



S C I E N C E S & H I S T O I R E S

La physique du XX^e siècle

Michel Pâty

AUTRES OUVRAGES DE L'AUTEUR

- *Etudes d'interactions de neutrinos ...*, CERN 65-12, Publications du CERN, Genève, 1965.
- *L'étrange histoire des quanta* (avec Banesh Hoffman), Seuil, Paris, 1981 ; nlle éd. augm., 1992.
- *La matière dérobée. L'appropriation critique de l'objet de la physique contemporaine*, Préface de Ludovico Geymonat, Ed. des Archives contemporaines, Paris, 1988. (Trad. en portugais, Brésil).
- *L'analyse critique des sciences, ou le tétraèdre épistémologique (sciences, philosophie, épistémologie, histoire des sciences)*, Collection Conversciences, L'Harmattan, Paris, 1990.
- *Einstein philosophe. La physique comme pratique philosophique*, Collection Philosophie d'aujourd'hui, Presses Universitaires de France, Paris, 1993.
- *Albert Einstein, ou la création scientifique du monde*, Collection Figures du savoir, Belles Lettres, Paris, 1997.
- *D'Alembert ou la raison physico-mathématique au siècle des Lumières*, Collection Figures du savoir, Belles Lettres, Paris, 1998.
- *Matière et concepts. Rationalité et historicité des contenus conceptuels en physique*, Coll. Penser avec les sciences, EDP-Sciences, Paris, à paraître.
- *Einstein, les quanta et le réel (Critique et construction théorique)*, à paraître.
- *Einstein et Spinoza et autres études sur Einstein*, à paraître.
- *L'Intelligibilité du domaine quantique*, à paraître.

Edition d'ouvrages

- *Quantum mechanics, a half century later* (avec José Leite Lopes), Reidel, Dordrecht, 1977.
- *Les particules et l'Univers. La rencontre de la physique des particules, de l'astrophysique et de la cosmologie* (avec Jean Audouze et Paul Musset), Presses Universitaires de France, Paris, 1990.
- *A ciência nas relações Brasil-França (1850-1950)* (avec Amelia I. Hamburger, Maria Amelia Dantes et Patrick Petitjean), Coleção Seminários, EDUSP, São Paulo, 1996.
- *Le droit à l'énergie. Penser le XXI^e siècle* (avec Émile Malet), Editions Passages, Paris, 1996.
- *Aux frontières de la science* (avec Émile Malet), Éditions Passages, Paris, 1999.
- *Analyse et dynamique. Etudes sur l'œuvre de d'Alembert* (avec Alain Michel), Presses de l'Université Laval, Québec, 2002.
- *Paul Langevin, son oeuvre et sa pensée. Science et engagement* (avec Bernadette Bensaude-Vincent, Martha-Cecilia Bustamante, Olival Freire), numéro spécial de la revue *Épistémologiques (Philosophie, sciences, histoire. - Philosophy, science, history)*, 2, n° 1-2 (janvier-juin), 2002.
- *Changes in interpretation and conceptual contents* (avec Claude Debru), Symposium at the XXIth International Congress of History of Science, Mexico, 2002.
- *Lumière et mouvement. L'extension du principe de relativité à l'optique*, numéro spécial de la *Revue d'histoire des sciences*, à paraître.
- *Épistémologie des systèmes dynamiques* (avec Sara Franceschelli et Tatiana Roque), CNRS Éditions, Paris, à paraître.

