



Mathématiques et machinerie : la physique comme exploration

Rom Harré

Traducteur : Ivahn Smadja



Édition électronique

URL : <http://journals.openedition.org/cpuc/1271>

DOI : 10.4000/cpuc.1271

ISSN : 2677-6529

Éditeur

Presses universitaires de Caen

Édition imprimée

Date de publication : 15 décembre 2008

Pagination : 17-37

ISBN : 978-2-84133-332-5

ISSN : 1282-6545

Référence électronique

Rom Harré, « Mathématiques et machinerie : la physique comme exploration », *Cahiers de philosophie de l'université de Caen* [En ligne], 45 | 2008, mis en ligne le 04 septembre 2020, consulté le 28 novembre 2020. URL : <http://journals.openedition.org/cpuc/1271> ; DOI : <https://doi.org/10.4000/cpuc.1271>



Les *Cahiers de philosophie de l'université de Caen* sont mis à disposition selon les termes de la Licence Creative Commons Attribution - Pas d'Utilisation Commerciale 4.0 International.

MATHÉMATIQUES ET MACHINERIE : LA PHYSIQUE COMME EXPLORATION

Toute cette théorie de l'Électrostatique constitue un ensemble de notions abstraites et de propositions générales, formulées dans le langage clair et précis de la Géométrie et de l'Algèbre, reliées entre elles par les règles d'une sévère Logique ; cet ensemble satisfait pleinement la raison d'un physicien français, son goût de la clarté, de la simplicité et de l'ordre. [...] Voici un livre [d'Oliver Lodge] destiné à exposer les théories modernes de l'électricité, à exposer une théorie nouvelle ; il n'y est question que de cordes qui se meuvent sur des poulies, qui s'enroulent autour de tambours, qui traversent des perles, [...] de roues dentées qui s'engrènent les unes dans les autres, qui entraînent des crémaillères ; nous pensions entrer dans la demeure paisible et soigneusement ordonnée de la raison déductive ; nous nous trouvons dans une usine.

Pierre Duhem, *La Théorie Physique* (1905).

Bienvenue dans l'usine pour une analyse philosophique de la nature et du rôle de la machinerie que l'on trouve dans le laboratoire.

Comme Duhem s'en est lui-même avisé, une « entente cordiale » est appréciable en philosophie de la physique, tout autant que dans la conception et la fabrication d'avions Airbus. La pratique de la physique suppose le recours aux mathématiques pour représenter le monde comme il se révèle à nous, mais nous avons besoin de faire usage d'appareils et d'instruments pour révéler certains aspects de ce monde. La philosophie de la physique doit donc explorer les présuppositions de l'usage des représentations mathématiques en physique tout comme les présuppositions de l'utilisation de machines comme moyens d'exploration. Notons en effet que nous ne pouvons trouver que ce que telle ou telle machine nous permet de trouver. La physique a donc à la fois besoin des esprits profonds mais étroits des penseurs mathématiciens français

et des esprits larges mais superficiels des rêveurs en images anglais, pour adopter une autre des métaphores de Duhem.

Dans cet article, l'intérêt ne se portera pas sur les écrits mathématiques de physiciens théoriciens tels Poincaré ou Einstein. Mais plutôt sur l'équipement que l'on aurait pu trouver dans le laboratoire de Galilée (une poutre de bois rainurée inclinée par rapport au sol), de Robert Boyle (un récipient de verre formant un tube en U partiellement rempli de mercure), ou de Sern et Gerlach (un filament d'argent incandescent et un arrangement complexe de bobines de câble enroulées autour de morceaux d'acier d'une certaine forme [un puissant électro-aimant]), et ainsi de suite.

Umwelt humain

Von Uexkull a introduit le terme d'« Umwelt » pour faire référence à la région du monde naturel à laquelle ont accès les membres d'une certaine espèce. Les limites d'un *Umwelt* sont les limites des pouvoirs de perception, d'exploration et de manipulation des organismes d'une espèce donnée. Cette situation générale vaut aussi pour *l'homo sapiens*. Nous étions habitués à avoir accès aux régions du monde que notre équipement corporel, tel que mains et yeux, rendait disponibles pour nous. L'*Umwelt* primitif a progressivement été élargi par l'invention d'autres moyens de perception, de manipulation et d'exploration du monde. Avec des bathysphères, nous explorons les profondeurs de la mer, avec des sondes spatiales, nous regardons la surface de Titan, avec des microscopes, nous observons le processus de division cellulaire, et avec une pipette nous créons un clone. Pour faire sens des thèses réalistes en général, nous devons nous rappeler que nous ne pouvons étudier que l'*Umwelt* humain, c'est-à-dire le domaine de la nature auquel nous avons accès, directement ou indirectement, et non le *monde lui-même*.

