

*in Journée de l'Association française d'informatique théorique (AFIT), 19 mars 1994, Paris, n° spécial de la Lettre de l'AFIT, 1995, 25-34 (et débat, 43-45). Egalement, EATCS Bulletin (European Association of Theoretical Computing Science), July 1995.*

# Notes sur les modèles et la modélisation

Michel PATY

Les notes qui suivent n'ont aucune prétention systématique, et se proposent seulement comme des éléments de réflexion pour clarifier quelques notions, en particulier par la comparaison entre les diverses acceptions des termes de modèle et de modélisation suivant leurs domaines d'utilisation. Pour ce qui concerne l'informatique, où ma compétence se limite à celle d'un utilisateur malhabile, embarrassé et souvent perplexe, de micro-ordinateur, j'aurais aimé intégrer à ces remarques quelques réflexions suscitées par l'une ou l'autre des intéressantes interventions à la Table-ronde de la Journée de l'Association Française d'Informatique Théorique, qui m'ont permis de mieux comprendre quelques aspects épistémologiques de cette discipline. Mais le temps m'a fait défaut pour prolonger valablement ma réflexion dans ce domaine. Je voudrais, à cet égard, remercier les organisateurs de cette réunion de m'avoir donné l'occasion, en m'invitant à participer à leurs travaux, de pénétrer un peu dans un domaine dont je n'avais jusqu'alors pas dépassé le seuil, et de pressentir la richesse de ses problématiques.

## 1.

### CONCEPT ET VOCABULAIRE

Le terme de modèle est aujourd'hui très souvent employé, à tort ou à raison, comme une sorte de sésame obligé, dans des domaines très divers, y compris pour désigner des accomplissements scientifiques très élaborés. Pourtant, son introduction dans le langage scientifique est assez récente : l'un des premiers à l'avoir utilisé en physique est Boltzmann, à la fin du siècle passé, dans un sens précis qui l'associe à la notion de théorie, mais qui ne se superpose pas à cette dernière. D'autres disciplines l'ont fait intervenir vers la même époque et peut-être avant, plutôt dans le sens d'une connaissance très partielle, empirique ou pratique. Or, on le voit de nos jours utilisé - et sans doute est-ce en grande partie un effet de mode -, à tout propos, même s'agissant de connaissance théorique fondamentale, comme en physique ou en mathématiques. Il me semble que l'emploi systématique de ce terme dans les questions qui concernent la connaissance non seulement n'est

en rien justifié, noyant dans une terminologie standardisée et vague les aspects constitutifs les plus sensibles du savoir et de l'entendement, mais encore dévalorise le concept de modèle dans ce qu'il a de spécifique, dans sa richesse propre en tant que moyen de compréhension.

Dans son imprécision, le vocabulaire courant depuis un certain temps - en vogue chez les scientifiques, chez les techniciens, mais aussi dans le public, en tout cas dans les médias -, utilise indifféremment, comme s'ils étaient équivalents, les termes de *modèle*, de *représentation* et d'*image*. Il est vrai que l'on peut trouver sous ces trois mots une commune idée de rapporter ce que l'on veut désigner à quelque chose, non seulement d'immédiatement intelligible, mais encore de déjà bien connu. Cependant les modalités des intelligibilités correspondantes ne sont pas identiques, et, malgré la multiplicité de sens de chacun de ces termes, il faut, je crois, leur attacher des significations distinctes en ce qui concerne la connaissance. On peut le faire voir en prenant à titre d'exemple un même domaine du savoir, comme la physique, dont la sémantique est assez stable.

