MODÈLES, FICTIONS, IDÉALISATIONS

Le contenu des représentations scientifiques

La notion de modèle mathématique ou théorique joue un rôle très important dans les domaines les plus mathématisés de la science. Cependant, malgré l'abondance de la littérature consacrée aux modèles, ils ne font pas l'objet d'un traitement unifié de la part des philosophes des sciences. Actuellement, un certain nombre d'articles et de programmes de recherche sont consacrés à des descriptions minutieuses de la construction de modèles dans des branches très appliquées de la science, comme l'économétrie ou la météorologie[1], mais au-delà de ces descriptions, on ne sait pas exactement pour quelles raisons les différentes branches de la science où ils sont employés rencontrent le succès qui est le leur. Il n'existe aucune théorie entièrement satisfaisante de l'efficacité de la stratégie qui consiste à utiliser des modèles.

Il ne s'agit pas de nier que quelques théories philosophiques des modèles mathématiques ou théoriques ont été proposées ; néanmoins elles ne rendent pas compte de la totalité des aspects de cette stratégie de représentation. Afin de déterminer à quelles questions une telle théorie philosophique des modèles mathématiques ou théoriques doit répondre, je présenterai d'abord deux conceptions contemporaines des modèles qui rendent compte d'aspects

1. Voir par exemple A. Morton, « Mathematical Models : Questions of Trustworthiness », *British Journal for the Philosophy of Science*, n° 44, 1993, p. 659-674 ; H. Lind, « A Note on Fundamental Theory and Idealizations in Economics and Physics », *British Journal for the Philosophy of Science*, n° 44, p. 493-503; N. Cartwright, Exposé au Congrés de la Philosophy of Science Association, Cleveland, 1996.

Cahiers de Philosophie de l'Université de Caen, 31-32 [cédérom], 1997-1998.

complémentaires de cette notion, celle de N. Cartwright et R. Giere d'une part, et celle de B. van Fraassen d'autre part. Je montrerai qu'aucune de ces conceptions ne répond aux questions suivantes : pourquoi est-il efficace d'utiliser des modèles dans la pratique scientifique ? Pourquoi sont-ils des représentations scientifiques fécondes ? Je proposerai enfin quelques éléments allant dans le sens d'une analyse philosophique unifiée de la notion de modèle.

Terminologie

Le terme « modèle » renvoie à des représentations de natures assez diverses. De nombreux auteurs ont constaté cette polysémie, et certains, comme M. Black[2], ont tenté de produire une analyse unifiée de cette diversité de représentations, qui repose sur une comparaison entre l'activité scientifique de construction de modèles et l'activité linguistique de production de métaphores. La question à laquelle doit répondre toute analyse de la notion de modèle est la suivante : comment caractériser la relation de *ressemblance* qui est dite exister entre le modèle et l'original ? Black considère que cette relation de ressemblance est elle-même semblable à celle qui existe dans le langage entre une idée ou un concept et son expression métaphorique.

L'analyse que je propose dans ce texte se différencie de celle de Black sous deux aspects : d'une part, je m'intéresserai à une notion plus restreinte de modèle, et d'autre part, je montrerai que l'analogie linguistique n'est pas appropriée. Ainsi, contrairement à Black, je ne chercherai pas à produire une typologie raisonnée de tous les usages de ce terme et me restreindrai aux modèles utilisés en physique mathématique. Leur principale caractéristique est que leurs éléments essentiels sont des équations mathématiques accompagnées de leurs solutions. À titre de premiers exemples, je citerai, à la suite de Cartwright, les différents types d'opérateurs hamiltoniens utilisés en mécanique quantique, ou encore l'oscillateur harmonique, en ce que cet objet physico-mathématique est utilisé dans la représentation d'un grand nombre de phénomènes très différents – l'oscillation d'un poids suspendu à un ressort, les oscillations de certains circuits

2. M. Black, « Models and Archetypes », in *Models and Metaphors*, Ithaca, Cornell University Press, 1962.

électriques, ou encore d'autres phénomènes plus complexes ayant lieu dans les lasers. Outre des exemples de ce type, je considérerai un usage à première vue différent du mot « modèle », celui apparaisant dans la phrase : « l'espace de Hilbert est un modèle de la mécanique quantique. » Les premiers exemples correspondent à la conception de Cartwright et Giere ; le second à celle de van Fraassen. Mon but est de montrer qu'il est légitime et fécond de tenter de produire une analyse unifiée de ces deux types d'exemples. Les modèles théoriques ou mathématiques peuvent être décrits ou bien comme des ensembles d'équations accompagnées de leurs solutions ou bien comme des objets plus abstraits, comme les espaces de Hilbert, qui permettent de produire des types d'équations. Ils constituent en quelque sorte les briques élémentaires à partir desquelles les étudiants en physique, c'est-à-dire les physiciens de demain, construisent leur savoir en physique théorique. Les modèles théoriques ou mathématiques ainsi transmis par l'enseignement sont en effet les outils grâce auxquels les physiciens apprennent à représenter certains types de situations déjà connues, et au-delà de cet usage didactique, les outils à partir desquels ils représentent des situations nouvelles. Ils sont donc, de façon très générale, des représentations complexes – où le formalisme mathématique joue un rôle déterminant – dont certaines caractéristiques sont bien connues, et qui peuvent être combinées à d'autres du même type afin de former de nouvelles représentations. Une caractéristique importante de ces représentations est qu'elles ne sont *pas* des représentations de nature linguistique. Les modèles ne sont en effet pas des *descriptions* de situations ou de types de situations du monde réel constituées par un ensemble d'énoncés, car de nombreux éléments non linguistiques – pictoriaux ou purement mathématiques – entrent dans leur constitution.