La variété de réalisme en question dans cet article est fondée sur le concept de personne. Un tel être est une conscience dans un corps, capable de percevoir, de créer et de manipuler une machinerie, mais aussi de faire usage de systèmes de symboles pour représenter des perceptibles et des manipulables actuels et possibles. Les personnes sont les noyaux actifs des *Umwelten*. Les personnes sont liées aux symboles par leurs pouvoirs d'interprétation et aux choses par leurs pouvoirs de perception et de manipulation. Leurs pouvoirs d'imagination, de raisonnement par analogie, etc., permettent en outre d'aller au-delà des frontières présentes de l'*Umwelt*.

On supposera admise, dans les pages qui suivent, une analyse de la perception de type généralement kantien. Les sensations corporelles n'ont de pertinence pour les humains qu'en tant qu'elles sont infusées de catégories schématisées.

L'*Umwelt* humain comprend trois régions. Il y a la région des entités perceptibles qui ne sont pas manipulables, comme le soleil. Il y a la région des entités qui sont manipulables mais non perceptibles, comme les champs magnétiques. Il y a enfin la région des entités qui sont à la fois perceptibles et manipulables, comme les choses de tous les jours et les substances que nous rencontrons quotidiennement, comme, par exemple, ce qui se trouve dans une cuisine, laquelle est une sorte de laboratoire, remplie d'artefacts. Certaines entités perceptibles et manipulables servent comme symboles.

Le mot « réel » est notoirement source de confusions philosophiques. Austin¹ prétendait qu'en pratique il n'est pas utilisé pour assigner un état de choses positif, mais pour marquer un contraste relatif au contexte entre différentes catégories d'entités. Par exemple, un « diamant réel » n'est pas un diamant produit dans un four. Un « canard réel » n'est pas un leurre utilisé par les chasseurs. J'utiliserai le terme « réel » dans le sens que je pense être pertinent pour la physique et les autres sciences naturelles, pour faire référence à tout ce qu'on peut trouver dans l'*Umwelt* humain et dont on peut parler avec les catégories disponibles. Toutefois, à l'intérieur de ce large cadre discursif, le plus grand soin est requis pour éviter de prendre une règle de grammaire, déterminant comment on doit utiliser un symbole, pour une généralisation empirique, représentant les attributs perceptifs et manipulables d'un habitant de l'*Umwelt* humain.

L'*Umwelt* a son fondement dans une certaine disposition de choses interagissant les unes avec les autres, dont certaines sont des humains, certaines autres des machines, des symboles, des organismes, des choses et des substances matérielles, ou bien juste des bouts ou morceaux de débris. Et c'est dans l'*Umwelt* que, comme nous l'avons dit plus haut, les humains sont liés aux symboles par des conventions interprétatives et aux différentes sortes de choses par leurs pouvoirs de perception et de manipulation.

Certains discours humains sont des théories scientifiques. Celles-ci sont suffisamment ambiguës pour faire l'objet de différentes lectures. Parmi les humains, il y a les lecteurs de théories [*readers of theories*]. Il n'y a pas de lecteur idéal. Certains lecteurs ont tendance

1. Austin 1962.

à lire les théories comme si elles faisaient référence à des entités à la fois perceptibles et imperceptibles. Ceux-ci livrent des *lectures réalistes*. Robert Boyle était un lecteur de ce type. D'autres ont tendance à lire le même monde et les symboles comme référant seulement à des entités perceptibles. Ceux-là livrent des *lectures positivistes*. Ernst Mach était un lecteur de ce type. D'autres enfin ont tendance à lire ces mêmes mots et symboles comme s'ils exprimaient des règles linguistiques pour l'expression de « faits bruts ». Ce sont alors les *lectures conventionnalistes*. Henri Poincaré était un lecteur de ce type.

