la presse et des médias, lesquels participent de plus en plus à l'orientation de notre problématique explicite. Bien plus, l'idée – à proprement parler philosophique – que l'action (humaine) prime l'être s'est maintenant répandue, au moins sous une forme implicite et confuse, au point de sous-tendre la plus grande partie de ce qui s'écrit. Mais malgré cela il est légitime d'affirmer que l'intérêt pour les problèmes de pure connaissance et de pure compréhension demeure très considérable. Même, sa vigueur est renforcée par une certaine désillusion qui se dessine à l'heure actuelle à l'égard des nombreuses variantes, idéologiques ou pragmatiques, des philosophies de l'action. On se souvient à ce propos de l'exclamation attribuée par Malraux à tel vieux révolutionnaire de ses amis dans l'un de ses derniers ouvrages : « (la phrase) de Marx que tout le monde cite “il ne s'agit pas seulement de comprendre le Monde il s'agit de le changer” commence à me casser les pieds. Dis donc ? Si on cessait un peu de changer le monde pour essayer de le comprendre pur-et-simplement^[2] ! » Il n'en reste pas moins vrai que les philosophies de l'action ont pendant trop longtemps tenu le devant de la scène pour que soient bien nettes les idées générales du public quant aux questions de pure connaissance ou de pure compréhension. Peut-être y a-t-il là précisément une justification valable pour une étude un peu circonstanciée portant sur le sujet.

« Oui – diront certains – mais il n'est nullement assuré qu'une telle étude doive faire appel à la physique car l'argument “physique, science de la nature” n'est pas probant. » Et il est vrai que les personnes qu'intéresse le problème de la compréhension de ce qui *est* ne se soucient pas toutes de physique. Certaines, en effet, nient *a priori* que la physique – ni non plus aucune autre science – puisse jamais atteindre l'être en soi. D'autres, qu'une telle contestation n'habite pas, estiment à l'inverse que la physique ne nous éclaire que sur des aspects du réel qui sont trop élémentaires et d'une trop grande banalité pour mériter notre attention ; sur la

« plomberie de l'Univers » disent même certains d'entre eux, que passionne surtout l'étude qualitative des structures les plus complexes : êtres vivants, êtres humains et sociétés. Encore ne sont-ce là que des exemples des attitudes très variées que l'on peut observer à ce sujet.

Même si elles sont pour une part fondées (ce qui reste à examiner) des réserves de cette espèce ne sauraient manifestement motiver un rejet *a priori* de l'étude ici annoncée. Mais elles montrent qu'une telle étude, même si elle est conduite sur une base scientifique, ne peut ignorer certains problèmes philosophiques fondamentaux et ne doit donc pas passer sous silence les solutions des philosophes. Non pas, assurément, pour en dresser un – fastidieux – catalogue. Mais tout au moins pour signaler et pour examiner les grandes intuitions philosophiques concernant le problème de l'être qui sont intelligibles à l'homme de science. Une telle obligation s'impose avec d'autant plus de force que de pareilles intuitions possèdent très souvent des relations de similitude, d'opposition ou de support mutuel avec les idées que l'étude des fondements de la physique conduit à prendre en considération.

Il faut même dire plus encore. À savoir que l'étendue des facultés de réflexion et d'imagination des philosophes du passé leur a fait découvrir un éventail extrêmement ouvert d'idées possibles. En conséquence, ce que ce livre apportera en définitive de nouveau c'est moins peut-être de nouvelles visions des choses que de nouvelles manières de démontrer l'exactitude de telles ou telles des idées déjà suggérées par certains penseurs éminents : en d'autres termes, de faire le tri parmi des conceptions philosophiques opposées. Sur le plan des résultats il devrait donc, d'une manière générale, plutôt conforter le philosophe que l'irriter, même si la méthode utilisée – qui n'est autre que la méthode scientifique – lui paraît insolite dans le domaine où elle est ici appliquée.

De ce fait même, occasion sera fournie aux philosophes de nuancer, s'ils le croient bon, le jugement sévère de beaucoup d'entre eux sur la science, accusée d'être mue par la seule passion de dominer ou de vaincre alors que la philosophie serait, elle, issue de l'unique désir d'une compréhension désintéressée. Peut-être apparaîtra-t-il à la lecture de cet ouvrage qu'entre les deux disciplines ce n'est pas là la différence véritable, mais que celle-ci réside plutôt dans le fait que la science, soucieuse de comprendre autant que la philosophie, connaît mieux à certains égards les embûches d'un tel programme, les faiblesses d'une raison appliquée à ce qui dépasse la pratique, et les méthodes « de fourmi » qui permettent – dans une mesure très appréciable – de pallier ces inconvénients.