Deux conceptions des modèles mathématiques

Les modèles comme fictions

Cartwright, dans certains articles de *How the Laws of Physics Lie*[3], développe une analyse des modèles théoriques ou mathématiques

3. N. Cartwright, *How the Laws of Physics Lie*, New York, Oxford University Press, 1983.

utilisés en physique qui les assimilent à des « fictions »[4], ou encore à de « pures constructions mentales »[5]. Selon elle, ce que ces représentations partiellement mathématiques représentent n'existe pas dans le monde réel.

Un premier argument en faveur de cette analyse provient de l'examen de la façon dont on « fait de la mécanique quantique » en utilisant des modèles construits à partir de certains opérateurs hamiltoniens bien connus. Face à une situation physique réelle, par exemple l'émission d'un faisceau laser, on commence selon Cartwright par en proposer une « description non préparée »[6], qui consiste en la donnée de toute l'information disponible à propos de cette situation. Dans cette première description, il n'est pas nécessaire de s'interdire d'utiliser certains concepts de la théorie choisie pour rendre compte du phénomène en question : le caractère « non préparé » de la description se rapporte au fait que sa formulation ne doit pas dépendre des contraintes que les mathématiques imposent sur la structure des *inputs*[7] possibles des équations. Ainsi, on décrira l'émission d'un faisceau laser en mentionnant par exemple la composition du mélange d'atomes à l'état gazeux, dont l'excitation est à l'origine de l'émission, et la fréquence du rayonnement, mais on ne se préoccupera pas des contraintes que la structure de l'espace de Hilbert augmentée des axiomes de la mécanique quantique impose sur la représentation des interactions entre les atomes excités.

La seconde étape du traitement théorique de la situation réelle est l'élaboration d'une « description préparée »[8], c'est-à-dire telle qu'elle puisse être utilisée dans la mise en œuvre des équations de la théorie. Dans cette « description préparée » apparaissent également les conditions aux limites pertinentes pour la résolution des équations en question, de même qu'une spécification des procédures d'approximation disponibles. En effet, une situation physique concrète n'est jamais représentée par une équation pure et simple :

---

4. *Ibid.*, « The Simulacrum Account of Explanation », p. 153 : « un modèle est une œuvre de fiction. »
5. *Ibid.*, « Fitting Facts to Equations », p. 138 : « [...] "l'atome d'hydrogène" est une pure construction mentale. »
6. *Ibid.*, p. 133.
7. Le traitement théorique d'une situation réelle consiste d'abord en la détermination de la valeur de certaines grandeurs que l'on fait ensuite « entrer » dans les équations offertes par la théorie.
8. *How the Laws of Physics Lie*, p. 133.

une telle représentation mathématique n'est intéressante que si l'on peut calculer la *solution* de l'équation en question, et pour ce faire il est nécessaire de connaître les conditions aux limites du domaine de validité de l'équation de même que la façon dont on peut donner des valeurs aux différents paramètres qui entrent en jeu. Le plus souvent, l'assignation de valeurs aux paramètres nécessite l'utilisation de procédures d'approximation. La « description préparée » n'a pas pour but d'être fidèle aux faits, mais de rendre possible le traitement mathématique de ces faits par l'intermédiaire des équations offertes par la théorie. Ce traitement mathématique, c'est-à-dire la résolution des équations auxquelles a mené la « description préparée », est précisément ce à quoi sont utiles les différents modèles appris par les étudiants en physique en même temps que la théorie, qui fournissent les solutions des ensembles d'équations et de conditions particulières représentant la situation réelle. En mécanique quantique, un type de modèle couramment employé est fourni par l'ensemble des différents opérateurs hamiltoniens adaptés à différentes classes de « descriptions préparées ».

Ce premier argument de Cartwright en faveur de sa thèse selon laquelle les modèles utilisés en physique mathématique sont des fictions peut sembler n'être qu'un argument d'autorité pour qui n'a pas une connaissance concrète de la façon dont les physiciens travaillent. Dans l'introduction de *How the Laws of Physics Lie*, Cartwright donne cependant un argument de nature différente, qui peut satisfaire tout un chacun. Cet argument repose sur le fait qu'en physique, il est courant de donner différents traitements théoriques d'une même situation réelle. Les physiciens construisent en effet différents modèles correspondant aux différents buts qu'ils poursuivent. Cette diversité de modèles représentant une même situation réelle est due au fait qu'un modèle n'est en général fiable que dans certaines limites, et qu'il est d'autre part toujours construit en vue d'un but précis[9]. Cartwright affirme qu'il est erroné de se demander lequel parmi ces différents modèles est « le bon ». Un modèle donné permet de traiter tels ou tels aspects de la situation en question ; un autre modèle permet de traiter d'autres aspects. Il n'y a pas de modèle unique d'une situation réelle. Par conséquent, les modèles théoriques ou mathématiques ne peuvent être dits représenter fidèlement

9. A. Morton, *op. cit.*, considère cette *purpose relativity* comme une propriété essentielle des modèles théoriques ou mathématiques.

les situations réelles ; ils ne représentent que des situations fictionnelles[10].

