

RÉALITÉ ET PHYSIQUE MATHÉMATIQUE

Olivier Zuchuat
Lausanne, Suisse

Le développement des sciences physiques de notre temps est sous-tendu par le constat suivant: les mathématiques sont le langage dans lequel s'exprime la physique moderne. Cette affirmation universellement reconnue par la communauté scientifique recouvre du sceau de l'évidence une série de problèmes épistémologiques portant sur la nature de la physique, des mathématiques *et surtout* de leurs relations réciproques.

Une incommensurabilité sépare en effet la *matérialité* que nous appelons «réalité» – le concret des phénomènes observés – et l'*abstrait* symbolico-mathématique de sa modélisation. L'enjeu de ce texte est de montrer l'ampleur de l'effet limitatif créé par ce fossé sur la connaissance de la réalité au sens de la physique moderne. Si cette problématique n'est pas nouvelle et s'avère inhérente à toute tentative de modélisation abstraite d'un quelconque système concret, le débat portant sur la mathématisation du réel physique constitue néanmoins l'un des points charnières de la réflexion sur la science contemporaine. Notre projet est de montrer ici que la nature intrinsèquement mathématique de la physique moderne nous force à reconsidérer les prétentions de l'homme à comprendre et à décrire la réalité. Les problématiques liées à la non-séparabilité du réel et à la théorie de la mesure¹ seront mises de côté pour se focaliser sur le seul processus de *mathématisation* de la réalité définie ici comme la manifestation concrète du réel physique à l'observateur.

On l'a dit, les concepts fondamentaux de la physique moderne sont de nature mathématique, sans rapport avec notre imagination sensible, comme si finalement s'affirmait la puissance d'une symbolique mathématique fonctionnant d'elle-même. Quel est le statut épistémologique d'une telle connaissance mathématique de la réalité? Peut-on considérer que les concepts mathématiques qui constituent les fondements de la physique moderne – concepts que Michel Paty a appelés des «abstrais-construits»² – fournissent une description «objectivable» et représentative de la réalité matérielle? Ou ne seraient-ils que des outils à valeur exclusivement prédictive? Un examen formel du processus de mathématisation de la réalité physique s'avère nécessaire à toute tentative de réflexion à ce propos.

¹ Cf. Michel Paty, *La matière dérobée*, Paris, Editions des Archives Contemporaines, 1988, p. 213.

² *Ibid.*, p. 295.

Définissons tout d'abord l'entité «réalité physique» P réunissant l'ensemble des phénomènes physiques observables Op^3 . La découverte et la description de ces éléments fondamentaux de réalité Op constituent le but de l'activité des physiciens. La pratique de la physique moderne a montré qu'il est possible de désigner ces objets Op^4 par un ensemble fini de données expérimentables: la *signature observationnelle* de Op que l'on symbolisera ici par $S(Op)$. Ces signatures sont exprimées de manière numérique. L'unicité de cette représentation $S(Op)$ est problématique puisque celle-ci va dépendre des techniques expérimentales utilisées et du formalisme mathématique employé.

Dans le but de décrire la réalité concrète P , le physicien définit un espace abstrait M , qu'il munit d'une structure mathématique complexe et qu'il peuple d'objets théoriques OM . L'enjeu de toute l'activité théorique est de trouver une correspondance la plus exacte possible entre l'ensemble des Op et celui des OM^5 . A tout phénomène physique Op doit correspondre une «traduction» en termes de OM . A l'aide d'un formalisme mathématique se complexifiant de manière spectaculaire avec l'avancement de la connaissance scientifique, on calcule les signatures numériques $S(OM)$ des manifestations observables de ces entités fondamentales OM . Le processus scientifique est le plus souvent constitué d'un ajustement inférentiel et progressif entre les concepts fondamentaux OM et les mises en évidence expérimentales d'éléments Op , en exigeant une correspondance directe entre $S(OM)$ et $S(Op)$. La vérification de la représentativité d'un élément OM par rapport à un élément de réalité Op ne peut donc se faire que par une adéquation des deux signatures. Nous allons montrer à l'aide de deux exemples que le caractère de plus en plus *indirect* de cette vérification constitue un facteur limitatif important pour la connaissance de la réalité physique.