Cet article porte sur les raisons qu'il y aurait à soutenir qu'une lecture réaliste des théories est non seulement possible mais nécessaire pour le développement de la science.

Pour la plupart, les philosophes ont discuté du réalisme comme s'il s'agissait d'une lecture dont l'enjeu serait la vérité plutôt que le sens. À quelles conditions, si toutefois il existe de telles conditions, sommes-nous autorisés à dire qu'une théorie qui semble faire référence à des imperceptibles est plus proche de la vérité qu'une théorie rivale? Les anti-réalistes ont soutenu qu'il n'y a pas de conditions de ce genre.

Pourquoi cette différence de lecture est-elle d'une telle importance? Dans une lecture réaliste, les symboles dans une théorie sont supposés pouvoir faire référence à des choses, substances, structures, etc., imperceptibles. Selon une telle lecture, se lancer dans la conception d'un projet qui consisterait à chercher des référents fait sens. Selon une lecture positiviste, les symboles sont des procédés purement logiques sans signification référentielle au-delà des limites du perceptible. Une théorie est lue comme si elle n'était qu'un catalogue de concomitances observables. Il ne serait donc pas rationnel de chercher des référents pour les termes qui ne réfèrent pas à des perceptibles.

Les modèles que les théories décrivent sont envisagés comme des représentations de réalités possibles selon la lecture réaliste, et comme des procédés psychologiques selon la lecture positiviste.

Comment les lectures réalistes peuvent-elles être justifiées?

Déterminer les significations

Confrontés à un discours théorique dans lequel un certain terme « t » se présente, nous trouvons que le terme est utilisé dans l'intention de faire référence à quelque chose de perceptible. Il a un référent observable. Nous pourrions bien dire que le sens de ce terme

est fixé, *pro tempore*, par ce référent. Cette idée simple requiert qualification. Le sens du mot « chlore » est resté approximativement le même pendant deux cents ans, mais seulement approximativement. C'est un élément chimique qui apparaît comme un gaz vert dans des conditions normales de température et de pression, se combine immédiatement avec l'hydrogène et a une masse atomique de 35,5. Cependant, une grande partie de la signification du mot a changé à mesure qu'on découvrait davantage de propriétés de ce gaz vert. Le mot est donc au moins polysémique, puisque la masse atomique traditionnelle est la moyenne de deux isotopes distincts.

Les sciences naturelles sont toutefois riches de termes pour des entités hypothétiques qui n'ont pas de manifestations perceptibles convenablement disponibles. Comment l'expression « plaque tectonique » acquiert-elle son sens ? Ou le mot « capillaire » ? Ou le mot « photon » ? Il doit y avoir un autre procédé que la dénotation pour créer du sens.

Au cours du dernier demi-siècle environ, le processus de fabrication de sens [*meaning-making*] pour les expressions qui semblent faire référence à des imperceptibles a été lié à la création de modèles iconiques. Ces derniers sont des analogues de ce qui est imperceptible mais non inimaginable. Certains, au moins, représentent des entités qui pourraient être manipulables par quelque procédure utilisant un appareil ou un instrument, et ainsi ouvrent la voie à des avancées expérimentales. Par exemple, les modèles structuraux de la composition élémentaire des molécules organiques ouvrent la voie aux études expérimentales des molécules complexes utilisant la diffraction des rayons X².

La science comme fabrication de modèles

Les sciences naturelles croissent en étendant l'*Umwelt* humain de manière à y inclure de nouvelles catégories d'entités. Ce processus de croissance ne peut toutefois pas être direct. Le monde, le *Welt*, est trop complexe, ce qui s'y trouve est, pour une large part, trop grand ou trop petit, ou encore trop éloigné pour être étudié directement, même si nous avons une conception symbolique ou formelle bien élaborée de ce à quoi il pourrait ressembler. Il doit y avoir quelque chose entre la perception de tous les jours et les nouveaux

2. Hodgkin 1965.

domaines de la science. Comment saurions-nous où et comment faire des percées dans le territoire du *Welt* juste de l'autre côté de la frontière de notre *Umwelt* habituel? L'imagination n'est pas libre si ses productions doivent être prises au sérieux, c'est-à-dire prises comme des représentations plausibles de ce qui pourrait être dans le monde.