Cartwright donne un troisième argument en faveur de sa thèse. Il repose sur une analyse de la façon dont les physiciens parlent de leurs modèles dans le langage naturel. Il est possible de décrire certains modèles théoriques ou mathématiques dans le langage naturel en utilisant l'opérateur « comme si » : on fait figurer à sa gauche une caractérisation générale de la situation réelle que l'on cherche à représenter, et à sa droite une caractérisation générale de certains traits de la représentation choisie[11]. Ainsi, on peut dire qu'un échantillon de gaz dans un réservoir, à température et pression modérées, se comporte *comme s'*il était constitué de molécules sphériques qui ne sont en interaction que lors des collisions. Selon Cartwright, la proposition qui est à la droite de l'opérateur « comme si » n'engage en aucune façon le locuteur sur la question de l'existence dans le monde réel de molécules sphériques n'interagissant que lors de collisions. De la même façon, lorsque l'on dit que les molécules radiantes dans un laser à ammonium se comportent comme si elles étaient des oscillateurs électriques classiques[12], personne n'a l'idée de se demander de quelle distance sont espacés les oscillateurs dans la cavité maser, ce qui montre, selon Cartwright, que ces oscillateurs électriques classiques sont des constructions purement théoriques, d'indubitables fictions : dans le monde réel, il n'y a aucun oscillateur, classique ou non, dans la cavité maser.

De façon générale, Cartwright donne peu de détails à propos de sa thèse selon laquelle les modèles utilisés en physique théorique sont des fictions. Elle donne en réalité des arguments en faveur d'une thèse plus faible, celle selon laquelle ces modèles *ne représentent pas* des situations réelles. Ces arguments, tirés d'une analyse de la pratique et de l'enseignement scientifiques, laissent peu de doute sur la plausibilité de cette thèse. Cependant, la thèse plus forte selon laquelle les modèles représentent des situations *fictives* nécessite davantage de précision sur la nature de ces situations fictives

10. Il faut en effet savoir que les différents modèles d'une même situation sont parfois incompatibles les uns avec les autres. Il serait erroné de dire qu'ils représentent quelque chose comme des situations partielles, dont la combinaison approcherait la situation réelle complète. Les situations qu'ils représentent sont complètes, et incompatibles les unes avec les autres.
11. N. Cartwright, *How the Laws of Physics Lie*, p. 128-131.
12. *Ibid.*, p. 130.

et surtout sur la façon dont elles sont en relation avec les situations réelles étudiées. Cartwright soutient une thèse à première vue paradoxale, celle selon laquelle les modèles théoriques ou mathématiques représentent des situations qui n'existent pas, mais permettent malgré cela de produire de l'information utile sur des situations réelles. Mais elle ne propose aucune théorie permettant de résoudre ce paradoxe.

Les modèles comme espaces abstraits

Dans ce qui peut être considéré comme la «nouvelle orthodoxie»[13] en philosophie des sciences, les théories scientifiques sont analysées comme étant des ensembles de modèles, dans un sens qui est dérivé de celui utilisé en théorie des modèles. Dans ce dernier domaine, un modèle est un ensemble d'objets doté de structures qui rend vrai un ensemble de formules. Une présentation claire de ce qu'est un modèle selon l'approche sémantique des théories scientifiques, ou plus exactement selon la version modale de cette approche[14], peut être trouvée dans l'article « On the Extension of Beth's Semantics of Physical Theories »[15] de van Fraassen. Le rôle des modèles est de représenter le comportement de certains types de systèmes physiques. Un modèle selon cette analyse est un *espace* abstrait, l'espace des phases du type de système physique en question, dont les éléments représentent les *états possibles*[16] d'un système. Les grandeurs physiques mesurables caractérisant le système physique sont exprimées par des énoncés élémentaires de la forme $U\ (g, r, t)$, qui se lit : « la grandeur physique g a la valeur r à l'instant t.» Un tel énoncé U est vrai ou faux selon l'état dans lequel le système se trouve au temps t. Les grandeurs physiques mesurables sont également en

13. À l'orthodoxie (*received view*) issue du positivisme logique en a succédé une nouvelle (*a new orthodoxy*) : cf. R. Hughes, *The Structure and Interpretation of Quantum Mechanics*, Cambridge, Harvard University Press, 1989, p. 79.
14. L'autre version, développée en particulier par P. Suppes, utilise la théorie des ensembles plutôt que la notion d'espace des phases.
15. B. van Fraassen, « On the Extension of Beth's Semantics of Physical Theories », *Philosophy of Science*, n° 37, 1970, p. 325-339. Van Fraassen utilise également cette notion de modèle dans ses écrits plus récents : *The Scientific Image*, New York, Oxford University Press, 1980 et *Laws and Symmetry*, New York, Oxford University Press, 1985 ; trad. fr., *Lois et Symétrie*, Paris, Vrin, 1994.
16. C'est pourquoi cette version de l'approche sémantique des théories physiques est dite « modale ».

relation avec l'espace des phases du système : pour tout énoncé U il existe une région $h\ (U)$ de l'espace des phases telle que U est vrai si et seulement si l'état réel du système est représenté par un élément de $h\ (U)$. La fonction h met en relation le modèle mathématique et les résultats des mesures. La structure mathématique, et plus particulièrement topologique de l'espace des phases est ce qui permet de définir les ensembles $\{h\ (U) : U$ est un énoncé élémentaire$\}$. Ces ensembles sont les éléments du modèle que l'on peut associer directement aux grandeurs mesurables pertinentes pour le système étudié.