Le premier exemple est celui, historique, de la gravitation newtonienne. Ce que l'on désigne par attraction gravitationnelle est l'élément dont on pressent qu'il correspond à l'aspect fondamental Op . Des trajectoires mesurées, des temps de chute de corps ou des positions célestes en constituent les signatures numériques $S(Op)$. Dans l'ensemble M , on trouve une axiomatique liée – l'énumération n'est point exhaustive – à la géométrisation euclidienne de l'espace, aux notions de point matériel et de masse ainsi qu'à deux

³ La notation et l'idée de formalisation sont empruntées à Marceau Felden, *Le modèle géométrique de la physique*, Paris, Masson, 1993, p. 20.

⁴ S'ils ont été observés, bien entendu.

⁵ Il est bien connu que tout processus expérimental dans P ainsi que tout calcul des $S(Op)$ impliquent des références incontournables à des paradigmes théoriques (dans l'ensemble M) dont les éléments Op se veulent justement être la vérification expérimentale. La séparation dichotomique entre Réalité physique et Mathématique que nous proposons ici n'a de valeur que dans la seule *étude* du processus de *mathématisation* et ne s'apparente donc pas aux relations entremêlées entre Réalité (dont les processus d'observation dépendent des théories) et Théorie elle-même (cf. par exemple Karl Popper, *Objective Knowledge*, Oxford, Oxford University Press, 1972, p. 341-361).

des lois découvertes par Newton. Les valeurs numériques $S(O_M)$ sont calculées de manière relativement directe à partir des lois fondamentales, en employant un formalisme mathématique simple, et fournissent ainsi les temps de chute, trajectoires, etc. Les concepts de base de la théorie newtonienne, ceux de point matériel, de masse ainsi que l'axiome de géométrisation ne requièrent pas un degré d'abstraction élevé, si bien que certains estimèrent plus tard qu'ils pouvaient fournir une image représentative de la réalité. Laplace se fourvoya dans ce piège lorsqu'il proposa au début du XIX^e siècle sa *Mécanique céleste*⁶ dans laquelle il affirmait que l'existence d'une machine à calculer telle que la concevait Pascal mais de taille infinie pourrait intégrer toutes les équations du mouvement des corps de l'Univers, en fournissant ainsi une *description complète*. Cette confiance en la toute-puissance de la physique mathématique va disparaître avec l'apparition de la physique moderne, dont notre deuxième exemple, la théorie quantique des champs⁷, constitue le paradigme actuel.

L'intégralité du processus tant expérimental que théorique de la physique subatomique s'éloigne complètement de ce que l'imagination sensible peut se représenter et se mathématise totalement. Cette complexification et le degré d'abstraction élevé qui en résulte paraissent logiques à la majorité des physiciens, à l'instar de Richard Feynman qui écrivait que «le comportement des systèmes subatomiques – dont la description constitue le but de la théorie quantique des champs – est tellement différent de ce que notre esprit est exercé à concevoir que leur analyse ne peut être qu'abstraite»⁸. Mais cette abstraction et la complexification qui en résulte ont des conséquences fâcheuses aussi bien d'un point de vue expérimental (dans P) que théorique (dans M): dans le processus expérimental destiné à mettre en évidence le comportement et la structure fondamentale de la matière tels que les théories quantiques les décrivent, on constate que la mise en évidence des éléments O_P est de plus en plus *indirecte*, nécessitant notamment l'emploi de dispositifs colossaux tels que les accélérateurs de particules. Dans l'ensemble M, les éléments O_M constituant les principes fondamentaux sont de nature exclusivement mathématique et axiomatique. La notion de particules élémentaires, sortes de minimorceaux de réalité matérielle, s'efface devant celle, plus fondamentale, de champs quantiques. L'état d'un système est entièrement déterminé, selon l'axiomatique en vigueur, par la donnée d'un vecteur d'état abstrait et dont la seule liaison possible avec la réalité est fournie par l'emploi d'opérateurs mathématiques aboutissant à des résultats de type probabiliste. Ainsi, à une question posée dans P – l'état du système considéré à un temps donné – on ne peut qu'obtenir des résultats

⁶ Pierre Simon Laplace, *Traité de mécanique céleste*, Paris, 1799.