La physique du xx è siècle

Michel PATY
Directeur de recherche au CNRS

Avant-propos

En ce début du XXI^e siècle, il est possible de jeter un regard en arrière sur les accomplissements survenus dans nos connaissances au cours des cent années écoulées. La physique, en particulier, a connu au cours du XX^e siècle des renouvellements considérables, avec les révolutions relativiste et quantique et l'exploration de nouveaux domaines de la structure de la matière qui n'étaient pas imaginables au siècle précédent : physique atomique et constitution atomique de la matière condensée, chimie quantique, physique nucléaire et subnucléaire ou des particules élémentaires (réunies sous le chapitre de la "physique subatomique" avec les théories récentes d'unification), astrophysique et cosmologie. D'autres descriptions ont été renouvelées, comme celle de la physique des objets courants et les phénomènes dynamiques non linéaires (dits "chaotiques"). La géophysique s'est développée entre la géologie, la physique et la géographie physique, en ouvrant une nouvelle perspective sur l'histoire de la Terre, de l'hypothèse de la dérive des continents à la tectonique des plaques. Cette histoire remarquable n'est qu'un exemple parmi de nombreux autres des interactions de la physique avec les autres sciences, qui vont parfois jusqu'à déterminer la formation de disciplines nouvelles à la jonction des anciennes, plus traditionnelles, mais qui ne cessent pas, pour autant, d'exister et de fournir la base sur laquelle les nouvelles s'appuient.

Tous ces développements sont décrits dans ce livre, sur onze chapitres, dans leurs traits essentiels et en mettant en évidence les rapports interdisciplinaires qu'ils impliquent, leurs racines historiques, les nouveautés conceptuelles, ainsi que les interrogations que ces dernières suscitent du point de vue épistémologique. Bien entendu, il ne s'agira pas d'être exhaustifs. Nous voudrions surtout donner une idée de la dynamique de la connaissance qui a non seulement apporté de nouvelles données et révèle de nouveaux phénomènes, mais qui a puissamment contribué à renouveler sur bien des points notre conception de la nature, et nos moyens d'approche de celle-ci.

Le thème du chapitre suivant (chapitre 12), inhabituel dans un livre sur la physique, se tient à l'interface de cette science et d'autres disciplines, comme prolongement dans une autre direction d'un thème abordé au chapitre 11 avec la cosmologie : celui des origines de la vie, à la frontière de la physico-chimie et de la biologie. Quelques aspects de la question des origines dans son ensemble sont abordés à ce propos. On s'attend à ce que cette question, naguère suspecte à l'esprit scientifique, se présente de manière bien différente selon la nature de ce dont on considère l'origine, ou les origines. On peut d'ailleurs commencer avec l'apparition de la pensée, et notamment de la pensée réflexive qui est celle de la connaissance et se manifeste avec l'homme (peut-on dire comment, et à quel moment ?) : question qui n'est pas malvenue dans un ouvrage sur les sciences physiques, s'il nous importe de mesurer la place originaire de l'homme dans la nature physique. La question des origines se pose de la manière la plus concrète à partir de l'établissement de l'évolution des formes, formes du vivant en biologie, formes des objets cosmiques et de l'Univers en cosmologie.

Mais nous verrons que la question des origines de la vie se pose, dans sa localisation spatio-temporelle, d'une manière très différente de celle de l'Univers, en raison, en particulier, de l'unicité et de la totalité de ce dernier (qui définit avec lui-même l'espace et le temps).

Le chapitre 13 est consacré à des éléments d'information et de réflexion sur certains changements caractéristiques survenus dans les méthodes et la nature des sciences physiques. D'une part, les méthodes théoriques, caractérisées par une abstraction accrue dans le recours à des théories mathématiques, semblent de plus en plus éloignées des notions communes et des intuitions familières. D'autre part, les méthodes expérimentales évoluent vers la réalisation de grands appareillages à l'aide d'importants moyens financiers, matériels et humains. Par ailleurs, l'organisation des expériences s'effectue sur un mode qui se rapproche du mode industriel avec ses stratégies, ses spécialisations, ses concurrences, ses justifications et ses rapports au succès, liés à la capacité des prédictions théoriques (ce qui constitue les caractères de la "big science"). Mais c'est aussi, et en partie par cela même, la nature des sciences physiques qui se voit questionnée d'une manière plus forte en apparence que par le passé. Cette interrogation concerne tout d'abord leur *objet*, le statut de leur "formalisation" mathématique et du rapport de celle-ci à ce qui peut être dit "physique" (pensé à travers les phénomènes donnés dans l'expérience). Ces changements ont contribué à multiplier les applications de la physique et de ses techniques à d'autres sciences (par exemple, les méthodes de datation, l'utilisation des rayonnements tant en technologie qu'en médecine, l'analyse de données par visualisation, de la physique des particules élémentaires à l'astrophysique de l'Univers lointain...).