La formulation rigoureuse de cette conception des modèles fait intervenir les éléments suivants : pour un type donné de système physique, la théorie pertinente spécifie un ensemble E d'énoncés élémentaires, un espace des phases H, et une fonction de satisfaction h, c'est-à-dire un triplet $L = < E, H, h >$. Un *modèle* pour L est un couple $M = < loc, X >$ où X représente un système du type en question, et loc une fonction attribuant à X une région de H. Dans ces conditions, un énoncé élémentaire U est vrai dans $M = < loc, X >$ si et seulement si $loc\ (X)$ Œ $h\ (U)$.

Cette conception des modèles mathématiques est extrêmement satisfaisante du point de vue sémantique, car elle permet de définir de façon rigoureuse la notion de conditions de vérité pour les énoncés de la théorie qui concernent les grandeurs physiques mesurables. Cependant, cette rigueur formelle semble être obtenue au prix d'une abstraction qui fait de cette conception des modèles mathématiques une analyse peu plausible de la pratique scientifique réelle, où le terme de « modèle » est le plus souvent associé non pas à un espace abstrait mais aux ensembles d'équations accompagnées de leurs solutions décrits dans la section précédente. La conception de van Fraassen possède donc toute la rigueur souhaitable du point de vue de l'analyse philosophique, mais semble pécher par sa grande abstraction. Elle ne dit rien sur la façon dont les scientifiques utilisent ces modèles mathématiques pour produire de nouveaux résultats, de nouvelles prédictions. De plus, elle ne dit rien de la nature exacte de la relation de représentation qui est supposée exister entre l'espace des phases et les situations physiques réelles. En effet, la fonction h met en relation des grandeurs mesurables avec des régions de l'espace des phases, mais que peut-on dire des caractéristiques de l'espace des phases qui ne sont pas directement associées à des grandeurs mesurables ? Ne sont-elles que des « surplus » théoriques sans contenu représentationnel ? La relation de représentation qui est dite exister entre un espace de Hilbert et un faisceau laser est trop mystérieuse pour être ainsi laissée de côté.

Deux remarques doivent être faites à ce sujet. Premièrement, il est possible de donner davantage de précisions sur la relation entre les états réels d'un système et leur représentation dans un espace des phases ; cependant ces considérations n'ôtent rien au mystère de l'efficacité de cette représentation extrêmement abstraite. Deuxièmement, pour comprendre ce que signifie la proposition : « le modèle représente le comportement d'un certain type de système physique », il est nécessaire d'analyser plus en détail l'élément X du modèle, qui est censé représenter précisément le système physique étudié.

i) Examinons tout d'abord le premier point. Une analyse précise de la notion d'espace des phases peut être trouvée dans le livre de H. Krips, *The Metaphysics of Quantum Theory*[17]. La notion d'état d'un système est relative à la théorie utilisée. En mécanique classique, l'état d'une particule ponctuelle S au temps t est donné par la conjonction de ses propriétés fondamentales, masse, vitesse, et position à t. L'espace des phases de S est l'ensemble des représentations de tous les états possibles de S, c'est-à-dire l'ensemble de toutes les combinaisons possibles des valeurs des six quantités fondamentales que sont les coordonnées de la position et de la vitesse, si l'on suppose la masse constante. La notion d'espace des états possibles semble triviale dans le contexte de la mécanique classique : en effet, l'ensemble des représentations des états possibles n'est que l'agglomération des espaces des valeurs possibles de chacune des propriétés physiques pertinentes. En revanche, en mécanique quantique, la relation entre l'assignation d'un état à un système et les valeurs prises par les quantités physiques mesurables n'est pas aussi simple. En mécanique classique, chacun des n nombres d'un n-uplet représentant l'état d'un système est la valeur d'une quantité physique *distincte*, mais cela n'est pas le cas en mécanique quantique. Alors que les états d'un système en mécanique classique sont de simples constructions logiques[18] formées à partir de propriétés données indépendamment de ces constructions, en mécanique quantique le concept d'état est considéré comme primitif et est relié aux valeurs

17. H. Krips, *The Metaphysics of Quantum Theory*, 1987, chap. 2, sect. 1.
18. Des conjonctions.

prises par les quantités physiques mesurables par les lois de la théorie. Ces considérations rendent encore plus mystérieuse la relation de représentation entre l'espace des phases, qui est un des éléments du modèle mathématique, et les situations réelles.

ii) Dire que l'élément X du modèle représente le système physique étudié requiert encore une fois quelques précisions sur cette première relation de représentation. Cet objet X est en fait une description du système qui est vraisemblablement du type des « descriptions préparées » analysées par Cartwright. Dans cette représentation ont été sélectionnées les propriétés essentielles du *type* de système en question. Cependant, van Fraassen ne dit rien sur cette première représentation. Même si son analyse des modèles comme espaces abstraits est satisfaisante du point de vue sémantique, elle demande à être complétée.