Pour dire le vrai il y aurait toutefois également excès à accorder une confiance

aveugle – dans le domaine de la connaissance du réel ultime – à la pure méthode scientifique, et à ériger sans esprit critique ses résultats en absolus. Infaillible ou presque dans ses équations, qui ne connaissent guère que perfectionnements successifs les adaptant à la description de quantités toujours plus grandes de phénomènes, la physique en revanche a donné naissance au cours des siècles à des vues du monde successives et contradictoires, valables donc seulement en tant que modèles. Assurément la critique n'est pas concluante tant la science est jeune encore et tant elle s'est développée, généralisée et assurée durant les dernières décennies. Néanmoins il serait quelque peu aventureux d'adopter tout uniment tel modèle qu'elle tient aujourd'hui pour plus fécond que tous les autres et de le présenter comme une description fidèle de ce qui *est*. Ici par conséquent on ne procédera pas de cette manière. Pour affiner notre idée naïve du réel on mettra à l'épreuve un certain ensemble de *pseudo-évidences* le concernant, en déduisant de celles-ci – *sans* théorie donc *sans* modèle – certaines conséquences vérifiables en principe par des mesures ; et en constatant, dans un second temps, que ces conséquences sont contredites par l'expérience : d'où l'on conclura avec certitude à la *fausseté* de l'une au moins des « évidences » (parmi celles-ci figure évidemment le postulat que le résultat d'une mesure est quelque chose de réel). Ensuite, mais ensuite seulement, on prendra la liberté d'extrapoler le résultat par référence à une théorie universellement admise qui le prédit et qui en prédit d'autres, similaires ; et qui, dans le domaine précisément de la prédiction des phénomènes, a fait d'une manière surabondante la preuve de son universalité.

Une objection d'ordre général qui pourrait être faite *a priori* à la méthode est qu'elle part d'un ensemble de faits très précis, et donc limité, pour aboutir à des conclusions d'une très grande généralité. C'est, dirait-on, comme une pyramide qui reposerait sur sa pointe. La réponse à ceci peut être formulée de la façon suivante. D'une part – incontestablement ! – *un seul* contre-exemple, dans *un* domaine précis de faits, suffit à ruiner une hypothèse générale s'il est fermement assuré et si vraiment il prend l'hypothèse en flagrant délit de prédiction fausse. Telle est l'une des plus grandes vertus de la méthode scientifique. Dans le passé, même des constructions admirables de l'esprit, révélant les géniales capacités d'abstraction et de synthèse de leurs auteurs, se sont assez souvent effondrées ainsi sous l'effet d'une réfutation par des faits très particuliers – et de très médiocre apparence – mais intelligemment choisis. D'autre part, encore une fois, les faits expérimentaux dont il s'agit ici, si effectivement ils contredisent certaines hypothèses intuitives concernant la réalité et nous obligent donc à faire évoluer nos conceptions à cet égard, n'en sont pas moins prédits par la *mécanique quantique*, c'est-à-dire par une théorie – ou pour mieux dire par une collection de règles de calcul – apparemment universelle et assurément très féconde,

constituant la base de notre intelligence actuelle des phénomènes de la nature.

Dans ces conditions il eût, il est vrai, été concevable de fonder l'évolution de nos conceptions du réel proposée dans le présent livre directement sur la théorie dont il s'agit. Une telle méthode n'a pas été choisie, en partie parce qu'elle est, à tout prendre, moins rigoureuse et en partie pour des raisons d'exposition. Elle eût nécessité la description préalable des aspects techniques de la mécanique quantique, autrement dit l'introduction de longues formules et d'un vaste appareil mathématique, dont la référence directe aux faits ci-dessus mentionnés permet de faire l'économie. En vérité l'économie est ici si considérable qu'elle permet la présentation d'arguments accessibles à tous – car ne faisant appel à aucune connaissance préliminaire – et constituant malgré cela par leur synthèse une véritable *démonstration*. Assurément cela implique – contrepartie inévitable ! – la présence dans l'exposé de passages un peu arides et par conséquent de ruptures de ton dans le livre. C'est ainsi que – malgré le pittoresque des exemples utilisés – le chapitre 4, lequel contient la démonstration en question, demande pour être bien compris à être lu un peu à la manière dont, par exemple, un mathématicien prend connaissance des travaux d'un de ses collègues : avec lenteur et en revenant en arrière ici ou là. En revanche certains autres chapitres se lisent aisément d'un trait, et à la manière habituelle. Ceci tient à la circonstance – dont on doit se féliciter – que *tout* n'est pas ésotérique ! Il existe des choses qui sont vraiment de conséquence mais dont cependant l'étude peut être abordée sans difficultés préalables car elles se rapportent à des problèmes qui hantent déjà l'esprit de chacun.

