



Réflexions sur
La science
Contemporaine



Pierre Darriulat
Préface d'Étienne Klein

**RÉFLEXIONS
SUR LA SCIENCE
CONTEMPORAINE**

RÉFLEXIONS SUR LA SCIENCE CONTEMPORAINE

Pierre Darriulat

Préface d'Étienne Klein



17, avenue du Hoggar
Parc d'Activité de Courtabœuf, BP 112
91944 Les Ulis Cedex A, France

Imprimé en France

ISBN : 978-2-86883-964-0

Tous droits de traduction, d'adaptation et de reproduction par tous procédés, réservés pour tous pays. La loi du 11 mars 1957 n'autorisant, aux termes des alinéas 2 et 3 de l'article 41, 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 intégrale, ou partielle, faite sans le consentement de l'auteur ou de ses ayants droit ou ayants cause est illicite " (alinéa 1er de l'article 40). Cette représentation ou reproduction, par quelque procédé que ce soit, constituerait donc une contrefaçon sanctionnée par les articles 425 et suivants du code pénal.

© EDP Sciences 2007

SOMMAIRE

Préface par Étienne Klein	7
Préambule	9
LES FRONTIÈRES DE LA SCIENCE	13
Les sciences de la nature	14
Les sciences de la vie	22
Les sciences humaines	27
LA SCIENCE EN MARCHÉ	37
Les frontières intérieures	37
Observations et théories	41
Des observations trop indirectes	45
L'abstraction, les mathématiques	48
<i>Les tout se passe comme si</i>	54
Du réductionnisme de la science	59
Déterminisme et libre arbitre	62
Une charte tacite	66
Quelques dysfonctions	72
LES ENFANTS DE LA PLAGE.....	77
L'artisan.....	79
Une communication difficile.....	82
Le philistin.....	89
L'iconoclaste.....	93
L'apprenti sorcier	97
Science et éthique.....	99
COMMENT LA SCIENCE VOIT LE MONDE.....	103
Une image du monde	103
La circularité de la connaissance scientifique.....	111
VOYAGE CHEZ LES PHILOSOPHES	117
Les motifs du voyage	117
Mises en garde.....	121
Comment la philosophie voit la science.....	124
Quelle philosophie ?	127
Comment s'évader de la boucle ?	129
L'ordinateur, le cerveau et la pensée.....	135
Épistémologie et philosophie de la science contemporaine	145
Impressions de voyage	155
Postface	157
Bibliographie.....	163

Préface

La science n'est pas un nuage lévitant tranquillement au-dessus de nos têtes. Elle se développe au sein de la société, agit par elle et en elle. On la regarde, on la discute même de plus en plus, on interroge ses liens avec la vérité, le pouvoir, la démocratie, la puissance, l'économie, la culture, l'universel... Mais l'image qu'on se fait d'elle n'est jamais vraiment nette, en tout cas pas univoque. Il y a comme une grande confusion. Par certains côtés, la situation sociale de la science rappelle celle d'un aquarium dans un appartement : vécue de l'intérieur, elle ne ressemble pas à ce qu'elle devient vue de l'extérieur. Les poissons qui y vivent (les scientifiques) ne saisissent distinctement ni la forme extérieure de leur bocal, ni l'effet que celui-ci produit sur le décor ou sur ceux qui le regardent ; quant aux occupants de l'appartement (les citoyens), ils ne saisissent pas davantage ce qui peut bien motiver et piloter l'incessant mouvement des poissons, et encore moins ce qui se passe dans leur tête.

Nombreux sont les scientifiques qui, tout en déplorant cette situation, craignent que tout ce qui permettrait de la faire évoluer – par exemple un effort massif de communication – les obligerait à des concessions trop dangereuses. Car, expliquent-ils, le climat médiatique contemporain est tout sauf favorable : à l'heure où il faudrait remettre l'accent sur la vocation première de la transmission des connaissances contre la tyrannie du bruit, de l'image, du dernier cri, des intonations publicitaires, les médias laissent au contraire l'urgent étouffer le fondamental et se livrent même à une sorte de surcompensation : constatant qu'ils ne transmettent plus, ils se mettent à communiquer de plus belle. Dès lors, nul message élaboré, construit, raffiné, ne parvient plus à transpercer le bruit de fond ambiant. Cette « dictature du simple » qui s'est mise en place est devenue si puissante que lorsqu'il en vient à s'intéresser à ce sujet si particulier qu'est la science, le langage médiatique n'a plus d'autre choix – comme pour le reste – que de simplifier les choses à l'extrême, au risque de leur faire perdre toute consistance.