La notion et le terme de "modèle" sont utilisés en physique dans des sens variés mais cependant relativement précis et dégagés d'ambiguïtés. Il peut s'agir de *modèles mécaniques*, tel que les flux de forces de Faraday, ou les constructions qui interviennent dans les premiers travaux de Maxwell en électrodynamique. Remarquons cependant que ces auteurs n'employaient pas le terme de modèle, que nous utilisons rétrospectivement à leur propos en lui conférant le contenu correspondant, celui d'un échafaudage (ou support mécanique) permettant la formulation de lois spécifiques pour des phénomènes (ici, électromagnétiques) qui sortent à première vue du domaine de la mécanique. Le modèle, dans ce sens, serait, au fond, le support d'une induction, intermédiaire entre l'expérience des phénomènes et l'élaboration théorique. Poincaré parlait, dans un sens très voisin, non pas de modèle, lui non plus, mais d'"explication mécanique détaillée", en relativisant d'ailleurs immédiatement la portée: ce qui importe, c'est que de telles explications soient possibles, mais elles ne sont jamais uniques; et il rapportait la connaissance théorique à une explication mécanique générale, englobant toutes les explications de détail, qui n'était autre que l'expression, pour les phénomènes considérés, des lois fondamentales de la physique mathématique, à savoir le principe de moindre action de Hamilton et les lois de conservation, qui conduisent aux équations de Lagrange. Bien qu'elle sous-entende une réduction mécaniste<sup>1</sup>, la notion de modèle entendue dans ce sens laisse place à l'intervention de nouveaux concepts, comme celui de champ dans le cas mentionné de l'électromagnétisme, par lequel s'effectuera ultérieurement le dépassement de la mécanique (avec la théorie de la relativité restreinte)<sup>2</sup>.

On parle aussi de modèle dans un sens *imagé*, par exemple dans le cas, en chimie, de maquettes représentant les configurations des atomes au sein d'une

---

<sup>1</sup> Je note en passant que la conception de Poincaré, en prônant une physique mathématique qui transcende les modèles particuliers tout en les rendant possibles, évite, me semble-t-il, la réduction mécaniste. La physique mathématique, chez lui, va au-delà de la mécanique, même si elle fait de la mécanique analytique sa référence, parce que la forme mathématique est un moyen puissant d'exploration de la réalité physique: cf. H. Poincaré, "Sur les rapports de l'analyse pure et de la physique mathématique" (1897), repris avec des modifications dans Poincaré, *La valeur de la science* (1905), Flammarion, 1970, p. 103-113.

<sup>2</sup> Voir M. Paty, *Einstein philosophe*, Presses Universitaires de France, Paris, 1993, chap. 3.

molécule complexe. Ou encore dans celui, combinant les deux aspects précédents, d'un essai de description "empirique", mais pouvant avoir partiellement un rôle d'explication théorique, tel le modèle de l'atome de Bohr, de 1913, qui se proposait comme une représentation semi-classique de l'atome nucléaire aux orbites quantifiées.

Une autre acception, plus proche d'une conception théorique au sens propre, du terme modèle, est celle de "modèle théorique", conçu comme théorie particulière au sein d'une cadre théorique général. On en trouve maints exemples en théorie des particules élémentaires et des champs quantifiés (modèle de Veneziano, ou "modèles phénoménologiques", ajustés à une distribution expérimentale). C'est dans ce dernier sens que l'usage du terme modèle s'est à peu près stabilisé de nos jours en physique, et il s'agit alors toujours de "modèle théorique". De fait, le concept en remonte au moins à Boltzmann, qui l'illustre pour sa part par sa conception d'une théorie constructive, procédant, pour comprendre l'inconnu, par analogie avec des processus connus, sans que les outils de pensée que sont les modèles ainsi conçus ne soient identifiables pour autant à la structure de la matière<sup>3</sup>. La terminologie, sans l'épistémologie propre de Boltzmann, est restée pour qualifier une explication hypothétique à l'intérieur d'une structure théorique.

Mais sur la notion de "modèle", nous reviendrons à loisir dans la suite.