Les exigences d'une théorie philosophique des modèles mathématiques

Les deux conceptions des modèles théoriques ou mathématiques présentées ci-dessus fournissent chacune des éléments intéressants sur certains aspects de la pratique scientifique, mais elles ne permettent pas une approche unifiée de la stratégie consistant à construire des modèles théoriques ou mathématiques en physique. Elles portent sur des aspects différents de l'activité des physiciens, l'une insistant sur leur formation et décrivant la façon dont ils abordent une situation nouvelle, alors que l'autre produit une reconstruction théorique de la sémantique de leurs outils formels. Elles peuvent éventuellement être envisagées comme étant complémentaires l'une de l'autre, si l'on conçoit l'élément X des modèles mathématiques analysés par van Fraassen comme résultant d'une « description préparée » au sens de Cartwright. Cependant, ni l'une ni l'autre de ces conceptions ne répond à la question fondamentale de l'efficacité des modèles. Elles ne fournissent pas une analyse assez détaillée de la relation de représentation existant entre le modèle et la situation réelle qu'il permet de traiter théoriquement, et ne permettent donc pas d'expliquer la fécondité de cette stratégie de représentation. Elles rendent même cette fécondité mystérieuse ou paradoxale. En effet, l'analyse de Cartwright fait des modèles des représentations de situations qui n'existent pas : comment dans ce cas comprendre qu'ils permettent aux physiciens de produire de l'information nouvelle fiable sur les situations réelles ? D'autre part, l'analyse de van Fraassen fait appel à des notions formelles si abstraites qu'elles laissent également la relation même de représentation dans l'obscurité, se contentant d'exhiber ses caractéristiques sémantiques sans expliquer pourquoi exactement elle autorise de nouveaux développements de la connaissance scientifique, sous forme de prédictions et de nouvelles perspectives expérimentales.

Dans les années 1950, à la suite du positivisme logique, il n'était pas rare d'analyser les modèles comme des *intermédiaires* entre les théories et le monde réel dont les théories étaient supposées décrire la structure. Les formules constituant les théories étaient supposées être vraies, mais leur application aux situations concrètes n'allait pas toujours sans poser d'insurmontables problèmes mathématiques. Les modèles, en tant que constructions intermédiaires, étaient dits être littéralement faux en ce qu'ils altéraient les formules originales de la théorie afin de permettre son application. Le paradoxe des modèles, le mystère de leur efficacité dans le traitement des situations concrètes, pouvait être formulé de la façon suivante : comment est-il possible que des prédictions vraies puissent être dérivées de représentations fausses ? L'analyse linguistique des représentations scientifiques rendait cette question insoluble ; les analyses plus récentes, comme celles de la première section, évitent de faire référence à la vérité ou à la fausseté des modèles en en faisant des entités partiellement non linguistiques. On pourrait donc penser que les éléments nouveaux qu'elles apportent permettent de dissoudre ce paradoxe. Or, il semble bien qu'elles ne font que déplacer la question fondamentale de l'efficacité des modèles en leur donnant d'autres noms, fictions ou objets formels complexes, sans pour autant proposer aucune voie permettant de commencer à répondre à cette question.

Les conceptions des modèles présentées ci-dessus ne proposent aucun moyen d'analyser de façon entièrement satisfaisante le *contenu* des représentations scientifiques que sont les modèles, c'est-à-dire leurs conditions d'adéquation ou d'application. Les modèles comme fictions sont supposés s'appliquer à des situations qui ne peuvent être réalisées, mais qu'est-ce qu'une situation qui ne peut exister ? Si les modèles au sens de structures mathématiques abstraites doivent être considérés comme des représentations adéquates *dans leur ensemble*, que faire des éléments du modèle qui ne sont pas directement associés à des grandeurs mesurables ? Le défaut des conceptions présentées ci-dessus est qu'elles ne spécifient pas la nature exacte du lien informationnel entre les fictions ou les éléments d'un espace des phases et les situations concrètes à propos desquelles les modèles permettent cependant de produire des connaissances nouvelles. Comme le dit Cartwright,

> en physique, il est important que les modèles que nous construisons nous permettent de tirer les bonnes conclusions sur le comportement des phénomènes et sur leurs causes. Cependant, il n'est pas essentiel que les modèles décrivent avec précision tout ce qui se produit[19].

Mais que représentent-ils alors, et quelle est la raison pour laquelle nous pouvons tirer des conclusions correctes de ces représentations incomplètes ?

Dans ces circonstances, la question à laquelle une analyse philosophique des modèles théoriques ou mathématiques doit répondre est donc la suivante : sur quels principes le succès de cette stratégie représentative est-il fondé ? L'objet de cette analyse est le contenu des modèles en tant que représentations. Les analyses disponibles ne nous permettent pas de comprendre de façon entièrement satisfaisante la nature de ce contenu représentationnel. Elles font appel aux notions d'équations mathématiques ou de structure mathématique de l'espace des phases d'un système, notions qui ne nous éclairent pas suffisamment sur des phrases comme : « un modèle est une simplification qui *conserve l'essence* d'une situation. » Pourtant de telles phrases semblent décrire de façon correcte l'usage des modèles mathématiques ou théoriques. Un modèle peut en effet être dit efficace pour autant qu'il représente ce qu'il y a d'essentiel à une situation donnée, en laissant de côté des aspects secondaires. Cependant, il n'est pas aisé de donner un sens précis à ces expressions.

On a longtemps cherché à analyser le contenu représentationnel d'un modèle comme le produit d'une inférence par analogie. Le contenu représentationnel d'un modèle est dans ce cas considéré comme entretenant une relation d'analogie avec la situation réelle. Cependant, la notion d'analogie reste elle-même assez mystérieuse. En outre, les analyses proposées dans cette direction ont pour but de *justifier* l'usage des modèles en montrant que les inférences conduites

19. *How the Laws of Physics Lie*, p. 140.