D'autres scientifiques – Pierre Darrulat est l'un d'eux – persistent pourtant à croire que la transmission des savoirs scientifiques et, surtout, leur *mise en*

intelligence, font partie des normes et des valeurs que la science se doit de faire vivre en elle-même et *hors* d'elle-même. Et qu'il faut donc tenter, *malgré tout*, d'expliquer au public le plus large, sans les dénaturer, les démarches, les contenus et les résultats de la science. Le défi est immense puisque la science est par essence complexe, presque toujours éloignée du sens commun, parfois très abstraite. Mais cela ne doit rien faire à l'affaire : il faut *quand même* travailler à la dire telle qu'elle est, expliquer comment elle se fait, sans verbiages, sans élucubrations, mettre en lumière le sens de ses concepts, dissiper les malentendus, expliquer les enjeux. C'est en somme une question d'honnêteté intellectuelle.

Pour toutes ces raisons, l'essai que nous propose Pierre Darriulat tombe à point nommé. Homme de culture, lecteur boulimique mais scrupuleux, ce physicien prestigieux commence par nous raconter ce qu'est la démarche scientifique et nous rappelle ses plus grandes conquêtes, notamment au cours du xx^e siècle. Mais il ne s'en tient pas là. Car il a bien compris que l'explication de ce qu'est la science et de ce que font les chercheurs constitue un enjeu qui ne concerne pas que le bon fonctionnement démocratique ou l'exercice éclairé de la citoyenneté. Il est également d'envergure philosophique. Pourquoi ? Parce que la situation de la philosophie face aux sciences est aujourd'hui bien curieuse. *A priori*, la démarche purement réflexive de la philosophie et la démarche expérimentale des sciences apparaissent radicalement différentes. Il s'agit de deux modes presque opposés, étrangers l'un à l'autre, d'exercice de l'activité intellectuelle. Ces modes ne traitent pas des mêmes problèmes, ne mettent pas en jeu les mêmes raisonnements ou facultés, ne reposent pas sur le même type d'organisation sociale, ne répondent pas aux mêmes finalités, ne sont pas entretenus de la même manière par la société. Et pourtant – et là se trouve la plus grande étrangeté – ces deux activités persistent, au fond, à communiquer. Mais elles ne le font pas toujours bien. Affaire de préjugés sans doute, mais aussi d'incompréhensions, de méprises, de « mauvaise adaptation des impédances », dirait un physicien.

Une mise au point sérieuse était donc devenue plus que nécessaire. Pierre Darriulat nous la propose. Pour ce faire, il est sorti de l'aquarium et a pris le temps de réfléchir, de lire les livres de scientifiques, de philosophes, et aussi ceux des sociologues des sciences, qu'il ne semble guère apprécier (il leur reproche surtout d'avoir une démarche à l'exact opposé de celle de l'homme de science : « ils goment tout ce qui n'est pas l'homme »). Il nous livre ici ses analyses et les leçons qu'il a tirées de sa pratique de physicien. En le lisant, on découvre un savant passionné, ouvert, qui s'intéresse notamment, depuis plus de trente ans, aux découvertes spectaculaires de la biologie moléculaire et de la neurobiologie, qui sont pourtant hors de son domaine. La rigueur et la vigueur de son propos pourraient fournir à la philosophie – guettée par l'assèchement de sa ressource propre, le décalage par rapport aux réalités présentes, l'épuisement narcissique – l'occasion d'un renouvellement vital, d'un ancrage inédit.

Mais entendons-nous bien : il ne s'agit pas à ses yeux d'extrapoler les résultats de la science en des thèses métaphysiques (surtout pas !), ni de promouvoir dans la confusion je ne sais quelle « nouvelle alliance », et encore moins d'insinuer que la philosophie devrait se contenter des miettes que la science laisse tomber de sa table. Non, il s'agit *seulement* de prendre acte du fait que lorsqu'elle est prise dans son entier, avec son histoire, ses problèmes, ses méthodes et surtout ses résultats les plus importants, la science permet de faire « des découvertes philosophiques négatives »¹, pour reprendre l'expression de Maurice Merleau-Ponty, au sens où elle peut modifier les termes en lesquels certaines questions philosophiques se posent. Elle provoque ainsi la philosophie, s'incruste dans certains de ses débats, qu'elle éclaire, qu'elle tranche même parfois en démontrant que des vérités d'hier ne sont plus que des leurres. Tout esprit épris de rigueur devrait donc tenir compte de la science. Et par exemple, lorsque l'envie lui prend d'élaborer un système du monde, le philosophe se doit d'être conscient des contraintes que la science de son temps lui impose.