Le terme "représentation" est souvent utilisé en physique pour désigner une théorie, d'une manière plus générale qu'un "modèle théorique" particulier. On parle de "représentation théorique", et il semble que le but du travail scientifique soit, précisément, de parvenir à se former une telle représentation, qui correspond à une intelligibilité satisfaisante des phénomènes, à une "vision claire" de ces derniers, c'est-à-dire capable d'en concevoir les raisons et d'en prévoir les implications. On voit, par là, ce que ce terme a de plus général que celui de modèle, qui, à vrai dire, n'en serait que l'outil (on se donne des modèles pour aboutir à une représentation). Ceci, du moins, pour une science théorisée de manière formelle comme la physique. Il reste que plusieurs conceptions du rôle et de la nature d'une telle représentation, entendue comme l'objectif de l'effort de connaissance, sont possibles.

On peut entendre "représentation" dans un sens, proche au fond de l'idée de spectacle ("donner une représentation"), qui insiste, en fait de connaissance, sur l'aspect scénique, sur l'extériorité de la représentation par rapport à la réalité (voire sur celle du sujet par rapport à sa connaissance). Selon cette conception, une représentation (et, par extension, toute connaissance scientifique) ne fait que relier des éléments de perception et s'en tient donc à la surface des choses, sans perspective de connaissance véritable. Duhem, qui définissait la théorie physique comme une représentation, la concevait effectivement selon une perspective positiviste en matière de connaissance scientifique et métaphysique concernant la pensée du monde (seule la métaphysique, estimait-il, accède à une connaissance profonde de la réalité).

---

<sup>3</sup> Cf. L. Boltzmann, "Model", *Encyclopaedia Britannica*, 10th ed., 1902, 11th ed., 1911, repris dans L. Boltzmann, *Theoretical physics and philosophical problems*, ed. by B. McGuinness, Reidel, Dordrecht, p. 213-220. Einstein fait une distinction entre deux types de théories, les théories "constructives", qui sont celles de la théorie au sens de Boltzmann, et les théories à principes, dont les deux théories de la relativité (restreinte et générale) constituent des exemples (sur ce point, voir Paty, *op. cit.*, chap. 9).

Mais on peut entendre autrement le sens du mot “représentation” appliqué à la connaissance scientifique. Il s’agit d’une connaissance mentale, d’une représentation dans l’espace de notre pensée, distincte du monde extérieur lui-même: c’est cette distance entre le monde et la pensée du monde que l’emploi du mot “représentation” permet d’exprimer, sans préjuger de la nature de cette pensée et de son rapport au monde extérieur<sup>4</sup>. On peut, parmi les conceptions possibles, lui reconnaître le sens de connaissance en profondeur de la réalité du monde (quelle que soit cette dernière), tout en lui accordant des portées variables. Pour Poincaré, un même domaine de phénomènes peut conduire à plusieurs représentations équivalentes sans qu’il y ait lieu de chercher à réduire cette diversité. Aux yeux d’Einstein, au contraire, une représentation véritablement significative, pour un domaine et un degré d’approximation donnés, ne peut qu’être unique, et le théoricien, dans une science de la nature comme la physique, se doit de rechercher une correspondance biunivoque entre la représentation théorique et le phénomène qu’elle se propose de décrire<sup>5</sup>.

D’une manière générale, l’idée de représentation appelle celle d’une connaissance de référence, par rapport à laquelle sont attribuées les significations, le sens des concepts, le rapport de ces derniers entre eux. La constitution d’une théorie (d’une *représentation théorique*) est en même temps une mise au point et une construction d’une telle référence. Une représentation théorique, en effet, est caractérisée par des concepts, exprimés comme des grandeurs, et par une structure théorique dans lesquels ceux-ci sont insérés. Cette structure comprend des propositions physiques synthétiques énonçant des propriétés générales (ou “principes”), qui déterminent les conditions d’utilisation de ces concepts, sous forme de relations, de contraintes, etc., entre les grandeurs, selon des attributions claires. C’est dans un tel ensemble structuré que se tient le contenu de sens des concepts et des propositions (par exemple les concepts de la mécanique newtonienne, leur lien aux trois lois fondamentales du mouvement et à l’espace et au temps absolus ; ou encore la nouvelle signification de l’espace-temps de la théorie d’Einstein, déterminée par le principe de relativité et par d’autres propriétés principielles<sup>6</sup>; ou les grandeurs utilisées en mécanique quantique, soumises aux relations de Heisenberg).