L'inconvénient formel dû à la présence de ruptures de ton de l'espèce qu'on vient de dire est – peut-on penser – plus que contrebalancé par l'avantage que procure toute *démonstration* à son lecteur, avantage qui tient évidemment au fait que ce dernier peut valablement porter sur elle un jugement rationnel. En d'autres termes il peut savoir lui-même, sans se fier aux dires de l'auteur, si elle est correcte ou si elle est fautive : il lui suffit à cet effet de faire appel aux seules lumières de son esprit. Ici, au moins dans les premières étapes, le lecteur n'aura donc à faire confiance à l'auteur qu'en ce qui concerne l'exactitude de certains *résultats de mesures*, unanimement tenus pour corrects par les physiciens et desquels la démonstration déduit des conséquences intéressantes. En un temps où tant de doctrines discordantes sont proclamées et où notre adhésion est le plus souvent sollicitée à l'aide d'arguments purement émotionnels (quand ce n'est pas par un appel à quelque viscéral conformisme de groupe !) l'avantage qu'on vient de noter est appréciable. Il est digne d'être recherché même si l'on tient compte du fait que les moyens de communication tels qu'ils existent conditionnent actuellement les membres des sociétés occidentales à n'y être qu'assez peu sensibles en général. Incidemment on peut également remarquer que

l'approche ainsi résumée n'est en rien un retour à la méthode cartésienne puisque la référence à des résultats de mesure y joue malgré tout le rôle essentiel.

Oui mais, diront certains esprits sérieux, n'êtes-vous pas en train de faire miroiter l'irréalisable ? Vous échapperait-il que cette entreprise éminemment cumulative qu'est la physique est maintenant loin de ses débuts, que ses raisonnements sont difficiles, qu'ils font nécessairement appel à des techniques mathématiques élaborées, remplissant beaucoup de gros livres, qu'à l'université il faut cinq ans pour apprendre de telles méthodes ? Vous qui semblez vouloir vous attaquer aux questions fondamentales, c'est-à-dire aux plus ardues, auriez-vous oublié que « il n'y a presque plus en physique de problème qui soit difficile et simple dans sa position », comme le notait Valéry ? Et ne faites-vous pas fi d'un fait, cependant bien connu de tous : les problèmes que vous entendez aborder par votre méthode déductive – prétendument à la portée des intelligences ignorantes ! – sont cependant de ceux au sujet desquels les hommes de science les plus éminents n'ont depuis cinquante ans pas encore réussi à se mettre d'accord ?

Il est vrai, l'objection paraît formidable. Sa prise en considération exige quelques mots de rappel d'histoire du développement des idées. Il est bien exact qu'il y a cinquante ans environ une grande remise en cause des fondements de la physique a dû être entreprise par les physiciens eux-mêmes. Et cela sous la pression de la découverte de la Relativité mais bien plus encore sous celle de la nouvelle théorie de l'atome. Contrairement à l'ancienne mécanique cette nouvelle théorie – la « mécanique quantique » puisque, encore une fois, tel est son nom – s'avérait capable de rendre compte de tous les faits fondamentaux, qui sont en nombre presque infini, concernant les atomes et les molécules. Mais pour cela elle devait renoncer à faire usage de certaines notions apparemment premières, telles que celle de déterminisme, fondements de la mécanique classique. Elle devait de même renoncer à faire usage de l'idée, pourtant élémentaire, consistant à attribuer aux atomes et à leurs particules constitutives – protons, neutrons et électrons – une réalité qui serait pleinement indépendante de nos moyens de l'observer.