Cette position conduit Pierre Darriulat, de fil en aiguille, à défendre ce qu'il appelle le « scientisme ». Mais attention : ce n'est pas du tout du scientisme de la fin du XIX^e siècle qu'il s'agit là, celui qui nous « vendait » une science sur le point de s'achever et toute parée des habits d'une nouvelle religion. Non, la conception du scientisme qu'invoque notre auteur est toute personnelle, beaucoup plus modeste, et elle s'énonce d'ailleurs simplement : elle consiste « à n'accepter aucune hypothèse métaphysique pour compléter l'image que la science nous donne du monde ».

Chacun, bien sûr, pourra discuter ce point de vue à sa guise. Mais personne ne pourra contester la clarté avec laquelle il est minutieusement argumenté. Or à l'impact éventuel de la science sur le discours philosophique, il y a une condition impérieuse qu'un autre physicien, James Clerk Maxwell, avait déjà identifiée au milieu du XIX^e siècle. Et cette condition, c'est justement la clarté : « *Tout développement de la science physique, écrivit le père de l'électromagnétisme, est susceptible de produire une modification des méthodes et des idées des philosophes, à condition que les idées physiques soient exposées de manière telle que les philosophes puissent les comprendre.* »²

Voilà pourquoi ce livre limpide nous apprend tant de choses. Et chacun, qui qu'il soit et quoi qu'il pense, en ressortira avec de quoi réfléchir un bon moment.

Étienne KLEIN

1. Maurice Merleau-Ponty, *La Nature*.

2. Cité par Jacques Bouveresse dans *Prodiges et vertiges de l'analogie*, Éditions Raisons d'agir, 1999, p. 55.

Préambule

On dit qu'Isaac Newton avait un caractère exécrable. Je préfère garder de lui les images d'Épinal qu'a coloriées pour nous l'histoire des sciences. La première montre le jeune étudiant de Trinity College, assis dans le verger de Woolsthorpe. Il regarde tomber une pomme, un croissant de lune luit dans le ciel. Les autres, à proprement parler, ne sont pas des images mais des mots : le « *hypotheses non fingo* », je ne forge pas d'hypothèses, des *Principes Mathématiques de la Philosophie Naturelle* ; les commentaires rageurs en marge des pages de physique des *Principes de la Philosophie* de Descartes, « *error, error, error...* » ; et enfin ces lignes¹ qui sont sans doute le plus juste et le plus bel hommage qu'on ait jamais rendu à la science : « *Je ne sais pas comment le monde peut bien me voir mais l'image que j'ai de moi n'est rien d'autre que celle d'un enfant jouant sur la plage et s'amusant à trouver par moment un galet plus lisse ou un coquillage plus joli qu'à l'ordinaire tandis qu'à mes pieds s'étend, dans sa virginité, l'immense océan des vérités.* »

Les chercheurs de ce début de siècle se reconnaissent mieux dans ces lignes que dans les portraits robots que dressent souvent d'eux ceux qui regardent la science de l'extérieur. Je les aime autant pour leur justesse que pour leur poésie et leur légèreté. Elles disent à merveille l'humilité de l'homme de science devant l'étendue de sa tâche et le plaisir presque ludique que lui procurent ses recherches. Bien sûr, elles ne suffisent pas à définir la science, il faut pour ce faire user d'un langage de « grande personne » afin de parler comme il convient

1. L'original anglais de cette célèbre citation est le suivant : « *I do not know what I may appear to the world, but to myself I seem to have been only like a boy playing on the sea-shore, and diverting myself in now and then finding a smoother pebble or a prettier shell than ordinary, whilst the great ocean of truth lay all undiscovered before me.* » Voir par exemple S. Hawking, *On the Shoulders of Giants*, Running Press, 2000.

des buts qu'elle poursuit, des motivations qui l'animent et des méthodes qu'elle utilise. Mais, pour moi, elles disent l'essentiel.

Cet essai rassemble quelques réflexions qu'inspirent à l'enfant de la plage que je suis les progrès de la science contemporaine ; il n'est que le reflet du regard amical, presque tendre, que jette sur la science un chercheur entre deux siècles. Il n'a ni prétention didactique ni ambition philosophique, rien de ce que j'y exprime n'est nouveau ou original. Je pense au contraire que la plupart des hommes de science contemporains seraient prêts à faire leur l'essentiel de mon discours.