Une représentation de cette sorte est en général relativement fermée, en tant que structure, tout en laissant des points d’ouverture qui tiennent à la part d’arbitraire laissée dans les définitions; elle est “complète” ou “incomplète”, selon la portée de ses propositions.

Quant à la notion d’*image*, la pluralité des sens dont elle est susceptible va de la perception visuelle (et, par extension, mentale) immédiate à l’idée d’une intelligibilité générale telle que la porte une expression comme celle d’“image du monde” (souvent employée, entre autres, par Planck et par Einstein). L’*image du monde* est de portée plus vaste qu’une représentation et, a fortiori, qu’un modèle,

---

<sup>4</sup> C’est dans ce sens que je l’ai, pour ma part, utilisé de manière systématique dans mon étude d’épistémologie de la physique contemporaine, *La matière dérobée*, Archives Contemporaines, Paris, 1988.

<sup>5</sup> M. Paty, *op. cit.*, et *Einstein, les quanta et le réel* (à paraître).

<sup>6</sup> En l’occurrence, le principe de constance de la vitesse de la lumière dans le cas de la Relativité restreinte, le principe d’équivalence entre la masse d’inertie et la masse gravitationnelle dans le cas de la Relativité générale).

tandis que la simple *image* reste en-deçà du modèle et de la représentation, bien qu'elle puisse agir comme un support pour l'intuition et l'élan créateur qui forme ces derniers en construisant la connaissance.

## 2.

### LE REALISME DU MODELE

Le terme “modèle”<sup>7</sup> comprend étymologiquement l'idée d'un objet servant d'archétype ou de prototype, copiant ou reproduisant un original. Il se rattache directement à “modeler”<sup>8</sup>, qui désigne en premier lieu le fait de façonner une substance malléable pour lui donner une certaine forme (comme dans “pâte à modeler”). C'est donc un terme lié aux *arts* plutôt qu'à la *science*, si l'on considère la terminologie traditionnelle, en vigueur jusqu'au dix-huitième siècle et même assez longtemps après, qui oppose les deux et qui relie art et artisan (voir l'*Encyclopédie* de d'Alembert et Diderot ou “Dictionnaire raisonné des sciences, des arts et des métiers”, et ses 28 volumes dont 11 de planches, publiée de 1751 à 1780, ou encore le “Conservatoire National des Arts et Métiers”, créé pendant la Révolution française); les arts au sens actuel, qui se rapportent à l'activité de l'artiste, étant alors désignés comme les “beaux-arts”.

A strictement parler, l'idée de “modèle” implique donc celle d'objet, qui la rattache à la *production d'une réalité tangible* plutôt qu'à une *représentation*. Mais de la signification de chose concrète il en vient aussi, par extension, à désigner une chose pensée, quoique toujours avec la connotation de ce qui caractérise un objet. Comme un objet, il ne se laisse pas simplifier en quelques termes, mais exige le recouvrement du concret. Reproduction construite d'un objet original, il vise l'identité avec cet objet, sauf éventuellement la dimension d'échelle. Cette volonté d'identité suppose un recouvrement de tous les caractères, de tous les éléments qui pourraient le décrire. C'est, en somme, la complétude sans la représentation.

Reproduction, le modèle est lui-même susceptible d'être reproduit à l'identique. Modèle et moule<sup>9</sup> ont d'ailleurs la même origine dans le latin “modulus”. Le modèle, dont on fait le moule, est représentatif d'un ensemble d'objets identiques. Il en résulte, me semble-t-il, une ambiguïté lorsque l'on cherche, en utilisant la notion de modèle dans un sens abstrait, à la faire entrer dans l'ordre des *significations*. Le modèle ne fournit pas avant tout le sens: telle n'est pas sa fonction. Le sens est fourni par la représentation générale dans laquelle s'inscrit le modèle. Le sens n'est pas la chose, il est donné avec la représentation de la chose.

