

Cushing, James T., *Quantum Mechanics. Historical Contingency and the Copenhagen Interpretation*, The University of Chicago Press, Chicago and London, 1994.

Mots clés : contingence / inévitabilité ; déterminants de l'histoire des sciences ; rationalité scientifique ; réalisme scientifique.

Domaine objet : physique, sciences en général

Résumé : La contingence historique, au sens de l'ordre dans lequel certains événements contingents interviennent, joue, d'après Cushing, un rôle essentiel et inéliminable du point de vue de la sélection entre théories scientifiques concurrentes. La thèse est argumentée sur le cas particulier de la compétition entre mécanique quantique standard (ou interprétation de Copenhague) et théorie quantique de Bohm (ou « programme causal »), c'est-à-dire sur le cas de deux théories à la fois empiriquement équivalentes et ontologiquement incompatibles. La thèse est que la victoire historique de la mécanique quantique soutenue par Bohr (théorie « standard » qui s'est très vite imposée comme la seule viable et qui est aujourd'hui endossée par la majorité des physiciens), et corrélativement la défaite de la théorie de Bohm (théorie d'abord complètement exclue, puis, bien plus tard et encore aujourd'hui, soutenue par une petite minorité de physiciens), tient à des facteurs contingents et non pas à la supériorité des qualités intrinsèques d'une des deux théories en compétition. *Si* avait été différent l'ordre de certains facteurs historiques que personne n'est prêt à contester comme contingents, un choix *opposé* à celui qui a été fait historiquement, *et cependant rationnel*, aurait pu être fait par la communauté scientifique. C'est alors la théorie causale de Bohm qui aurait été adoptée à la place de celle de Bohr et aurait servi de base aux développements ultérieurs de la physique. L'une des conséquences est que les physiciens auraient assumé une conception du monde microphysique incompatible avec celle qui domine actuellement (en particulier, ils auraient cru aussi fermement au déterminisme qu'ils croient aujourd'hui fermement à l'indéterminisme). La thèse de la contingence est donc lourde de conséquences du point de vue de la question du réalisme scientifique. Elle l'est également du point de vue de la conception de la rationalité scientifique, dans la mesure où l'auteur est prêt à juger également rationnels des choix incompatibles du point de vue ontologique.

Développements

1/ Contenu de la thèse de la contingence

Sens de la thèse. Notre science est contingente au sens où l'histoire des sciences aurait pu (en droit, en toute légitimité, sans que cela soit irrationnel...) prendre une direction radicalement différente en certaines jonctions critiques. C'est ce que Cushing appelle sa "thèse 'contrafactuelle-historique'" (1).

Solidarité des thèses contingence-multiplicité des théories et inévitabilité-unicité. La thèse de la contingence des théories va avec celle de la pluralité des théories scientifiques légitimes, fussent-elles ontologiquement incompatibles. Inversement, nier la contingence, c'est croire à "l'unicité pratique des théories scientifiques couronnées de succès", comme sont portés à y croire la majorité des scientifiques. A travers son cas, Cushing entend remettre en cause cette croyance à l'unicité pratique ou effective (par opposition à conventionnelle) (2) : la mécanique quantique standard est apparue à presque tous les physiciens comme l'unique possibilité viable et légitime, mais cela est en fait une perception erronée : la théorie de Bohm est tout aussi légitime et aurait pu l'emporter.

Ce qui est dit contingent.

(a) Est tout d'abord et centralement revendiqué comme contingent **tout ce qui fait figure de résultat scientifique** (notamment les **théories** en vigueur, y compris au niveau le plus

fondamental des dites 'loi de la nature') : « La science demeure essentiellement historique et contingente, même au niveau de ses produits et de ses lois » (3).

(b) **Les normes, critères et standard** qui orientent les recherches scientifiques et les choix entre théories concurrentes semblent également devoir être considérés comme contingents. L'idée que ces aspects sont contingents est moins explicitement, extensivement et directement thématisée que ne l'est celle d'une contingence des théories scientifiques. Mais il semble qu'il faille l'admettre au moins à titre de conséquence indirecte des affirmations de Cushing. En effet, si, comme le soutient Cushing, ce qui fait figure de bonne théorie scientifique et ce qui apparaît comme une norme authentiquement scientifique évoluent historiquement de manière étroitement intercorrélée, et si les théories retenues auraient pu être radicalement autre, il semble en découler que les normes aussi auraient pu être autres (4).

(c) En passant, sont aussi parfois pointés comme contingents **les questions et les expérimentations scientifiques** (5).