Une étoile éclaire le chemin de ces réflexions : l'espoir de jeter quelque lumière sur ces contrées mystérieuses, étrangères à la science, qui se situent au-delà de ses frontières. Homme de science candide et ignorant des méandres de la métaphysique, je m'y aventurerai à la fin de l'ouvrage en touriste curieux et bienveillant et tenterai de dire, aussi fidèlement et honnêtement qu'il me sera possible, les impressions que j'aurai rapportées de ce voyage. Mais nous devons d'abord, mon lecteur et moi, faire de longues promenades parmi les paysages familiers de la science afin de les mieux connaître, de nous en imprégner et de préparer nos yeux à bien regarder autour de nous quand nous nous aventurerons en territoire étranger.

Pour clore ce préambule, qu'on me permette de remercier Étienne Klein et Roland Omnès qui ont accepté de faire de mon manuscrit, à des époques différentes, une lecture critique. La pertinence de leurs commentaires m'a aidé à clarifier mon discours. C'est grâce aux encouragements qu'ils m'ont prodigués que ce manuscrit n'est pas resté au fond de mes tiroirs. Je leur en suis très profondément reconnaissant. Je remercie également James Lequeux dont les remarques m'ont permis d'apporter quelques précisions à mon texte, voire d'en corriger quelques inexactitudes.

LES FRONTIÈRES DE LA SCIENCE

La science dont je parle ici est celle qu'on qualifie parfois d'objective, c'est-à-dire celle qui s'intéresse exclusivement aux phénomènes. C'est dire que j'en exclus la mathématique pour des raisons qui apparaîtront clairement par la suite. Les mathématiciens me pardonneront de dire simplement « science » plutôt que « science objective » afin d'alléger mon discours et n'y verront, je l'espère, aucune malice.

Les phénomènes que nous observons, le monde dans lequel nous vivons, le monde que nous sommes, nous posent ou nous suggèrent des questions auxquelles la science cherche à répondre par des explications qui satisfassent, au moins partiellement, notre curiosité. Aussi ses frontières sont-elles à la fois floues et éphémères. En effet, quand même nous disposerions de critères pour décider si une explication est ou n'est pas satisfaisante, nous n'en avons guère pour juger de l'espoir que peut avoir la science de répondre un jour à une question donnée, d'où le flou. Et, dans la mesure où elle continue de progresser, il est raisonnable de s'attendre à ce qu'elle gagne du terrain, d'où l'éphémère. Je vais l'illustrer par quelques exemples brefs, choisis parmi les plus célèbres des sciences de la nature et de la vie, ce qui excusera le peu de lignes consacrées à leur présentation mais permettra, je l'espère, de saisir l'essentiel. L'avancée fulgurante de ces sciences a fait d'elles des sciences qu'on dit « dures » et bien rares sont les territoires sur lesquels elles n'ont pas de prétention. Je me tournerai ensuite vers les sciences sociales. On parle souvent de leur désarroi et leur domaine est plus difficile à cerner. J'essaierai néanmoins d'en dire quelques mots.

Les sciences de la nature

L'espace et le temps

Au XVIII^e siècle, parler de l'espace et du temps en des termes scientifiques n'était pas encore véritablement possible, même si les connaissances de l'époque incitaient déjà les hommes de science à s'interroger sur leur nature. Certes Newton et Leibniz s'y étaient frottés, le premier suggérant que l'espace était absolu, le second qu'il était relatif, mais ces suggestions tenaient plus de la doctrine philosophique que de l'hypothèse scientifique. De la même manière les questions qu'on pouvait se poser sur l'étendue de l'Univers dans l'espace et dans le temps restaient en dehors du domaine de la science. En 1768 Kant, qui au long des vingt années précédentes avait partagé son temps, ses études et ses recherches entre science et philosophie, publiait *Du premier fondement de la différence des régions dans l'espace* dans lequel il proposait pour la première fois l'idée que nous avons une conscience *a priori* de ce qu'est l'espace. Idée reprise dans la *Critique de la raison pure* où elle occupe une place importante : l'espace et le temps y sont présentés comme des intuitions *a priori*, la science n'a rien à nous en apprendre. Deux siècles plus tard, comprendre la nature de l'espace et du temps est devenu une question centrale de la physique moderne et connaître l'âge et les dimensions de l'Univers est au cœur des problèmes que la cosmologie cherche à résoudre. Qui plus est, les idées mêmes que Kant proposait pour nous faire accepter l'espace et le temps comme des intuitions *a priori* de l'esprit humain sont entrées dans le domaine de la science : la neurobiologie, en étudiant l'évolution du système nerveux central tant au niveau de l'espèce qu'à celui de l'individu, a déjà commencé à éclairer ces questions d'une lumière nouvelle. On ne saurait trouver évidence plus éclatante de la fugacité des limites de la science et ces exemples méritent qu'on s'attarde un moment en leur compagnie.