Rothbart³ a défendu l'idée qu'une partie de l'appareillage expérimental peut être considéré comme constitué de modèles. Par exemple, l'appareil formé d'un casier de fioles remplies d'eau avec lequel Theodor de Freiberg a simulé la structure imperceptible d'un rideau de gouttes de pluie est, à proprement parler, un modèle analogue ou iconique d'averse.

Cartwright⁴ a développé avec force en faveur de la thèse sémantique, l'argument selon lequel les textes scientifiques portent principalement sur des modèles et non sur la réalité qu'ils semblent représenter. Dans de nombreux cas, un analogue de tel ou tel aspect de l'*Umwelt* est créé par abstraction à partir d'un perceptible trop confus. Nous raisonnons avec une image des strates géologiques qui est abstraite à partir des interfaces rocheuses perceptibles dans les falaises et les carrières.

Variétés de modèles

Dans la pensée iconique, il y a deux genres principaux de modèles. La distinction entre eux dépend de la manière dont la source et le sujet du modèle sont reliés.

La source du modèle est *ce sur quoi* il est modelé.

Le sujet du modèle est *ce dont* il est un modèle.

Source et sujet peuvent être une seule et même chose, comme lorsqu'une carte est modelée sur la ville et est un modèle de cette même ville. Mais ils peuvent aussi être différents, comme lorsqu'un modèle de l'univers est modelé sur la géométrie d'une sphère.

Les relations de la source au modèle et du modèle au sujet sont des analogies. Une analogie comprend une relation positive, des similarités, une relation négative, des différences, et une relation

3. Rothbart 1997.

4. Cartwright 1983.

neutre, les propriétés de la source et du sujet qui ne font pas encore l'objet d'évaluations comparatives.

La distinction source/modèle/sujet est l'aspect le plus important de l'usage des modèles pour comprendre comment les modèles fonctionnent. C'est en même temps le fondement à partir duquel nous pouvons réussir notre propre construction de modèles. Voici quelques exemples. Lors de l'entraînement des étudiants obstétriciens, le débutant n'est pas autorisé à jouer avec de vrais bébés et de vraies mères, mais seulement avec des poupées. Dans la conception et l'utilisation d'une poupée d'obstétrique, la source est la même que le sujet. La poupée est modelée sur un bébé et est le modèle d'un bébé. Y a-t-il de tels modèles en physique ? Un planétarium comme modèle mécanique du système solaire en fournirait un exemple.

Pour les psychologues, une bonne partie de la recherche se concentre ces derniers temps sur des modèles computationnels de la personne qui pense. Dans ce cas, la source, l'ordinateur, est différente du sujet, le cerveau. Les ordinateurs sont faits de silicone et les cerveaux de protoplasme. Dans ce cas, les similarités fonctionnelles mettent en lumière l'analogie positive, tandis que les différences anatomiques et physiologiques accusent l'analogie négative. L'analogie neutre est très large. Par exemple, une question centrale est de savoir si un ordinateur peut être mis au point et programmé de manière à simuler le raisonnement par analogie. La réponse semble être « Non ».

La conjecture originale de Turing peut être présentée ainsi sous la forme suivante :

Sujet

Un cerveau activé par un problème posé à une personne.

Source

Une machine abstraite effectuant des calculs.

Modèle

Un ordinateur effectuant le traitement de l'« information » électriquement.

Ce schéma soulève deux questions posées par l'analogie neutre, c'est-à-dire l'ensemble des aspects des cerveaux et des ordinateurs, ou encore de la pensée et du calcul, que nous sommes initialement dans l'incapacité de comparer, et dont nous cherchons à savoir s'ils relèvent de l'analogie positive ou négative. Deux programmes de recherches se sont développés à partir de ce point de départ. Le premier visait à étudier plus finement l'architecture et

les processus cérébraux et à concevoir des ordinateurs qui soient structurés et qui fonctionnent comme de vrais cerveaux, tout en mettant à profit ce que nous savons au sujet des ordinateurs pour rechercher d'éventuels aspects et modes de fonctionnement correspondants du cerveau. Parallèlement à ce programme, des chercheurs ont aussi commencé à examiner la relation entre pensée et calcul. Dans ce domaine, quelques aspects négatifs notables ou dissemblances sont apparus. Le fait que le calcul puisse être une aide dans toutes sortes de pratiques est largement admis. Il se peut que le gain en psychologie ne soit pas immédiat, mais dans les questions de tous les jours et dans les pratiques professionnelles, la valeur du calcul est incalculable. Y a-t-il des modèles comme celui-là dans les sciences physiques ? Il me semble que le modèle Watson-Crick original de la macromolécule d'ADN est un modèle de ce genre. Tout comme la pile de feuilles de plastique de Dorothy Hodgkin comme modèle de la structure de la molécule de pénicilline.