---

<sup>7</sup> Entré dans la langue française en 1549, selon le Robert, à partir de l'italien “modello” et du latin populaire “modellus”, qui vint de “modulus”. L'article de Boltzmann (*op. cit.*) rappelle l'origine française et italienne du mot, qui n'entra qu'ensuite dans les langues anglaise et allemande.

<sup>8</sup> Entré en français en 1538 (selon le dictionnaire Robert).

<sup>9</sup> Le terme, en français, date de 1450, et existait depuis 1190 (cf. le dictionnaire Robert) en ancien français sous la forme “modle” (d'où l'anglais tira “mould”), puis “molle”.

Or le modèle est en premier lieu chose.

La géométrie descriptive se présente immédiatement à l'esprit - du moins pour ceux de ma génération où cette discipline faisait encore partie de l'enseignement des mathématiques - comme fournissant un type de modèles de caractère à la fois immatériel et concret, dépassant la chose matérielle même en figure abstraite qui la porte ou la reconstitue. Le dessin d'un objet dans l'espace, ou d'une figure, courbe, surface ou volume, suivant ses projections sur deux plans ou la donnée de ses côtes, s'identifie à cet objet ou à cette figure dont il reconstitue les éléments qui fournissent, en les condensant, la totalité des propriétés spatiales.

L'objet immatériel que reconstitue ainsi l'épure se prolonge de nos jours dans ces figures qui nous sont désormais familières, faites de séries de coupes ou de lignes de niveau prises, par exemple, sur une automobile, un avion ou un plan d'immeuble : on les voit tourner lentement sur les écrans des microordinateurs des constructeurs ou des architectes - reproduites sur les écrans des postes de télévision à des fins publicitaires -, révélant, par ce mouvement de squelette qui s'offre successivement à tous les points de vue, leur pleine réalité d'objet. Ces objets virtuels de l'informatique ont, pour l'essentiel, les mêmes caractéristiques de modèles que les épures de notre jeunesse. Tout en eux est de l'ordre de l'objet, leur image est un recouvrement complet de leurs propriétés spatiales. C'est ainsi que je me représente spontanément - dans ma naïveté de bétotien quant au domaine - ce qu'est un modèle en informatique : une épure multipliée, mise en série et en mouvement.

Remarquons que le modèle n'est pas seulement multiplication d'un type ou "standard", puisque l'on parle aussi de *modèle unique*, par exemple dans des réalisations industrielles - de la voiture au mannequin - : cela ne marque pas moins le caractère d'objet du modèle comme chose concrète, réalisée.

### 3.

#### ANALYSE DE LA NOTION DE MODELE THEORIQUE EN PHYSIQUE

Revenons à la notion de notion de modèle théorique, telle qu'on la met en oeuvre en physique, pour voir si l'idée même de modèle y recouvre quelque spécificité par rapport à la notion plus générale de représentation théorique hypothético-déductive, ou s'il ne s'agit que d'une autre façon de parler pour signifier la même chose.

Il y a, dans l'idée de modèle ainsi employée, celle de simplifier une représentation complexe, d'expliquer des phénomènes ou des propriétés, soit inédits, soit échappant aux représentations acquises, par quelque agencement particulier d'éléments déjà connus. Simplification, explication : ces caractères appartiennent aussi à la théorie, dans la perspective d'une science formalisée mathématiquement comme la physique, pour laquelle l'unité et la déduction servent

aussi bien de guides de la pensée que de critères de valorisation. Mais ils reçoivent, à l'enseigne des modèles, une acception plus étroite.

La simplification n'y opère pas tant à un niveau fondamental, comme lorsqu'elle est recherchée pour une théorie - et elle coïncide alors avec une généralisation féconde -, que dans le but d'obtenir une approximation, par la réduction d'un ensemble de propriétés ou de variables à un nombre plus petit, voire à une seule, les autres étant considérées comme négligeables en vue des effets considérés (par exemple, ne garder comme description physique d'un corps céleste, fut-il aussi complexe que les hypothétiques trous noirs de l'astrophysique contemporaine, que la masse, le volume et le moment d'inertie).