Quand et comment l'espace et le temps ont-ils pénétré à l'intérieur du domaine de la science ? Avec la relativité pour passeur, bien sûr, mais il ne faudrait pas croire que ce passage fût soudain, ni se représenter Einstein comme un *deus ex machina* qui, par un beau jour de 1905, transforma l'espace et le temps d'un coup de baguette magique comme d'autres changent les citrouilles en carrosses. Avant lui, depuis déjà plusieurs années, les étranges propriétés qu'aurait dû posséder l'éther avaient commencé de poser bien des questions sur la nature de l'espace. Puis, couvrant près d'une vingtaine d'années au tournant du siècle, ce furent les expériences de Michelson, Miller et Morley qui montraient que la vitesse de la lumière ne dépend pas de la manière dont on la compose avec celle de la terre, résultat incompréhensible pour l'époque. Un peu plus tard, Fitzgerald remarquait que tout se passait comme

si l'interféromètre avec lequel les mesures étaient faites se contractait de manière à compenser exactement l'effet recherché, et en 1903 Lorentz incorporait la contraction de Fitzgerald dans ses équations. Enfin, en 1905, Einstein, suivant en cela Minkowski, unifiait l'espace et le temps dans un espace à quatre dimensions. L'avant ou l'après s'y mélangent avec la droite et la gauche, le haut et le bas, s'y combinant de manières différentes selon qu'on les considère sous un angle ou sous un autre, laissant invariants la vitesse de la lumière et la masse des particules matérielles.

Ce rappel succinct du contexte dans lequel s'est située la genèse de la théorie de la relativité restreinte montre que sa gestation a duré près d'un quart de siècle. Ce qui ne diminue en rien le génie de son auteur – s'il est un cas où l'on peut parler de « coup de génie » c'est bien celui-ci – mais nous rappelle, s'il en était besoin, que les théories physiques, même les plus révolutionnaires, ne sont pas le fruit d'une génération spontanée. Il fallut encore de nombreuses années pour que la théorie de la relativité soit bien comprise et acceptée, digérée pourrait-on dire, et que l'idée *a priori* qu'on pouvait se faire, il y a deux siècles, de l'espace et du temps soit reconnue non conforme aux faits qui, on le sait, sont heureusement fort têtus. Aujourd'hui encore, à la suite de Bergson, nombreux sont ceux qui préfèrent aux faits l'intime conviction que leur procurent leurs intuitions *a priori*. Leur discours se situe résolument en dehors de la science qui ne saurait ignorer les faits dont elle a connaissance. Et ce serait faire affront à la philosophie que dire qu'il est de son domaine, ce serait insinuer qu'elle se nourrit des miettes que la science laisse tomber de sa table.

Mais l'espace et le temps n'ont pas fini de nous étonner. Si les théories des supercordes en vogue aujourd'hui étaient avérées, ils perdraient jusqu'à leur primauté. Et l'espace n'aurait plus trois dimensions mais une dizaine, les sept dimensions supplémentaires étant si fortement enroulées sur elles-mêmes qu'elles auraient jusqu'ici échappé à l'observation. Ces théories décrivent un univers d'où émergerait un fond de vibrations cohérentes qui conduirait aux notions conventionnelles de l'espace et du temps. « *Un tel modèle, nous dit Brian Greene¹, montrerait que l'espace, le temps, et par association leur dimension, ne sont pas des éléments de définition essentiels à l'Univers. Mais plutôt ils apparaîtraient comme des notions commodes, issues d'un état originel plus basique, atavique.* »

1. La majorité des extraits cités dans cet essai ont leur source dans les ouvrages mentionnés dans la bibliographie en fin d'ouvrage. Seules sont indiquées en bas de page les sources qui ne figurent pas dans cette bibliographie.

Demain, peut-être, parviendrons-nous à découvrir quelques-uns des partenaires supersymétriques des particules que nous connaissons, éléments essentiels de ces nouvelles théories. Nous serions alors sans doute capables de résoudre une des énigmes que l'Univers nous pose aujourd'hui : il semble contenir beaucoup plus de masse que ce que nous croyons en connaître. La présence dans l'Univers d'une grande quantité de la plus légère de ces particules nouvelles pourrait probablement expliquer cette masse manquante. Une telle découverte, qui mettrait en évidence une nouvelle symétrie de la nature, la supersymétrie, marquerait le début d'une révolution dans notre manière de voir l'espace-temps qui, dès lors, acquerrait une dimension quantique.