De manière générale, nous pouvons distinguer deux types de modèles, ceux pour lesquels source et sujet coïncident et ceux pour lesquels ils diffèrent. Les premiers sont d'une grande valeur heuristique et pratique, mais ne font que rarement progresser la connaissance, hormis quelques avancées mineures. Les seconds sont au cœur de la pensée créatrice en science et ouvrent de nouvelles perspectives à la recherche. Ils permettent à une anticipation imaginative disciplinée des nouveaux modes d'accès au *Welt* d'élargir l'*Umwelt*.

Les présuppositions ontologiques d'une science doivent être cherchées du côté des sources à partir desquelles les modèles sont créés par analogie. Puisque les « organismes » sont la source pour les « micro-organismes » conçus comme modèles d'entités pathologiques imperceptibles, la présupposition ontologique de la science médicale moderne était que de telles entités sont des êtres vivants. Par contraste, l'*Umwelt* de la science médicale s'est donc élargi de manière à inclure les virus et les prions.

Les usages des modèles

Créer des explications en comblant les lacunes dans notre connaissance

Les modèles remplissent cette fonction de représenter un processus inobservable pour expliquer ce qui ne peut pas être perçu. Il est clair que la source sur laquelle se fonde le modèle doit être diffé-

rente de ce qu'il représente, à savoir son sujet. Tout l'enjeu est de représenter ou de remplacer quelque chose qui n'a pas été observé ou examiné d'une autre manière.

La technique est de créer un modèle du processus inconnu en s'appuyant sur une source qui est connue. Nécessairement le sujet n'est pas encore connu, mais en prenant le modèle comme guide, nous pourrions trouver le moyen de le rendre accessible à l'observation directement comme dans un microscope ou indirectement comme dans les techniques de manipulation des imperceptibles.

L'un des exemples les plus importants et les plus frappants d'un tel processus de « comblement des lacunes » [*gap-filling*] au moyen d'un modèle est fourni par la théorie de la sélection naturelle de Darwin (1859).

Schématiquement, on peut représenter la création par Darwin de son modèle explicatif comme une façon de combler une lacune énorme dans ce qui pouvait être perçu. Les processus de sélection sont trop lents pour que quiconque puisse les observer en action.

Voici le schéma de construction du modèle de Darwin sous forme tabulaire :

| domaine domestique ferme et jardin | modèle | nature |
|---------------------------------------|------------------------|-------------------|
| variations | variation naturelle | variations |
| A. reproduction sélective | B. sélection naturelle | C. ????? |
| nouvelles variétés | nouvelles espèces | nouvelles espèces |

Quelle est la relation entre A, B et C? A est la source, C est le sujet et B est le modèle du processus inobservable C. Qu'y a-t-il là d'« analogique »? Entre A et B, il y a une relation d'analogie, tout comme entre B et C, bien que celle-ci ne pût pas être explorée du temps de Darwin. Si nous prêtons attention à la relation de A à B, nous pouvons voir sa structure.

Analogie positive – les mieux adaptés se reproduisent plus vite.

Analogie négative – il n'y a pas de fermier dans la nature [anti-crétionisme].

Analogie neutre – processus de transmission héréditaire inconnus.

Dans les 150 ans qui suivirent, chacun de ces aspects fut approfondi. La recherche ultérieure impliquait en effet l'exploration des analogies, ce qui inclut les tentatives, guidées par le modèle B,

d'observer ce qu'est réellement C. La manière dont les conditions naturelles affectent la fertilité et la survie de la descendance a fait l'objet d'une recherche systématique et de nombreux détails ont été découverts, quoique l'intuition générale de Darwin fût demeurée intacte. L'analogie neutre, le mécanisme de la transmission héréditaire, est maintenant complètement comprise, grâce aux travaux de Gregor Mendel, Watson et Crick.