Le quatorzième et dernier chapitre reprend quelques leçons du parcours effectué, et esquisse brièvement quelques interrogations sur ce que seront peut-être, ou non, les sciences et la physique au XXI^e siècle. Si certaines directions peuvent être esquissées, la connaissance scientifique, par définition, réserve les nouveautés de l'inconnu. A la fin du XIX^e siècle, à la veille des révolutions relativiste et quantique qu'il était loin d'imaginer, le physicien Lord Rayleigh considérait que la physique était une science presque achevée avec deux ombres seulement : la non détection du « vent d'éther », et le comportement du « rayonnement noir ». Or, ces deux phénomènes, inexpliqués par la physique classique d'alors, étaient gros des révolutions relativiste et quantique qui ont ensuite bouleversé cette science. Mais, en même temps, ces deux révolutions ne surgirent pas de rien : les connaissances de l'époque les portaient (au moins en partie), pour ainsi dire, dans leur sein. S'il est donc présomptueux de prétendre prédire ce que sera la physique de demain, le regard sur celle du siècle qui vient de se terminer nous permet de risquer quelques réflexions épistémologiques pour mieux comprendre ce qui s'est réellement passé, en profondeur, dans les renouvellements de nos connaissances, en tentant d'en saisir le mouvement dans l'ordre des significations. Cette perspective constitue, en fait, l'axe du présent ouvrage.

Le texte est parfois ponctué, lorsque la nécessité s'en fait sentir, notamment pour des détails biographiques, de notes de bas de page. Chaque chapitre est accompagné d'encadrés explicatifs et d'illustrations. Une bibliographie de textes sources et de lectures complémentaires, relativement

détaillée sans être, bien entendu, exhaustive, est donnée en fin de volume, séparément pour chaque chapitre.

En rédigeant ce livre, je me suis efforcé de le rendre lisible au plus grand nombre, sans jargon spécialisé ni appareil mathématique, en développant de la manière la plus claire possible les notions même difficiles, dans l'intention d'en donner à comprendre les enjeux, du point de vue de la nature telle que nous la concevons et de la connaissance, sans les brouiller par des images faciles et trompeuses. Le lecteur pourra ainsi se donner une représentation à son propre usage de ce qu'est cette matière dont il est fait et dont est constitué l'Univers où il se trouve plongé. Le récit de ces connaissances et de leur établissement est celui d'une aventure de l'esprit, somme toute assez extraordinaire, qui le concerne aujourd'hui tout autant que les héros qui en ont tissé l'histoire au long du siècle écoulé, à la suite de ceux qui les ont précédés. Puisse le lecteur partager un peu de la passion intellectuelle qui les a menés. Communiquer cette passion, et ses raisons, telle est la motivation qui me l'a fait écrire.

Michel Paty

Table des matières

Avant-propos

1. Introduction. Renouveaux conceptuels et transformations des sciences physiques
2. La théorie de la relativité
3. La physique quantique
4. L'interprétation des concepts quantiques
5. Atomes et états de la matière
6. Matière subatomique, 1 : Dans le noyau de l'atome
7. Matière subatomique, 2 : Les champs fondamentaux et leurs sources
8. Systèmes dynamiques et « physique des objets courants »
9. Dynamique de la Terre
10. Les objets du cosmos : planètes, étoiles, galaxies, radiations
11. La cosmologie contemporaine : déploiement et transformations de l'Univers
12. Remarques sur les recherches des origines
13. Objets et méthodes
14. Conclusion. Quelques leçons de la physique du XX^e siècle et un regard vers le XXI^e

Bibliographie

Index des noms propres et index des notions