Le monde quantique

La révolution quantique, conduite vers le milieu des années vingt par de jeunes physiciens parfois âgés d'à peine trente ans, est peut-être, parmi les nombreuses révolutions dont est jalonnée l'histoire des sciences, celle qui a le plus radicalement et profondément bouleversé l'image que les physiciens se faisaient du monde. La difficulté qu'ils eurent à l'accepter fut parfois si grande que certains, et non des moindres puisque Einstein fut l'un d'entre eux, ne parvinrent pas à la surmonter. « *Celui qui n'est pas choqué par la théorie quantique* », disait Bohr, « *ne l'a pas comprise* ». Elle remettait profondément en question les concepts auxquels les avait habitués la mécanique rationnelle et que la relativité n'avait pas vraiment bousculés : un monde fait de points matériels doués à tout moment d'une masse, d'une position et d'une vitesse bien définies. Elle introduisait à la place la notion d'état d'un système et en faisait l'élément de base de son processus d'abstraction et de mathématisation.

Aujourd'hui, si elle est toujours aussi choquante et indigeste – et par conséquent difficile à enseigner aux jeunes étudiants – elle est unanimement acceptée par les hommes de science. Les anciens concepts de la mécanique rationnelle sont compris comme n'étant que des approximations, en quelque sorte des illusions de la mécanique quantique. Il a fallu, pour parvenir à ce résultat, des années d'observations et d'expériences qui ont donné de la théorie tant d'éclatantes confirmations que le doute n'est plus permis. En prime, si j'ose dire, la mécanique quantique a brossé pour nous une fresque merveilleuse de manifestations macroscopiques qui nous permettent de voir de nos yeux et toucher de nos doigts des effets purement quantiques comme l'effet Mössbauer, les effets Josephson, l'effet Hall quantique, la superfluidité qui fait grimper le long des parois et jaillir en fontaine l'hélium qu'on refroidit au-dessous de 2 K et ce merveilleux petit tube supraconducteur qui sursaute chaque fois qu'il

avale un quantum de flux magnétique, une sorte de compte-goutte à distiller la mécanique quantique².

Au début des années vingt, plusieurs phénomènes récemment découverts ne trouvaient pas d'explication raisonnable dans le cadre de la mécanique rationnelle et semblaient requérir une révision de ses lois à l'échelle de l'atome : le rayonnement du corps noir (Planck), les propriétés de l'atome (Rutherford) et l'effet photoélectrique (Einstein) étaient parmi les plus marquants. La constante de Planck donne la mesure de l'échelle à laquelle les déviations par rapport à la mécanique rationnelle deviennent importantes : elle est de l'ordre de grandeur de la masse de l'électron multipliée par le temps que met la lumière à traverser un atome.

Les géniteurs de la mécanique quantique ne lui ont pas donné tout de suite sa forme définitive. Ils ont commencé par en brosser des esquisses qui utilisaient l'ancien vocabulaire en lui apportant le moins possible de modifications. On parlait encore d'ondes et de corpuscules mais en les dotant de propriétés étranges permettant de rendre compte de l'impossibilité de mesurer simultanément et précisément leur position et leur vitesse : les fonctions d'onde de la mécanique ondulatoire de De Broglie ou de l'équation de Schrödinger parlaient de paquets d'ondes dont l'extension spatiale traduisait l'incertitude attachée à la mesure de la position et la largeur de bande, l'incertitude attachée à la mesure de la vitesse ; l'atome de Bohr et la mécanique des matrices de Heisenberg et Jordan présentaient des particules astreintes à se mouvoir sur des orbites quantifiées. Il fallut quelques années, bien peu en vérité, pour comprendre que ces esquisses cachaient en fait une théorie unique qui trouve son expression la plus simple dans un espace de Hilbert dont chaque vecteur représente un état possible du système considéré. La nature vectorielle de cet espace permet de rendre compte d'une propriété essentielle des systèmes quantiques, à savoir que la superposition de deux états possibles est un état possible. Les propriétés métriques de cet espace, produit scalaire et norme, rendent compte quant à elles de la recette qui permet de passer d'un vecteur-état aux résultats des mesures qu'on peut effectuer sur le système.