On peut trouver des milliers d'exemples de cette procédure dans n'importe quel domaine, y compris dans le travail de la police. L'astuce consiste à trouver le modèle le plus fertile pour combler les lacunes dans ce qui a déjà été observé, puis à utiliser le modèle pour poursuivre la recherche dans les domaines inexplorés de la situation, qu'il s'agisse de la cause des tremblements de terre (les mouvements des plaques tectoniques) ou de l'identité du meurtrier (le maître d'hôtel a fait le coup). En physique, nous avons de nombreuses représentations ou modèles « iconiques » de systèmes matériels imperceptibles obtenus par analogie à partir d'une source corpusculaire. Par exemple, la représentation de la nature d'un gaz comme un essaim de molécules confinées dans un certain volume, dont le comportement est décrit par la loi

$$pv = \frac{1}{3}nmc^2$$

est créée par analogie avec le comportement perceptible de particules newtoniennes. En comblant les lacunes de l'analogie neutre, la loi fut redéfinie par la version d'Amagat de la loi de van der Waal. Mais pouvons-nous concevoir un test expérimental qui établisse l'existence de telles entités ayant une place parmi les autres entités plus immédiatement perceptibles de l'*Umwelt* humain ?

Révéler les aspects significatifs d'un phénomène complexe et obscur

Certains traits significatifs d'un phénomène complexe peuvent être mis en lumière en utilisant ce que nous savons au sujet d'une situation ou d'un processus pour révéler des aspects cachés d'une autre situation ou d'un autre processus. Différents aspects seront alors mis en relief selon la source du modèle auquel nous recourons pour abstraire des traits cruciaux.

Des représentations ou des modèles de systèmes matériels perceptibles peuvent être créés par abstraction de traits saillants selon

un certain projet. Par exemple, la représentation du pendule dans la mécanique newtonienne, une tige sans poids dans un champ gravitationnel uniforme suspendu sans frottement à l'une de ses extrémités et oscillant dans le vide. Le mouvement de cet objet idéalisé est décrit par la loi $t = 2\sqrt{l/g}$. L'utilisation des isobares pour créer un modèle iconique de la structure et de la dynamique de l'atmosphère constituerait un autre exemple de ce genre de modélisation.

Réalisme scientifique

Les lectures positiviste et conventionnaliste des théories sont étayées par deux arguments importants.

Le problème de la portée

Hume ne fut pas le premier à pointer le fait que les règles de la logique ne permettent pas d'inférer de données corrélationnelles limitées, obtenues en étudiant les phénomènes dans l'ici et maintenant, à une loi universelle couvrant toutes les instances de phénomènes du même type.

Le problème de la profondeur

Il n'y a aucun moyen d'établir la vérité d'une théorie qui fait référence à des entités imperceptibles à partir des données observationnelles et expérimentales, même si des prédictions confirmées de données plus nombreuses du même genre peuvent être dérivées de la théorie. Ce n'est pas seulement parce que les données empiriques pertinentes ne peuvent pas être obtenues. L'argument le plus parlant en faveur de l'attitude sceptique quant à la possibilité de déterminer la vraisemblance des théories est fondé sur le principe logique selon lequel n'importe quel corps de données fixé à l'avance peut être obtenu par déduction à partir d'un nombre indéterminé de corps de propositions (théories). Au XVI^e et au XVII^e siècles, la signification de ce point a été débattue de manière approfondie pour les théories astronomiques du système solaire dans le contexte des modèles hélio- et géocentrique. Il fut généralement admis que l'adéquation empirique devait être complétée par des considérations de plausibilité ontologique des structures postulées dans le modèle.

Sur la base de ces observations logiques irréfutables, je soutiens que la version la plus défendable de réalisme scientifique est de type pragmatique, que la meilleure stratégie pour l'avancement de la science est de lire les théories comme si les modèles qu'elles décrivent représentaient quelque aspect du monde. Si les présuppositions ontologiques d'une théorie, telle qu'elle est réalisée dans le modèle sur lequel elle se fonde, sont plausibles, alors nous avons un guide tout désigné pour mettre sur pied un programme d'exploration destiné à passer au crible l'*Umwelt* à la recherche d'exemples d'entités semblables à celles qui sont figurées [*pictured*] dans le modèle. Une telle lecture pourrait nous conduire à mettre en question l'étanchéité des frontières à l'intérieur de l'*Umwelt* et même à poser la question de la frontière ultime de l'*Umwelt* lui-même.