Selon l'opinion de beaucoup de physiciens l'inutilité de tels concepts (déterminisme, réalité « en soi » de particules localisées), leur stérilité persistante, signifie à l'évidence que lesdits concepts doivent être définitivement écartés en tant que notions fondamentales. Mais dans l'esprit de certains autres l'actuelle renonciation à leur usage n'implique rien d'à ce point radical : aussi ces derniers ont-ils cherché à édifier des théories qui incorporeraient les concepts dont il s'agit tout en rendant compte aussi bien que celle en vigueur des faits fondamentaux relatifs aux atomes et aux molécules.

Jusqu'à une date très récente il a semblé que – critères de rapidité et d'efficacité pratique mis à part – une telle entreprise devait être réalisable, au moins en droit, sans qu'aucune atteinte substantielle soit portée au contenu fondamental – déterminisme, localité – des concepts qu'il était question de réintroduire. Mais avec beaucoup de lourdeur en plus et moins de généralité. D'où, effectivement, des controverses qui se sont, par nécessité, situées à un haut niveau de technicité. On peut par parenthèse noter à ce propos que beaucoup de traités de philosophie contemporains tirent (avec beaucoup de bon sens apparent !) argument d'un tel état de choses pour faire valoir que la physique semble difficilement applicable à la clarification des problèmes réellement fondamentaux, et que le plus sage est dès lors de se détourner de l'approche scientifique de ces derniers et de les attaquer par la pure philosophie.

On cherchera dans les prochains chapitres à réfuter cette opinion en fournissant en particulier certaines informations claires concernant les progrès que les échanges de vues entre physiciens de ces deux tendances, et les recherches théoriques qui en ont résulté, ont apportés sur le sujet. Cependant il ne s'agira pas d'un exposé historique et chronologique. Beaucoup de chemins ont été explorés qui se révélèrent n'être que des impasses. Leurs descriptions seront omises comme il va de soi. En fait, c'est durant les quinze dernières années qu'une percée véritable a pu être effectuée dans un domaine si difficile, et si éloigné des problèmes scientifiques usuels. Or, fort étrangement – et c'est là la réponse à l'objection ci-dessus décrite –, la percée en question, réalisée à l'origine au moyen des outils mathématiques normalement en usage dans ce domaine, s'avère, maintenant qu'elle est comprise, être descriptible sans formalisme mathématique.

Peut-être ne faut-il pas invoquer là une chance. Il est bien possible de soutenir qu'en définitive ce caractère non technique est celui qu'il fallait attendre d'une découverte ayant une portée à proprement parler philosophique. Quoi qu'il en soit, les faits sont là. Ici une attention particulière sera donc dévolue à cette percée dont la nature est exposée dès le chapitre 4, et cela dans un langage qui, bien entendu, tire parti de la possibilité d'une description non technique de la question.

Une dernière remarque, d'ordre général. Ce livre, simple et sans formules, se veut moyen d'initiation à des problèmes fondamentaux de la physique. Mais il ne saurait constituer un outil valable d'initiation à la *recherche* qui fait progresser cette science. Il est facile de comprendre pourquoi. Comme chacun sait, pour enseigner une matière quelconque de façon valable il faut en savoir à son sujet beaucoup plus que ce que l'on transmet effectivement par les exposés qu'on en fait. Or en ce qui concerne la recherche une condition toute semblable s'impose aussi, et même avec une force encore plus grande. En d'autres termes, s'agissant en particulier des problèmes de

physique – parfois hautement spécialisés – auxquels le présent livre fait allusion, il paraît hélas impensable qu’aucun lecteur – si génial fût-il ! – puisse contribuer à leurs solutions s’il n’a pas d’abord fait de longues études de physique théorique moderne, dépassant même le niveau des maîtrises universitaires ou de l’enseignement des Grandes Écoles. S’il est déplorable que de telles conditions existent, une consolation peut être trouvée dans l’universalité de leur occurrence. « Être obligé de jouer du violon dix ans pour devenir un musicien passable, quelle misérable chose que l’homme ! » Une semblable exclamation (Musset, *Fantasio*) reste indéniablement d’une sagesse très actuelle. En revanche il est légitime d’espérer que le fait de parcourir ce petit ouvrage sera de nature à rendre service au lecteur qui est en quête d’un approfondissement d’une problématique générale.