⁷ Cf. Michio Kaku, *Quantum Field Theory*, New York, Oxford University Press, 1993.

⁸ Richard P. Feynman, *The Character of Physical Laws*, Cambridge, Mass. et Londres, MIT Press, 1965, p. 74.

probabilistes dans M ; cette propriété est l'une des plus fondamentales de la théorie quantique.

On constate d'autre part que la transformation des concepts fondamentaux O_M en des valeurs numériques $S(O_M)$ que l'on peut mettre en regard de résultats expérimentaux nécessite un traitement mathématique considérable entaché de problèmes de nature *interne* – certaines opérations mathématiques considérables dont on pourrait attendre qu'elles aient un «équivalent» physique sont sans rapport aucun avec la réalité, et certains se demandent si cela ne constitue pas un indice du caractère non fondamental de la théorie⁹ – ainsi que de nature *externe* – pour certaines théories dont on pressent qu'elles présentent un intérêt considérable, on ne sait comment calculer ces signatures¹⁰.

Ainsi, dans la théorie quantique, la réalité se trouve noyée dans une lointaine mathématique abstraite. En dépit d'expériences spectaculaires qui attestent le caractère prédictif impressionnant de cette théorie, il semble donc, pour l'essentiel, qu'il faille se contenter de sa valeur *opératoire* et *prédictive*, en la considérant comme un outil de calcul dont on essaie d'augmenter la précision et l'universalité. On devient en effet de plus en plus conscient du caractère *ad hoc* de certains des concepts fondamentaux de la théorie¹¹. De plus, les concepts symbolico-mathématiques qui en constituent les fondements deviennent si familiers dans la pratique quotidienne du physicien, qu'ils finissent par se substituer dans son esprit aux phénomènes concrets observés, comme l'a très astucieusement noté Paul Langevin: «le concret, c'est l'abstrait devenu familier par l'usage»¹².

Ainsi, plus notre connaissance de la réalité dans ses structures les plus intimes et fondamentales s'affine, plus son caractère opératoire et «utilitaire» s'affirme. On mesure ici la pertinence tout actuelle de l'aphorisme de Paul Valéry, «la science est l'ensemble des recettes qui fonctionnent toujours».

D'autre part, le réel semble devenir de plus en plus inaccessible, se diluant dans les ténèbres d'un formalisme mathématique tentaculaire, comme si finalement la substance se faisait fonction mathématique. Pour la plupart des physiciens travaillant sur le problème de l'interprétation des théories quantiques, le glas d'un réalisme idéaliste avait déjà sonné avec la découverte, entre autres, des notions d'inséparabilité et des relations d'incertitude. Nous avons essayé de montrer ici qu'à cela s'ajoute une *indécidabilité croissante* due au processus même d'investigation de la réalité, à

⁹ On fait ici allusion par exemple au groupe de renormalisation. Cf. J. Collins, *Renormalisation*, Cambridge, Cambridge University Press, 1984.

¹⁰ La théorie des supercordes – sortes de superthéories quantiques dans des espaces de plus de quatre dimensions – en est un exemple. Cf. Michael Green *et al.*, *Superstring Theory*, Cambridge, Cambridge University Press, 1987.

¹¹ M. Felden, *op. cit.*, p. 94.

¹² Paul Langevin, *La notion de corpuscules et d'atomes*, Paris, 1934, p. 45.

savoir la mathématisation complète de la physique. Interrogé sur les fondements de la physique quantique, R. Feynman déclara qu'il ne fallait pas «trop se préoccuper de ce genre de problèmes qui ne font que freiner l'avancement de la science», et que mieux valait s'émerveiller devant le fait que «le grand ordonnateur était un fin mathématicien». Peut-être est-ce là la seule attitude à adopter, celle d'un pragmatisme conscient *et* efficace. Et de déclarer malicieusement avec Bernard d'Espagnat: «Soit le physicien pense (sous-entendu: à ce genre de problèmes), soit il fait de la physique!»¹³

Olivier Zuchuat
Lausanne, Suisse

¹³ Bernard d'Espagnat, *Une incertaine réalité*, Paris, Gauthier-Villars, 1985, p. 62.