2/ Raisons de la contingence, arguments généraux en faveur de la thèse contingentiste

La thèse de la contingence des théories est expliquée par, et argumentée à partir de la thèse de la **sous-détermination des théories par l'expérience** : « La nature fournit de (souvent faibles) contraintes, mais il subsiste encore une latitude au niveau des choix inter-théoriques ». La logique et les bases expérimentales ne suffisent pas à imposer un choix unique (6). D'autres facteurs déterminent donc les décisions effectivement prises par les scientifiques, par exemple des facteurs subjectifs comme la beauté, la simplicité, des facteurs sociaux, etc. Ces facteurs étant contingents, de même les décisions en termes de choix inter-théoriques.

3/ Structure de la démonstration contingentiste appliquée au cas particulier de la physique quantique

Appliquée au cas particulier de la physique quantique, l'argument de Cushing se déploie selon la logique suivante. Cushing prend pour point de départ la sous-détermination : s'agissant des choix inter-théoriques, la logique et l'expérience, c'est bien connu depuis au moins Duhem, ne suffisent pas. Ce point général est totalement indiscutable dans le cas particulier des deux théories comparées, précisément dans la mesure où elles sont empiriquement équivalentes : « "Empirical adequacy and logical consistency together do not alone provide sufficient criteria to choose between the two theories discussed in this book » (206).

Pour justifier la supériorité de l'une des deux, il est inévitable de faire intervenir des critères supplémentaires. « One can enlarge these criteria to include factors such as fertility, beauty, coherence, naturalness and the like » (206). De tels critères, qui interviennent effectivement dans les pratiques, "go beyond the purely epistemic" (11). Si l'on compare les qualités intrinsèques des deux théories quantiques concurrentes sur la base de tels critères, il n'y a pas lieu, soutient Cushing, de conclure à une supériorité décisive de la théorie de Bohr, qui la rendrait absolument ou même nettement préférable. La théorie de Bohm s'avère tout au contraire présenter des avantages importants : The Bohmian theory "is arguably more coherent and understandable than the commonly accepted dogma" (174) ; elle va avec "a worldview requiring a less radical departure from the then already-ensconced classical principles" (193) ; elle n'a "no measurement problem and no difficulty with a classical limit"...

Pour expliquer la victoire historique de la théorie de Bohr, il faut donc invoquer encore d'autres circonstances déterminantes. Cushing conceptualise les espèces suivantes, et discute la question de leur intervention dans le cas historique considéré : les philosophical trends and predilections ; les "personal", "psychological factor" (100) ; les political predilections and

interests (152) ; les sociological pressures (99, 100) ; les metaphysical commitments (199) ; “theoretical tastes” (175) ; superiority and professional dominance (117), l’avantage que confère à long terme le fait d’avoir réussi à s’imposer d’abord (« who gets to the top of the hill first holds the high ground and must be dislodged (if required, not otherwise) » (5))...

4/ Stratégie parallèle pour rendre plausible l’idée que la théorie de Bohm aurait pu triompher historiquement

Pour rendre crédible sa thèse de la contingence dans le cas de son exemple, Cushing développe des « scénarios alternatifs » (174) à ceux de l’histoire effective de la physique quantique.

Par exemple, la pseudo-preuve de von Neuman supposée démontrer l’impossibilité de compléter la mécanique quantique au moyen de variables cachées (impossibilité que la théorie de Bohm contredit par les faits), qui a historiquement été publiée en 1932, aurait pu ne pas avoir été publiée ou être publiée à un autre moment ; ou encore sa réfutation, historiquement publiée par Bell trente ans plus tard en 1964, aurait pu être développée et connue dès le début des années trente. Cushing s’emploie alors à argumenter que dans le cas de certains réordonnements, il devient extrêmement plausible, et il aurait été parfaitement rationnel, de choisir la théorie de Bohm plutôt que celle de Bohr.

La force et le pouvoir de conviction spécifiques de ces histoires alternatives tiennent aux caractéristiques suivantes. Tout d’abord, ils s’écartent très peu en teneur de l’histoire réelle. En effet les événements qui les composent, loin d’être inventés de toutes pièces pour les besoins de la discussion, s’identifient à des événements ayant effectivement eu lieu dans notre histoire : dans cette mesure ils n’apparaissent pas fantaisistes, produits d’une imagination créatrice peut-être apte à nous faire rêver mais impropres à nous apprendre quoi que ce soit à propos de notre réalité. Ceci concourt à rendre plausibles l’histoire alternative envisagée (7). Ensuite, l’histoire contrafactuelle de Cushing est construite au moyen d’une opération qui, en elle-même, semble, au premier abord et intuitivement du moins, anodine : elle est générée en modifiant l’agencement temporel (en déplaçant un événement réel d’un point du temps à un autre ou en éliminant un événement contingent ayant effectivement eu lieu) de circonstances que personne n’est prêt à contester comme contingentes (date à laquelle la communauté scientifique a disposé d’une certaine démonstration par exemple) (8). Cette opération apparaît anodine, car tout le monde est prêt à concéder que, par exemple, le théorème de von Neumann aurait pu ne pas du tout être développé, ou aurait pu l’être quelques années plus tôt ou plus tard, ou que sa réfutation aurait pu être immédiatement connue et diffusée et non pas trente ans plus tard...