Les scientifiques qui ont vu naître la mécanique quantique, qui ont participé à sa genèse et qui ont aidé à l'accouchement, se sont posés bien des questions d'ordre philosophique à son sujet, rien de plus naturel. Et ce d'autant plus qu'ils parlaient encore en termes d'ondes et de corpuscules. Schrödinger imaginait un chat à la fois mort et vivant pour nous faire saisir l'incongruité de la nouvelle mécanique et Einstein, Podolsky et Rosen imaginaient une situation où des effets quantiques

2. Voir dans le numéro 7 de *Physical Reviews Letters* (1961) les articles de B.S. Deaver Jr. et W.M. Fairbank (p. 43) et de R. Doll et M. Näbauer (p. 51).

originellement confinés à l'échelle atomique pouvaient devenir perceptibles à l'échelle macroscopique (on parle du paradoxe EPR). Les historiens des sciences sont particulièrement intéressés par l'étude de cette époque, qui s'en étonnerait ? Les analyses qu'ils en font sont toujours instructives et souvent passionnantes.

Mais dès que la nouvelle théorie fut admise sans la moindre réserve, tous les états d'âme qu'elle avait pu susciter dans sa jeunesse chez les hommes de science s'évanouirent.

Ce n'était plus le chat de Schrödinger qui était monstrueux, mais l'idée que nous nous étions faite des chats depuis des millénaires qui était légèrement – oh ! très légèrement – inexacte. Le prétendu paradoxe EPR n'en était pas un, ce qu'il décrivait correspondait fidèlement à la réalité, ce qu'on exprime en disant que l'Univers n'est pas séparable. Quelques scientifiques ont disséqué, avec toute la rigueur dont ils étaient capables, les mécanismes qui permettent de passer des concepts quantiques à ceux, plus familiers, d'onde et de corpuscule. Je pense bien sûr aux travaux de Bell, Gell-Mann, Griffiths, Hartle et Omnès. Grâce à eux, le mystère est aujourd'hui complètement dissipé. Qui plus est, dans bien des situations nous pouvons continuer à parler l'ancien langage, nous savons précisément les limites de sa validité et comment le modifier lorsque les effets quantiques demeurent modestes.

Malheureusement, l'épistémologie contemporaine en est parfois restée à la période de gestation de la mécanique quantique et continue aujourd'hui encore à nous ressasser *ad nauseam* les états d'âme que suscitent chez le néophyte le paradoxe EPR et les chats de Schrödinger. Il lui semble souvent que la réalité perdue d'une onde ou d'un corpuscule doive poser à la philosophie un problème majeur alors qu'elle n'est que la manifestation d'une illusion du sens commun que les progrès de la science ont dénoncée. Certains vont même jusqu'à présenter la mécanique quantique comme une limite de la connaissance – puisque, disent-ils, on ne peut pas mesurer simultanément et précisément la position et la vitesse d'une particule – alors que la révolution quantique représente au contraire un des progrès les plus prodigieux de notre connaissance du monde. La science mal digérée cause souvent des désastres épistémologiques. Les discussions auxquelles la mécanique quantique donne encore lieu, en particulier parmi ceux qui préfèrent les abstractions auxquelles ils s'étaient accoutumés à celles qui rendent mieux compte des phénomènes, ont parfois des allures de combats d'arrière-garde.

La cosmologie

Avec la relativité restreinte, Einstein n'avait pas dit son dernier mot. Troublé par son incompatibilité avec la transmission instantanée de la force de gravitation, telle qu'elle était décrite par Newton – qui d'ailleurs en était fort