Signalons enfin que dans la mesure où l’approfondissement dont il s’agit débouche, aux yeux de l’auteur, sur une conclusion plausible, celle-ci est la conception du *réel voilé* introduite au chapitre 9 (pages 107 et suiv.). Le début de l’ouvrage se présente comme une description circonstanciée du dédale des contraintes qui orientent vers une telle issue, la fin étudie le contenu et les prolongements de cette thèse.

2

De Démocrite à Pythagore

L'enfant et l'homme de la rue croient que l'accès au réel est immédiat : l'idée de l'existence de ce caillou ou de cette chaise lui paraît claire et évidente et il ne conçoit guère que soit mis en doute son caractère d'absolu : même s'il croit aux contes de fées.

Très tôt – comme on le sait – les philosophes contestèrent ce point de vue. Ils tirèrent argument du caractère périssable des objets pour leur refuser la réalité intrinsèque. Réalité signifie, dirent-ils, ce qui s'oppose au rêve : et cela, c'est la permanence. Quel degré de réalité pouvons-nous donc attribuer à des choses qui naissent et meurent, qui toutes se font et se défont ? En dessous, à l'intérieur ou au-dessus il doit y avoir *autre chose*. Un réel absolu, non évident pour l'appréhension immédiate et dont l'accès par conséquent est difficile.

Plus tard, bien d'autres arguments meilleurs, tel par exemple le doute cartésien, vinrent conforter cette thèse. Une thèse qui n'est, au demeurant, pas l'apanage des philosophes. À ce degré de généralité (« la connaissance de l'être est difficile »), l'idée est partagée par la plupart des religions. Elle rejoint en outre le sentiment poétique inné d'une Réalité profonde, située derrière ou au-delà des choses, qu'inspire peut-être à plus de personnes qu'on ne croit le spectacle de la beauté.

Dire que la réalité indépendante (ou réel, ou être) est de connaissance malaisée c'est évidemment faire d'abord – contrairement à certains – le postulat que la notion même de réalité a un sens qui dépasse l'homme. Ce n'est pas encore en spécifier le mode d'approche. Lier en quelque manière un tel mode d'approche au sentiment de la beauté est déjà bien plus restrictif. Pas totalement cependant. Même si mon esprit fait – explicitement ou confusément – un choix de cette espèce deux grandes orientations s'offrent encore à lui, complémentaires peut-être mais à coup sûr très différentes. Je puis chercher l'être soit dans les mathématiques – pures ou appliquées – soit derrière la beauté sensible.

La recherche de l'être à travers la beauté sensible a longtemps constitué le but avoué des poètes. Il n'en va plus ainsi, du moins chez les professionnels. Ceux-ci ne se pardonneraient pas d'afficher candidement une aspiration que nous, les intellectuels, leur avons appris à tenir pour bien trop naïve. On peut le regretter : car naïveté pour naïveté celle des vieux poètes semble – on verra pourquoi – plutôt moins considérable à tout prendre que celle des grands rhétoriciens contemporains ou – à l'opposé – que celle de tels ou tels hommes de science remplis d'illusions quant au sens et à la portée du concept d'objectivité. Mais ce rejet est aujourd'hui incontestable.

Restent alors les mathématiques. Et au tout premier rang les mathématiques pures, comme il se doit. Celles-ci se présentent à première vue comme un ensemble de vérités indépendantes des contingences, universelles et éternelles. Il n'est pas surprenant que beaucoup de penseurs y aient vu et y voient encore l'expression de la parfaite permanence, c'est-à-dire de l'être lui-même. En quelque mesure, cependant, les découvertes de notre siècle ont fait apparaître – ici encore – la naïveté d'une telle vision, en mettant en lumière le fait que les mathématiques reflètent principalement les capacités opératoires de l'être humain. Je dis « en quelque mesure » uniquement pour la raison que je ne veux pas exclure la possibilité d'un certain parallélisme de structures entre l'être humain et l'Être tout court, parallélisme qui restituerait aux mathématiques pures une part de la transcendance qu'on leur a attribuée longtemps. Mais sans entrer dans les détails de questions dont l'analyse serait longue je dois au moins noter que les recherches mathématiques récentes ont ramené à un niveau plus raisonnable le prestige exagéré dont, précisément, a joui longtemps la notion d'universalité de la certitude mathématique.