à partir de certaines de leurs caractéristiques, et vers des éléments des situations réelles sont rationnelles. Les efforts développés dans le sens d'une logique de l'analogie[20] laissent en fait dans l'ombre la nature même du *contenu* de la représentation supposée entretenir une relation d'analogie avec la situation réelle. La question de l'efficacité de la stratégie constituant à travailler à partir de modèles mathématiques ne peut être résolue par la seule analyse des procédures inférentielles qui partent des modèles pour aboutir à des conclusions sur les situations réelles : il est nécessaire d'analyser d'abord le contenu représentationnel des modèles eux-mêmes. Pour ce faire, il faut trouver l'outil d'analyse adéquat pour rendre compte de la relation de *ressemblance* qui existe entre le modèle et les situations réelles ou les types de situations réelles. Van Fraassen, dans *The Scientific Image*[21], considère que la relation qui existe entre les modèles et les situations réelles qu'ils représentent est un isomorphisme. Giere a critiqué cette proposition en disant qu'aucun des modèles utilisés en mécanique classique, par exemple, ne pouvait être dit entretenir une relation aussi précise que celle d'isomorphisme avec les situations réelles qu'ils représentent [22]. Il considère que cette relation est correctement décrite par la notion de ressemblance (*similarity*), qu'il faut préciser en indiquant à chaque fois sous quels aspects le modèle ressemble à la situation réelle. Dans ce qui suit, je propose d'introduire la notion de *situation possible* comme l'outil d'analyse qui permet d'analyser cette relation, en montrant comment elle permet de mieux comprendre la notion d'idéalisation.

De quoi est fait un modèle ?

L'idée d'un réservoir d'idéalisations

La façon dont Cartwright et Giere rendent compte des procédés par lesquels les physiciens acquièrent la culture nécessaire à la pratique de leur science indique qu'un certain nombre de modèles

---

20. Voir en particulier M. Hesse, *Models and Analogies in Science*, Notre-Dame, University of Notre-Dame Press, 1966, et Achinstein, *The Nature of Explanation*, New York, Oxford University Press, 1983.
21. B. van Fraassen, *The Scientific Image*, p. 43.
22. R. Giere, *Explaining Science. A Cognitive Approach*, Chicago, The University of Chicago Press, 1988, p. 80-81.

mathématiques ou théoriques utilisés en physique font en quelque sorte partie d'un réservoir de représentations toutes faites, où chacun viendrait puiser selon les besoins de la situation concrète dont il cherche à rendre compte théoriquement. Dans ce réservoir, on trouve les opérateurs hamiltoniens de la mécanique quantique déjà évoqués, mais aussi l'oscillateur linéaire, sous ses différentes formes, oscillateur harmonique, oscillateur forcé, pendule[23], etc. La caractéristique principale de ces objets physico-mathématiques est qu'ils sont obtenus par le processus couramment appelé « idéalisation ». En effet, les équations qui les constituent exigent par exemple une force de rappel *linéaire* pour l'oscillateur harmonique, des angles d'oscillations *petits* pour le pendule, circonstances qui ne peuvent être considérées représenter les situations réelles qu'au prix d'un effort d'imagination assez important, et grâce à une certaine familiarité avec les us et coutumes des physiciens. Dire que le gaz dans son réservoir est maintenu à pression et température constantes, c'est-à-dire le considérer comme un système isolé, c'est oublier volontairement qu'il est nécessairement soumis à un grand nombre d'interactions avec son environnement, malgré toutes les précautions des expérimentateurs. Dire que le plan incliné est parfaitement lisse de sorte que les corps glissent sur lui sans frottements, c'est également négliger volontairement les nombreuses et inévitables aspérités de la surface en question. Les modèles théoriques ou mathématiques sont élaborés à partir de tels oublis volontaires ; on peut dire que c'est ce qui fait leur caractère fictionnel, à condition que l'on ait une théorie de la fiction en ce sens. La théorie manquante est celle qui nous dit en quoi il est intéressant de faire des objets physico-mathématiques résultant des procédures d'idéalisation des objets représentant des fictions.

Avant d'envisager si et comment une telle théorie est possible, il est nécessaire de rendre compte de façon plus précise de ce que sont ces procédures d'idéalisation. Il faut tout d'abord remarquer que dans de nombreux cas, une représentation idéalisée n'est utile que si on sait exactement comment la corriger, la dès-idéaliser, c'est-à-dire lui ajouter les caractères que l'on a volontairement négligés, en général en raison des exigences du traitement mathématique. Par exemple, on sait calculer la vitesse de la chute des corps dans le vide, ce qui n'est pas directement pertinent dans des cas pratiques – imaginons la

23. Cet exemple a été développé par R. Giere.

chute d'un satellite. Il est ici intéressant de connaître au moins une façon de corriger cette idéalisation. L'idéalisation consiste à considérer le milieu dans lequel les corps d'une certaine situation réelle tombent comme si peu dense qu'on peut sans dommage oublier sa densité. Une correction possible est de représenter les frottements causés par ce milieu par une force proportionnelle à la vitesse des corps et dirigée en sens opposé.