Quant à l'explication, elle est de l'ordre de l'application immédiate des relations et des algorithmes de la théorie dans laquelle le modèle s'insère. Car un modèle théorique n'est généralement qu'une spécification particulière d'une théorie donnée, même si l'on espère, par son intermédiaire, sortir des limitations de cette dernière. Par exemple, en physique des particules, les relations entre les grandeurs du modèle respectent les énoncés et les règles de la mécanique quantique relativiste ou de la théorie quantique des champs<sup>10</sup>, qui constituent leurs guides d'utilisation. La spécification est de l'ordre de l'hypothèse, ou se contente d'appliquer une expression mathématique justifiée à un titre ou à un autre, voire d'importer une relation acquise de manière empirique. A ce titre, le modèle théorique ajoute à la théorie des éléments d'explication sur des processus de détail qui lui manquaient. Mais, par le fait même qu'il s'agit d'addition, il manifeste le caractère incomplet de la théorie principale, qui ne suffit pas à le déduire. Dans certains cas, toutefois, le modèle proposé ou discuté peut n'être qu'une simple explicitation pour des circonstances particulières de traits déjà contenus dans la théorie. Ainsi, le modèle théorique possède-t-il, en physique, deux fonctions: soit celle de contribuer à la construction d'une théorie plus forte que celle dont on dispose, soit celle de contrôler la validité de cette dernière dans un domaine donné et d'en expliciter le contenu. Parfois le modèle met en jeu les deux fonctions ensemble.

Pour ce qui concerne la première fonction, "constructive", du modèle, de nombreux exemples de l'histoire de la physique montrent comment l'incorporation à la théorie d'une simple propriété supplémentaire peut entraîner à terme sa modification complète et son dépassement. Par exemple, le champ de Faraday trouve sa conséquence logique ultime dans la suppression de l'éther électromagnétique et dans la théorie de la relativité restreinte, ou encore, l'introduction du quantum d'action de Planck et Einstein pour les phénomènes de rayonnement aura pour effet lointain l'avènement de la mécanique quantique. Plus près de nous, l'adoption de nouveaux "nombres quantiques" pour caractériser certaines propriétés de particules élémentaires comme l'"isospin", l'"étrangeté", le "charme", ou encore la "couleur", ont conduit au "modèle des quarks" - qui a, depuis, quitté ce statut précaire pour celui de théorie avérée des constituants de la matière -, aussi bien qu'à la "chromodynamique quantique" comme théorie des "interactions nucléaires fortes" et aux théories de symétries et d'unification actuelles. Cette fonction rapporte directement le modèle à la représentation théorique: elle se confond avec un choix particulier d'hypothèses, et ne se révèle effective qu'après coup. Car une telle fécondité est, évidemment, loin d'être

---

<sup>10</sup> Par exemple, les modèles de poles de Regge dans la théorie de la diffusion pour le premier cas,

toujours de règle : la plupart des modèles théoriques n'ont pas cette puissance heuristique, et se contentent de servir des objectifs limités.

En ce qui concerne la seconde fonction des modèles théoriques, celle d'explicitation des contenus physiques, elle apparaît directement liée à ce trait que nous avons souligné et qui apparaît inhérent à l'idée de modèle, de recouvrement complet, rendu explicite ou concret. On peut renvoyer, ici, à la remarque de Poincaré mentionnée plus haut sur le fait qu'une représentation théorique fondée (comme l'étaient pour lui, celles qu'il appelait de la "physique mathématique") admet une infinité d'"explications mécaniques détaillées". Le fait qu'elles soient en nombre illimité ou arbitraire en limite évidemment la portée: autrement dit, ce qui importe, ce ne sont pas les modèles, mais la théorie physique mathématisée. On évoquera, dans un sens voisin, cette remarque de Feynman sur le fait que cela n'a pas d'intérêt, du point de vue théorique, de s'essayer à tirer toutes les conséquences (ou prédictions) d'une théorie comme représentation. La théorie résume toutes ces propriétés sans les exprimer dans le détail ; elle n'explique que celles dont on a besoin, ou qui sont significatives, ou qui servent d'archétypes. Le modèle semble, au contraire, expliciter simultanément toutes ces propriétés, au prix de la perte du signifiant symbolique et conceptuel qui les implique. S'il peut être alors malgré tout de quelque utilité, ce n'est qu'au titre des applications pratiques, ou pour faciliter la compréhension par la représentation de cas concret.