Si la beauté des mathématiques pures n'est pas à elle seule une voie assurée vers l'être il reste au mathématicien la possibilité de transférer ses espoirs à la physique mathématique. À dire vrai c'est là la voie qui d'emblée paraît à beaucoup la plus naturelle. Pour bien des chercheurs contemporains la physique mathématique, ou physique théorique (une distinction entre les deux notions est parfois faite mais n'est pas ici nécessaire), a, en effet, pour premier but de systématiser l'ensemble des connaissances concernant le monde réel. La raison qui a poussé l'homme à choisir en vue d'une telle fin l'outil mathématique plutôt qu'un autre est simplement que celui-là s'est progressivement révélé le plus efficace – et de beaucoup –, pour la synthèse dont il s'agit. Comme le physicien qui veut en faire usage doit nécessairement se référer pour cela à certains canons d'élégance, on voit que l'emploi de la physique théorique est bien une manière – et une manière *a priori* sensée – de tenter une appréhension du réel qui soit guidée par la beauté.

Le fait que les méthodes mathématiques permettent mieux que toute autre la synthèse des divers aspects du réel a des conséquences importantes quant aux manières dont il est légitime de s'imaginer ce réel. Car le rôle des mathématiques en physique ne se limite pas à celui d'une simple sténographie, autrement dit à un rôle d'écriture abrégée de relations que, si l'on disposait de plus de place et davantage de temps, on pourrait aussi bien écrire dans le langage de tous les jours. Ce rôle-là, bien entendu, existe. Mais il est mineur. Bien plus fondamental est celui joué par le processus de définition d'entités nouvelles. Que l'on pense seulement à l'apparition du concept d'énergie. Au départ, une *loi de conservation*, interne à la mécanique rationnelle, c'est-à-dire une loi purement abstraite : « La somme du produit de telles et telles quantités et d'une certaine fonction de telles autres quantités ne varie pas avec le temps. » Mais aujourd'hui une *denrée* qui se vend et qui s'achète cher. Dans bien des cas il se passe ceci que, même sans devenir, comme l'énergie, des concepts de la vie courante, les concepts abstraits forgés par le physicien théoricien en viennent progressivement à supplanter les plus anciens – issus directement de l'expérience ancestrale – dans les descriptions que la physique propose du monde. Cette évolution résulte simplement du fait que les nouveaux concepts portent plus loin que les anciens (celui de masse plus que celui de poids, celui d'énergie plus que celui de masse). Elle a pour conséquence un phénomène que l'on a parfois appelé un peu improprement une « déréalisation » du monde physique. Le mot est ambigu, « déchosification » serait meilleur. Il ne s'agit pas là, en effet – pas encore ! – d'une négation de la validité du concept d'une réalité indépendante de l'être humain. Mais il s'agit bien d'une négation radicale de la vision du réel qui est celle de l'homme de la rue à prétentions scientifiques : je veux dire de la vision qui érige en absolu – et en seul absolu – les concepts familiers qui nous semblent les plus dénués de mystère, comme celui de grain ou celui de force de contact.

Ainsi en arrive-t-on progressivement à une vision du monde dans laquelle la matérialité des choses semble se dissoudre en équations. Une vision dans laquelle le matérialisme est de plus en plus contraint d'évoluer vers le mathématisme et où, si l'on peut dire, Démocrite doit en définitive se réfugier chez Pythagore. Qu'est-ce, en effet, que la matière ? Ce qui se conserve, disait-on autrefois. Ce n'est donc pas la masse. À moins d'identifier celle-ci à l'énergie (à l'unité de mesure près). Mais cette dernière entité, l'énergie, n'est elle-même rien d'autre que la pure « immatérialité » d'une composante de quadrivecteur dans un espace-temps qui – pour faire bonne mesure – est « courbe » ! Ou bien identifierai-je la matière d'un objet à l'ensemble de ses « atomes de Démocrite » ? La conservation de la matière sera-t-elle alors celle de ces « atomes », c'est-à-dire celle des particules qui la constituent ? Les choses ne peuvent être aussi simples puisque des particules peuvent s'annihiler – avec leurs

« antiparticules » – au seul profit d’une accélération de particules préexistantes. Les particules elles-mêmes ne se conservent donc pas toujours. Il est vrai que certains nombres, certaines différences entre nombres de particules et nombres d’antiparticules, sont conservés. Mais, de nouveau, ce sont là quantités abstraites. Initialement conçu pour représenter une propriété d’un ensemble, autrement dit une entité distincte de celui-ci (une collection de billes est autre chose, pensait-on, que le nombre de billes de la collection), voilà que le *nombre* apparaît maintenant en physique comme l’entité ayant seule une stabilité suffisante pour que cette science le prenne vraiment au sérieux.