L'analyse de ce processus de dès-idéalisation, c'est-à-dire du passage du traitement de cas idéalisés au traitement de cas envisagés comme étant plus réalistes, permet de préciser un aspect important concernant la nature de l'idéalisation en physique. Il n'est pas rare de considérer que le modèle du cas plus réaliste est obtenu en *complétant* le modèle correspondant au cas idéalisé, par l'introduction de nouveaux paramètres dans les équations par exemple. Cette opération semble aller de soi dans les exemples évoqués ci-dessus : on ajoute une force de frottement dans l'analyse de la chute des corps ; on ajoute un facteur rendant compte des interactions entre les particules lorsque l'on veut passer du modèle du gaz parfait aux modèles des gaz dits réels. La nature de ces ajouts semble être dictée par les situations physiques réelles elles-mêmes : il semble par exemple naturel de représenter les frottements par une force proportionnelle à la vitesse de chute des corps et dirigée dans le sens opposé. Une façon classique de rendre compte de cette procédure de dès-idéalisation est d'envisager le cas idéal comme le cas pur, et les cas plus réalistes, constitués par l'ajout de facteurs de correction au cas idéal, comme des cas « dégénérés ».

Cette idée d'une hiérarchie entre les cas représentés par une équation mathématique simple et ceux représentés par une équation « corrigée » constitue une analyse possible des procédures d'idéalisation et de dès-idéalisation. L'idéalisation, selon cette analyse de tendance platonicienne, correspond à la représentation de l'essence, de la forme intelligible d'un ensemble de situations réelles impures, qui sont, elles, représentées à partir du cas pur, par l'ajout de facteurs de correction correspondant à l'altération du cas pur lorsqu'il est réalisé dans la matière. Le traitement du cas pur constitue alors une norme pour le traitement des cas plus réalistes. Il faut remarquer que cette analyse, inaugurée par Galilée[24], fait de l'idéalisation

24. Cf. E. McMullin, « Galilean Idealization », *Studies in the History and Philosophy of Science*, n° 16, section I, « Mathematical Idealization », p. 247-273.

et de la procédure inverse, la dés-idéalisation, des procédures de représentation où n'intervient en principe aucune décision de la part du scientifique : le traitement théorique des phénomènes physiques est envisagé non comme une *construction* de modèles à partir d'outils mathématiques qui ont fait la preuve de leur capacité à faciliter un tel traitement, mais comme l'expression par les humains de leur essence dans le langage dans lequel ils ont été créés par Dieu, à savoir le langage mathématique. L'activité scientifique est envisagée ici comme ayant pour but la réécriture d'un livre déjà écrit ; et elle ne présuppose aucune décision quant à l'adéquation du mode de représentation aux phénomènes. Cette question ne se pose même pas.

Cette conception des procédures d'idéalisation et de dés-idéalisation, qui a joué un rôle très important dans l'histoire de la physique, repose en fait sur de nombreuses hypothèses implicites. Cartwright montre que ces procédures, qui semblent dictées par les phénomènes eux-mêmes, exigent en réalité l'acceptation préalable de nombreuses hypothèses. Cette acceptation est une affaire de *choix* ; elle dépend de façon cruciale de l'histoire contingente de l'élaboration de nos formalismes mathématiques. Reprenons l'exemple de la loi de Snell (ou de Descartes) développé par Cartwright dans l'article « The Truth Does Not Explain Much »[25]. La loi de Descartes est la suivante :

> si est θ_i l'angle d'incidence d'un rayon lumineux venant d'un milieu isotrope m_1 et entrant dans un milieu isotrope m_2, et si n_1 et n_2 sont les indices de réfraction respectifs des milieux m_1 et m_2, alors il existe un rayon réfracté qui est dans le plan d'incidence, et dont l'angle θ_r par rapport à la direction normale à l'interface entre les deux milieux est donné par la relation suivante : $\sin\theta_i / \sin\theta_r = n_2 / n_1$.

Cartwright montre que lorsque l'on passe du traitement du passage de la lumière dans les milieux isotropes au traitement du passage de la lumière dans les milieux faiblement anisotropes, on considère les modèles représentant les milieux isotropes comme des idéalisations pour le traitement des milieux faiblement anisotropes : on traite les milieux faiblement anisotropes comme des milieux isotropes « corrigés ». En outre, on *suppose* qu'on peut comprendre ce qui se passe dans les milieux faiblement anisotropes en utilisant la

25. *How The Laws of Physics Lie*, p. 44-53 et plus particulièrement p. 46-50.

même représentation qui est utilisée pour comprendre ce qui se passe dans les milieux isotropes, dont l'élément central est la loi de Descartes. Cette hypothèse est délicate : nous *savons* que l'application de la loi de Descartes donne de bons résultats dans le traitement des milieux isotropes, et nous *décidons* que l'application de la loi de Descartes corrigée est la meilleure façon de traiter les milieux faiblement anisotropes. Cette décision est dictée par le fait qu'il est facile de « corriger » mathématiquement la loi de Descartes pour rendre compte de la phénoménologie du passage de la lumière dans les milieux faiblement anisotropes, mais non par « l'essence » des phénomènes en question.

Le réservoir d'idéalisations à partir duquel les physiciens construisent leurs modèles théoriques ou mathématiques est constitué par ces différents types de stratégies de représentation qui sont en large part dictées par les possibilités offertes par les formalismes mathématiques disponibles à une époque donnée. Ces stratégies requièrent des décisions ; elles reposent sur des conventions dont on perd le souvenir tellement elles sont enracinées dans la pratique des physiciens.

La notion d'idéalisation

La notion d'idéalisation est réputée difficile en philosophie des sciences. On la rapproche en effet souvent de celle de simplicité, qui est elle-même l'objet de nombreux débats. Or, les idéalisations sont des représentations ; la question à poser à leur propos est de savoir quel type d'information elles permettent de transmettre. Le paradoxe du contenu représentationnel des idéalisations est que ce dernier fournit à la fois de l'information utile sur le monde réel, et de l'information absolument non-fiable. Cette information n'est pas seulement partielle ; elle induit en erreur. Le monde n'est pas tel que les idéalisations le représentent ; on ne peut pas leur faire confiance directement pour en découvrir les régularités.