Le genre de modèle que l'on appelle "modèle paramétré"<sup>11</sup>, d'utilisation fréquente en physique et dans d'autres domaines, peut avoir à faire, suivant les circonstances, avec l'une ou l'autre des fonctions que nous venons d'évoquer. Il permet souvent d'effectuer la jonction entre l'obtention de données expérimentales et leur interprétation en termes théoriques, et peut alors jouer un rôle heuristique dans l'élaboration théorique. Le paramètre a pour rôle d'assurer le recouvrement de toutes les valeurs possibles de la variable choisie et de la fonction correspondante dont la forme constitue l'objet du modèle. L'exemple de familles de courbes répondant à une même équation différentielle et ne différant que par une constante d'intégration en donne une bonne illustration, et nous permet de raccorder la notion de modèle dans le sens abstrait que lui donne une science comme la physique, à l'image évoquée plus haut de la coque d'un objet épuré se livrant dans sa totalité. On pourrait sans doute élaborer davantage sur ce rapprochement.

Du point de vue d'une connaissance fondamentale, la notion de modèle théorique a pour fonction essentielle, nous l'avons dit et illustré à propos de la physique, de remplir ce qui manque dans un cadre théorique général (ce sens est repris de Boltzmann et transformé). En essence, le modèle théorique porte sur du particulier, tandis que la théorie proprement dite porte sur du général ; mais ce dernier peut être insuffisant, et la fonction du modèle est alors, en le modifiant, de l'étendre et de le rendre plus englobant.

Faisons une dernière remarque sur la notion de modèle théorique, sans prétendre avoir épuisé le sujet. La notion commune de modèle implique l'idée d'une standardisation. Il est intéressant de remarquer que cette idée se retrouve même dans l'acception abstraite du terme modèle tel qu'il apparaît dans le langage courant actuel des physiciens, même s'il s'agit de théorie conçue comme fondamentale et non de modèle limité particulier. On parle de "modèle standard" en théorie des particules et

---

<sup>11</sup> Ou sans doute faut-il dire, en bon français, "paramétrisé".



en cosmologie, désignant par là dans le premier cas la théorie à symétrie “de jauge” unitaire dite “ $U(1) \times SU(2)_L \times SU(3)_C$ ”, qui rassemble dans un même schème, sous la bannière de la théorie quantique des champs, la théorie électrofaible (“ $SU(1) \times SU(2)_L$ ”) et la chromodynamique quantique (“ $SU(3)_C$ ”)<sup>12</sup>, et dans le second la théorie du “big bang”.

Les deux sont pourtant des constructions théoriques générales, abstraites, hautement mathématisées et basées sur des principes fondamentaux de portée universelle; mieux, elles visent l’une et l’autre leur réunion, en une théorie d’une portée qui eût été jusque voici peu proprement inconcevable - qualifiée de l’appellation épistémologiquement douteuse de “Théorie du Tout”.

De fait, il semblerait à première vue qu’il y ait ici équivalence, quant à l’usage, entre “théorie” et “modèle”, puisque le modèle standard de la physique des particules et des champs est formé sur des “théories de jauge”, et que celui de la cosmologie comporte comme base fondamentale la *théorie* de la relativité générale. A cet égard, on remarquera que les physiciens ne sont pas seuls à faire cette équivalence, à entretenir cette confusion. Les historiens des sciences, et en général le public cultivé, parlent de nos jours de la théorie des sphères cristallines de Ptolémée comme du “modèle de Ptolémée”, ce qui est un bel anachronisme. On parle, sans doute, de la “théorie de Copernic”, mais aussi bien des “modèles géocentrique et héliocentrique”. Il est vrai que ces représentations du cosmos sont “modélisables” au sens des objets concrets, par des sphères armillaires, par exemple. On comptera aussi avec les significations idéologiques attachées à ces représentations, débordant leur caractère de description objective. On passe de la sorte de la théorie au modèle: mais le moins qu’on puisse dire est qu’à cet égard le vocabulaire n’est pas fixé.