- Douglas R. Hofstadter**, Gödel, Escher, Bach : an Eternal Golden Braid, *New York, Basic Books, 1979*
- Gerald Holton**, L'imagination scientifique, *Cambridge, 1978, Bibliothèque des Sciences Humaines, NRF Gallimard, Paris*
- David Hume**, Traité de la nature humaine, *Aubier-Montaigne, 1946*
- Lucien Israël**, Cerveau droit, cerveau gauche, *Plon, 1995*
- François Jacob**, Le jeu des possibles, *Fayard, 1981*
- François Jacob**, La logique du vivant, *Gallimard, 1970*
- Bruno Jarrosson**, Invitation à la philosophie des sciences, *Éditions du Seuil, Paris, 1992*
- Julian Jaynes**, The Origin of Consciousness in the Breakdown of the Bicameral Mind, *Penguin Books, 1976*
- Emmanuel Kant**, Critique de la raison pure, *Quadrige, Presses Universitaires de France, Paris, 1944*
- Arthur Koestler**, Janus : a Summing up, *New York, Vintage, 1979*
- Philippe Kourilsky**, La science en partage, *Éditions Odile Jacob, Paris, 1998*
- Bruno Latour**, La science en action, *Éditions La Découverte, 1989*
- Bruno Latour**, Petites leçons de sociologie des sciences, *Éditions La Découverte, Paris, 1993*
- Jean Matricon et Georges Weysand**, La guerre du froid, *Éditions du Seuil, Paris, 1994*
- Humberto R. Maturana et Francisco J. Varela**, Autopoiesis and Cognition, *Boston Studies in the Philosophy of Science, Vol. 42, D. Reidel Publishing Company, Dordrecht, Holland, 1980.*
- Jacques Monod**, Le hasard et la nécessité, *Éditions du Seuil, 1970*
- Roland Omnès**, L'objet quantique et la réalité, in *Virtualité et Réalité dans les Sciences, Éditions Frontières, 1995*
- Roland Omnès**, Philosophie de la science contemporaine, *Gallimard, Collection Folio Essais, 1994*
- Michel Onfray**, Le désir d'être un volcan, journal hédoniste, *Figures, Grasset, Paris, 1997*
- Roger Penrose**, The Emperor's New Mind, *Oxford University Press, 1989*
- Karl Popper**, La logique de la découverte scientifique, *Payot, 1973*
- Karl Popper**, Le réalisme et la science, post-scriptum à la logique de la découverte Scientifique, I, *Hermann, 1990*
- Antoine Prost**, Douze leçons sur l'histoire, *Éditions du Seuil, Paris, 1996*
- Hilary Putnam**, Representation and Reality, *Bradford Book, MIT Press, Cambridge, 1996*
- Hubert Reeves**, Patience dans l'Azur, *Collection Science Ouverte, Éditions du Seuil, 1981*
- Hubert Reeves**, Poussières d'étoiles, *Collection Science Ouverte, Éditions du Seuil, 1984*

- Richard M. Restak**, *The Modular Brain*, *Touchstone Book*, *Simon and Schuster*, 1995
- Jean-François Revel**, *Histoire de la philosophie occidentale*, *NiL Éditions*, 1994
- Steven Rose**, *The Making of Memory*, *Bantam Books*, 1992
- Bertrand Russell**, *Signification et vérité*, *Champs*, *Flammarion*, Paris, 1969
(traduit de *An Inquiry into Meaning and Truth*, London, *Allen & Unwin*)
- Daniel L. Schacter**, *Searching for Memory*, *Basic Books*, *Harper Collins Publishers, Inc.*, 1996
- J.H. Schwarz**, *Superstring – A Brief History*, in *History of Original Ideas and Basic Discoveries in Particle Physics*, *H.B. Newman and T. Ypsilantis ed.*, *Plenum Press, Series B : Physics Vol. 352*, New York, 1996
- John R. Searle**, *The Rediscovery of the Mind*, *MIT Press*, *Cambridge*, 1992
- John R. Searle**, *Minds, Brains, Science*, *Penguin Books*, 1989
- Alain Sokal et Jean Bricmont**, *Impostures intellectuelles*, *Éditions Odile Jacob*, Paris, 1997
- Larry R. Squire**, *Memory and Brain*, *Oxford University Press*, 1987
- André Steiger**, *Comprendre l'Histoire de la vie*, *Chronique Sociale*, Lyon, 1995
- Kip S. Thorne**, *Trous noirs et distorsions du temps*, *Nouvelle Bibliothèque Scientifique*, *Flammarion*, 1997 (traduit de *Black Holes and Time Warps*, *W.W.Norton and Company, Inc.*, New York, 1994)
- Frank J. Tipler**, *The Physics of Immortality*, *Anchor Books*, *Doubleday*, New York, 1994
- Colwyn Trevarthen Ed.**, *Brain Circuits and Functions of the Mind*, *Cambridge University Press*, *Cambridge*, 1990
- John Updike**, *Self-consciousness*, *Penguin Books*, 1989
- Paul Veyne**, *Comment on écrit l'histoire*, *Éditions du Seuil*, Paris, 1971
- Steven Weinberg**, *Le rêve d'une théorie ultime*, *Éditions Odile Jacob*, Paris, 1997
- Steven Weinberg**, *Les trois premières minutes de l'Univers*, *Collection Science Ouverte*, *Éditions du Seuil*, 1978
- Ludwig Wittgenstein**, *Tractacus Logico-Philosophicus*, *Gallimard*, *Collection Tel*, 1993
- Hervé Zwirn**, *Les limites de la connaissance*, *Éditions Odile Jacob*, Paris, 2000