5/ Importance philosophique et enjeux de la problématique de la contingence

Cushing revendique l’importance cruciale, du point de vue philosophique, de la question de la contingence en général, au-delà du cas historique particulier sur lequel il se focalise. Les enjeux fondamentaux identifiés sont l’unicité des théories, le réalisme scientifique et la nature de la rationalité scientifique. “This is a particular instance of a larger issue. I claim that asking what might have happened at certain critical junctures of theory construction and selection, and why it did not, is more than just idle speculation fit only for a free Saturday afternoon. This raises epistemological and general philosophical issues about whether our most successful theories are even effectively unique and about the reliability of the knowledge science gives us concerning the structure of our world at the most fundamental level” (193).

La contingence récuse d’après Cushing la nécessité d’une unique théorie et le réalisme scientifique (défini comme suit : “I assume (...) that a scientific realism believes successful scientific theories to be capable of providing reliable and understandable access to the

ontology of the world” 270 note 26). “If certain equally plausible conditions, rather than the actually occurring and highly contingent historical ones, had prevailed and the interpretation of quantum mechanics had initially taken a very different route from the Copenhagen one around 1925-1927, would our worldview of fundamental microprocesses necessarily have been brought back, by the ‘internal’ logic of science, to our currently accepted picture of an inherently and irreducibly indeterministic nature?” “This book argues that the answer to the (...) question is no” (xiii). “Could our present understanding of the behaviour of the fundamental laws of nature in terms of an inherently indeterminist physics have been replaced by the apparently diametrically opposed view of absolute determinism?” “This book argues that the answer to the (...) question (...) is an emphatic yes” (xiii). “Successful theories can prove to be poor guides in providing deep ontological lessons about the nature of physical reality” (215).

La contingence encourage à admettre comme également rationnels deux choix correspondant à des theories scientifiques descriptivement incompatibles : “Philosophers (...) doubtless have the ability to reconstruct rationally, and hence to legitimate, *any* theory that has already survived the scrutiny of the scientific community. But for historical contingency, though, they might find themselves doing just as well reconstructing and justifying an *essentially* different, equally successful, and widely accepted theory. (...) Each of these reconstructions could be equally *rational*, but there would not necessarily be anything rational to choose between them” (207).

Démarches : analyse philosophique appuyée sur une étude historique largement élaborée par l'auteur lui-même.

Cette notice a été réalisée par Léna Soler, l_soler@club-internet.fr

Compléments

(1) “Developments might have gone a very different way at certain critical junctures” (199). “my ‘counterfactual historical’ thesis” (159).

(2) “the practical uniqueness of successful scientific theories” (7): “It is just such (even practical or effective, as opposed to merely conventional) uniqueness that the specific case developed in this book calls into question” (8).

(3) “Science, even in its products or laws, remains historical or contingent in an essential manner” (199).

(4) “Methodological rules are coupled with and largely derived from scientific practice in such a way that the entire network of practice, methods, and goals evolves together and changes in its essential characteristics. (...) It is not clear that there are invariant (ahistorical, atemporal) characteristics of science that distinguish it from nonscience. I am not saying that there are no characteristics of scientific practice and reasoning, but only that these need not be universal across all of science for all time unless one makes vague, elastic claims that can be fit to almost anything” (1). “Case studies show that successful scientific practice, which *does* change, largely defines rationality (i.e., what counts for good reasons or for a good explanation)” (2), et en particulier “what rules or standards are to be applied in testing and selecting theories?”.

(5) “Had there been a different majority view, there is little reason to suppose that we would necessarily have arrived at the same set of questions and experiments we are at now” (207). En lui-même ce point n’est bien sûr contesté par personne. Il ne devient éventuellement épistémologiquement offensif qu’en tant qu’il intervient comme argument en faveur d’une contingence aux niveaux (a) et (b).