Revenons à la physique actuelle. D’une manière générale, la terminologie semble assez laxiste en la matière, qualifiant le plus souvent les élaborations considérées indifféremment de “théorie” ou de “modèle”: on désigne fréquemment, par exemple, la “théorie de jauge unifiée électrofaible” comme le “modèle de Glashow, Salam et Weinberg” ou “modèle  $SU(1) \times SU(2)_L$ ”. Il existe peut-être, cependant, dans ce cas, une différenciation subtile entre “théorie” et “modèle” si “théorie” qualifie l’ensemble de la structure et “modèle” l’explicitation de sa représentation en théorie des groupes. Toutefois cette différence n’est pas vraiment explicite, et les “modèles” évoqués sont en réalité des “théories”, encore hypothétiques à bien des égards.

On peut toutefois estimer que ce laxisme est moindre qu’il ne paraît, si l’usage tend à se fixer, comme il semble que ce soit le cas, à “théorie” pour désigner les théories des champs quantifiés de jauge prises individuellement (théorie électrofaible, théorie chromodynamique), aussi bien que la théorie de la relativité générale, le terme “modèle” étant réservé à leurs réunions encore problématiques dans des ensembles plus vastes. (Le paradoxe étant alors que, contrairement à l’usage antérieur courant, ce n’est plus le modèle qui est contenu dans théorie, mais l’inverse). Mais, ici encore, la différence n’est pas explicite. Et d’ailleurs, les physiciens parlent, pour la “super-théorie”, de “Théorie du Tout”, et non de

---

<sup>12</sup> Les deux étant en attente de leur “théorie de grande unification”, comme un “modèle  $SU(5)$ ”, par exemple, ou celui d’un autre groupe qui admettrait aussi leur somme comme une partie de ses représentations.

“Modèle du Tout”. Il est vrai qu’il y aurait quelque incohérence à prétendre traiter du “Tout” par un simple “modèle”... (Et pourtant, quelle prétention plus hypothétique ?)

Quoiqu’il en soit on pourra juger discutable la terminologie qui parle de “modèles standard” ou de “modèles théoriques” pour des théories aussi élaborées et d’ambition généralisante. On pourra y voir une référence technico-industrielle, tributaire du mode de production de la “big-science”, ou “science à grands moyens” (humains, institutionnels, techniques et financiers). L’industrie construit des modèles, et une recherche fondamentale qui s’effectue sur le mode industriel ne ferait, en parlant des “modèles théoriques” qu’elle élabore, dans une apparence de modestie quant à la portée des connaissances qu’elle poursuit, que refléter les valeurs du nouveau “modèle” supposé de ses pratiques.

Mais cette prétention supposée à modestie n’est qu’affectée. S’il ne s’agit, pour certains physiciens, que d’un modèle, il reste qu’à leurs yeux il oblige. En réalité, c’est une théorie à vue unitaire, reposant sur une structure conceptuelle forte et sur des hypothèses : ces théories dynamiques et leurs “modèles standard” associés sont des représentations hypothético-déductives actuellement favorisées par les données d’expérience, dans le cadre théorique en vigueur. Elles se trouvent être, dans les conditions présentes du travail scientifique dans ce domaine, la voie de la recherche dans laquelle - carrières et moyens obligent - tous les chercheurs s’engouffrent. Quelle que soit la fascination intellectuelle exercée par ces connaissances, on ne peut éviter de noter qu’un certain conformisme des pratiques et des idées accompagne comme son ombre la terminologie agréée, en l’absence, d’ailleurs, d’une réflexion critique et épistémologique significative susceptible de le tempérer.