De là à affirmer, avec les pythagoriciens, que les nombres sont l’essence des choses, il n’y a qu’un pas. Et il faut même noter qu’il ne peut ici être question d’un simple pythagorisme édulcoré. Il faut un pythagorisme essentiel, je veux dire inconciliable en définitive avec la vision démocritéenne qui pose l’éternité des grains ultimes. En d’autres termes il n’est plus possible d’emprunter à Démocrite sa conception fondamentale du réel en ajoutant seulement que les « atomes » interagissent par des forces obéissant à certaines formules ; et que le critère de la beauté mathématique s’avère fécond en ce qui concerne la recherche de ces dernières. Une telle tentative de conciliation entre Démocrite et Pythagore ne résoudrait rien puisque, encore une fois, aucun « grain » situé dans l’espace n’apparaît comme indestructible. Puisque, bien au contraire, tous peuvent subir l’annihilation, et que les seules entités assez stables pour que la physique puisse envisager de les regarder comme fondamentales sont des nombres, des fonctions ou d’autres êtres mathématiques d’apparence encore plus abstraite. « Tout est géométrie » proclament volontiers certains spécialistes de la théorie de la relativité générale.

Il paraît inutile de développer en détail l’exposé d’une évolution conceptuelle déjà ancienne et par conséquent assez bien connue. La découverte expérimentale des antiprotons, et donc l’assurance de la généralité des processus d’annihilation et de création, remontent toutes deux aux années mille neuf cent cinquante. Mais ces faits avaient pu être prédits bien avant encore par des théoriciens dont chacun sait qu’ils trouvèrent dans l’élégance mathématique du formalisme le plus sûr guide de leurs succès. Aussi est-ce seulement pour mémoire que j’ai rappelé un moment essentiel – mais auquel cependant on ne peut s’arrêter – de la pensée physicienne. Le moment que l’on peut nommer « l’émergence du pythagorisme » (à condition bien entendu d’écarter toute acception mystique ou magique de l’expression). Ayant satisfait à ce préalable nécessaire il m’est maintenant permis de considérer des évolutions d’idées bien plus récentes, bien moins connues et qui par conséquent exigent, elles, d’être

présentées en détail.

3

Philosophie de l'expérience

Si le matérialisme remonte à Démocrite le positivisme est, lui, bien plus récent. Il se trouve encore des personnes qui confondent matérialisme et positivisme. Ou qui, du moins, considèrent ces doctrines comme étroitement apparentées. Une telle erreur doit être dénoncée assez tôt, car elle serait de nature à obscurcir les problèmes que l'on se propose d'étudier. Sans doute est-il vrai que beaucoup d'hommes de science ont dit adhérer au matérialisme et que beaucoup se sont présentés comme positivistes. Mais si l'on examine la situation de plus près on constate qu'il en est bien peu qui aient pris ces deux positions à la fois. Et les exceptions à cette règle se sont faites de plus en plus rares au cours de l'histoire.

Le matérialisme est un peu délicat à définir en raison de ses diverses variétés. Dans une première approche il suffit cependant de le rattacher à un courant de pensée plus aisément définissable que j'appellerai le « réalisme » et qui inclut aussi des systèmes de pensée non matérialistes comme par exemple le platonisme, ou « réalisme des essences ». Selon le réalisme il est sensé et juste d'affirmer qu'une réalité existe et qu'elle est indépendante de l'esprit humain (dans ce qui suit j'appellerai cette réalité « indépendante » ou « intrinsèque »). De plus, selon ce courant de pensée, l'esprit humain peut progresser dans la direction d'une connaissance toujours meilleure d'une telle réalité. Si on admet le réalisme il est naturel d'assigner pour but à la science la connaissance en question. Et c'est effectivement ce but que lui assignent les scientifiques réalistes (et parmi eux les matérialistes).

Le positivisme est tout différent. Surtout dans ses versions modernes que (pour n'avoir pas à développer des distinctions trop subtiles) je recouvrirai du nom générique de « philosophie de l'expérience ». Non pas que la philosophie de l'expérience affirme l'inexistence de la réalité indépendante. Mais, plus subtilement, elle en relègue la notion même au second rang. Alors qu'au premier elle place ce fait