(6) “Nature provides (often tight) constraints, but there still remains latitude in theory choice” (199). “The choice in favour of the Copenhagen and indeterministic circa 1927 could not have been uniquely demanded by logic and by evidential criteria *alone*. So, how did we arrive at the nearly universally held position that the Copenhagen interpretation (...) is the *only* acceptable possibility?”. Il faut poser la question de la “nonevidential grounds on the basis of which causal interpretations were shunted aside in the early days of quantum mechanics” (xiv)]. La question ayant été posée de la sorte, sa discussion par Cushing s’accompagne des inéliminables difficultés inhérentes à ce genre de cadre conceptuel, à savoir qu’il faut : a/ décider quels sont, au sein d’une situation historique réelle excessivement riche et complexe, les facteurs qui ont été déterminants (causaux) et ceux qui, bien que présents, auraient pu ne pas l’être sans que ce qui est historiquement advenu en soit modifiée ; et b/ analyser de quelles espèces relèvent les facteurs ayant effectivement été déterminant historiquement.

Cette seconde tâche suppose de faire fond sur une typologie des possibles. Par exemple sur la partition – aussi classique que problématique, et mobilisée dans les citations de Cushing ci-dessus – entre deux types de facteurs, d’un côté les « logiques » et « évidentiels », pensés comme nécessaires en vertu de ce qu’est la nature, et de l’autre les « non-évidentiels », pensés comme contingents au sens où rien n’obligeait à ce qu’ils soient présents. En d’autres passages Cushing recourt également aux oppositions – toujours aussi communément usitées que problématiques – entre : « internal factors (such as logical consistency and empirical adequacy) » et « external ones (such as metaphysical or psychological commitments and sociological pressures » (199) ; ou encore entre facteurs objectifs d’une part, et d’autre part « ‘subjective’ criteria such as coherence, beauty, simplicity or minimum mutilation » (7) et « social factors ».

Dans ce cadre, rendre plausible la thèse de la contingence revient à rendre plausible l’idée que

des facteurs *contingents* en ce dernier sens ont été historiquement déterminants *en un sens fort* (causaux : s'ils n'avaient pas été présents, une théorie différente et contradictoire aurait été retenue). Il s'agit en d'autres termes de montrer "the essential role of the determinative contingencies [that charted our course to the current hegemony]" (xiii), of "highly contingent historical circumstances that could easily have been otherwise" (206)).

(7) This "counterfactual scenario" is plausible, because: "What is important is that there were precedents for such moves and that the necessary pieces were already there" (175). "This [alternative] 'story' is neither ad hoc (in the sense of these causal models having as their sole justification an origin in successful results of a rival program) nor mere fancy, since all of these developments exist in the physics literature" (191-192).

(8) « a reordering in the temporal sequence of a few key historical events" (xiii) ; « a plausible temporal reordering of certain historically contingent events » (193).

Apports spécifiques

C'est à mon sens et à ma connaissance l'analyse la plus approfondie qui existe sur la question de la contingence.

L'auteur adopte l'une des stratégies potentiellement les plus prometteuses du point de vue de l'objectif de montrer la plausibilité du contingentisme :

- Cas d'une théorie actuelle, considérée comme la meilleure théorie physique dont nous disposons et dotée par la plupart des physiciens d'une valeur universelle (la théorie cadre) ;
- Cas d'une possible autre trajectoire d'histoire des sciences à partir d'un état initial réel et d'un état final (d'une science alternative) non pas fictive mais existante (la théorie de Bohm), et donc parfaitement imaginable et saisissable (par opposition à des fictions construites artificiellement pour les besoins de la démonstration) ;
- Cas d'une équivalence empirique reconnue et durable (configuration extrêmement rare dans l'histoire des sciences) ;
- Plausibilité conférée à la trajectoire alternative par le fait que les ingrédients de l'histoire alternative des sciences invoquée ne sont pas inventés, mais ont existé dans la physique réelle de l'époque considérée. Ici est soutenue la thèse de la possibilité d'une alternative réelle, et non pas seulement logique.
- La force démonstrative du cas (mais aussi corrélativement sa limite en terme de radicalité – les deux semblent inversement proportionnels) repose aussi sur le fait que l'alternative scientifique mise en jeu n'est pas extrêmement radicale : les deux physiques comparées ont beaucoup en commun, et notamment les expériences et observations. De ce point de vue, le cas d'alternatives impliquant des faits expérimentaux incompatibles est plus radical.
- L'analyse a, me semble-t-il, une portée tout à fait générale, même si l'auteur s'arme de précautions en ce qui concerne la généralisation de ses conclusions au-delà du cas particulier.
- Je ne pense pas qu'on pourra aller plus loin dans la défense du contingentisme. Ceux qui ne sont pas convaincus par cette analyse ont peu de chances de l'être pas d'autres...

L'analyse comprend des propositions intéressantes à discuter du point de vue de la conceptualisation des déterminants scientifiques qui interviennent dans les pratiques concrètes. Elle s'appuie en effet sur une certaine typologie des déterminants (cf. plus haut

rubrique « développements », point 3).