Que représentent les idéalisations ? Quels sont les originaux de ces représentations ? On peut analyser ce problème à l'aide des exemples suivants :

– La loi de la chute des corps de Galilée *serait* vraie *si* l'air était un milieu sans densité.

– La loi des gaz parfait *serait* vraie *si* les molécules des gaz n'interagissaient que lors des collisions.

Ces énoncés contrefactuels conduisent à l'idée selon laquelle les idéalisations représentent des situations possibles, mais qui ne sont jamais réalisées dans notre monde. Ces situations possibles sont cependant liées à celles qui sont réalisées dans notre monde par certaines ressemblances. Comment entendre la notion de possibilité qui est employée ici ? La difficulté à laquelle on se heurte consiste en ce que la notion de possibilité physique ne peut être analysée de façon rigoureuse que dans le cadre d'une théorie physique ou d'un ensemble de théories physiques donnée(s) ; or les théories physiques actuelles gardent la trace des procédures d'idéalisation qu'on a utilisées pour les exprimer. Pour exprimer la loi d'inertie par exemple, on a fait *comme s*'il existait des espaces vides, sans champ. Pour exprimer la loi de Coulomb, on a fait *comme si* les corps chargés électriquement n'entraient pas en interaction gravitationnelle. Par conséquent, la notion de possibilité utilisée ici demande une analyse minutieuse – réservée pour de futurs travaux –, qui permettent d'éviter le danger de la circularité.

Pour finir, je voudrais indiquer quelques pistes concernant la question de la nature des idéalisations. Les idéalisations, qui reposent sur l'oubli volontaire de certaines caractéristiques des situations réelles, conduisent à l'expression de lois communément appelées lois *ceteris paribus*. Par exemple, on dira que s'il n'y a pas de frottements, toutes choses étant égales par ailleurs, alors les corps tombent selon la loi de Galilée. On peut paraphraser cela de la façon suivante : la loi de Galilée est vraie dans un monde où il n'y a pas de frottements, mais où toutes les autres circonstances sont semblables à celles qui sont le cas dans notre monde. Cette analyse est-elle éclairante ? Cartwright se plaint que nous n'ayons aucune théorie philosophique de la façon dont les énoncés contrefactuels[26], qui peuvent être compris comme référant à des mondes possibles, se rapportent aux cas réels. Elle affirme que, dans un grand nombre de cas, nous pensons que certains énoncés contrefactuels sont vrais, mais nous ne savons pas comment ils fonctionnent. Les énoncés contrefactuels de la science portent sur des situations qui ne sont pas des situations du monde réel – dans ce cas, pourquoi les exprimer ? En quoi consistent leur intérêt ? C'est qu'ils portent sur des situations qui sont mieux connues que les situations du monde réel.

26. *Ibid.*, p. 69.

Ces situations possibles sont mieux connues tout simplement parce qu'elles sont en partie *construites*[27].

Pour savoir comment les énoncés contrefactuels fonctionnent, pour comprendre en quel sens les situations idéalisées construites par les physiciens leur sont utiles pour l'étude du monde réel, il faut analyser les procédures, les stratégies d'idéalisation qu'ils emploient et examiner en quel sens elles aboutissent à des représentations – à des modèles – qui *ressemblent* assez au monde réel pour permettre de nouvelles découvertes, mais qui ne sont néanmoins *pas* des représentations des faits réels. Parmi les procédures classiques d'idéalisation, on trouve les opérations suivantes :

– ôter un ou plusieurs facteurs, comme les frottements par exemple,

– considérer comme symétriques des entités dont on ne sait pas si elles le sont ou non (par exemple, considérer que les molécules des gaz peuvent être représentées par des sphères),

– considérer des dépendances linéaires plutôt que des dépendances plus compliquées.

Ce dernier exemple nous montre que ces stratégies traditionnelles sont fortement contraintes par les formalismes mathématiques disponibles à une époque.

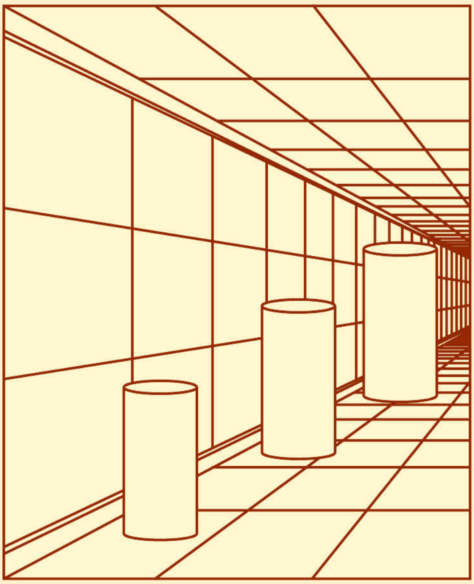
Anouk BARBEROUSSE

Université de Paris X - Nanterre

27. En partie seulement, car tout ce qui est indépendant de la construction idéalisée est supposé être semblable à ce qui est le cas dans notre monde.

Cahiers de Philosophie
de l’Université de Caen

Philosophie analytique



1997-1998 N° 31-32

Presses Universitaires de Caen