À la lumière de ces lectures, la communauté scientifique développe instruments et procédures dans le but de faire des comparaisons significatives entre les modèles de travail et les aspects du monde qu'ils sont censés représenter.

Les trois règnes de la nature ou de l'*Umwelt* humain

Une analyse plus détaillée de la structure de l'*Umwelt* humain est requise pour suivre le développement des programmes de recherche. La clef est la distinction faite plus haut entre les entités qui sont perceptibles, celles qui sont manipulables et celles qui sont imaginables. Notons que ces catégories se chevauchent. C'est ce fait qui rend possible l'avancement de la science.

R1 est bornée par les limites habituelles des observations actuelles. À n'importe quel moment (dans le développement des humains), il y a une limite à ce qui est perceptible et les entités correspondantes sont donc délimitées. La limite est fixée par la nature des sens humains et par l'équipement et la machinerie qui sont disponibles pour prolonger les sens et rendre de nouveaux points de vue accessibles à partir desquels on puisse percevoir les contenus de l'*Umwelt*. Les frontières de la région 1 peuvent être modifiées par des avancées techniques, par exemple par le développement de vaisseaux spatiaux habités.

R2 est bornée par les limites habituelles des observations possibles. Cette limite est fixée par les présuppositions ontologiques des modèles au moyen desquels les scientifiques représentent les entités imperceptibles supposées rendre compte de ce qui peut être perçu. La frontière entre la région 1 et la région 2 peut être modi-

fiée, par exemple par le pouvoir de résolution croissant des microscopes et des télescopes. Ce qui était imperceptible, seulement disponible en tant que modèle, est maintenant perceptible en principe. Un test d'existence pour tel ou tel modèle devient possible. Par exemple, les nouveaux instruments microscopiques ont rendu visible la structure cristalline des métaux, et ont ainsi déplacé la frontière entre R2 et R1.

R3 est cette région indéterminée au-delà de laquelle on estime rencontrer les limites de toute observation possible. Par exemple, personne ne croit que les champs de potentiel puissent jamais devenir perceptibles⁵.

Il y a une frontière entre cette région et R2, c'est-à-dire entre ce que nous tenons pour possiblement perceptible et ce que nous tenons pour imperceptible en principe. Par exemple, l'intérieur du Soleil pourrait en fournir une bonne illustration. Mais, et c'est un point plus important pour la méthode scientifique, il y a en outre la possibilité que les entités modélisées dans R3 puissent être manipulables, bien qu'elles soient en principe imperceptibles. Nous pouvons apprendre comment manipuler ce que nous ne pouvons pas observer. Sur la base de ce fait historique que les frontières entre R1, R2 et parfois R3 changent pour diverses raisons, on peut construire un argument en faveur de la version pragmatique du réalisme scientifique, c'est-à-dire soutenir qu'il est rationnel de faire une lecture réaliste des théories avec des modèles ontologiquement plausibles. Ce qui fut imperceptible devient perceptible, ou manipulable.

Pour authentifier une hypothèse existentielle relative à un domaine donné, une procédure de test doit prendre en compte une certaine catégorie ontologique, substance, processus, propriété, entité individuelle, etc. Elle doit prendre aussi en compte les espèces naturelles abstraites au cours du processus de comparaison analogique en vue de créer un modèle à partir de la source connue, et enfin elle doit prendre en compte les caractéristiques spécifiques de la manifestation individuelle probable de l'espèce en question.

La région des perceptibles communs, R1, est étendue par l'observation, c'est-à-dire par la perception de nouvelles entités, sous la contrainte des espèces naturelles. Par exemple, une bathysphère a

5. La répartition de la tension dans une machine peut toutefois être présentée visuellement en éclairant fortement avec de la lumière polarisée un modèle en plastique du dispositif, tel par exemple les roues dentées dans un système de transmission.

rendu la fosse de Mandanao perceptible ; et un vaisseau spatial, la face lointaine de la Lune.

La région des perceptibles possibles, R2, est étendue par la conception d'une instrumentation suggérée par les interprétations ou lectures réalistes, des modèles iconiques pertinents. La source du modèle fixe l'ontologie et les espèces naturelles qu'il vise à représenter, et de cette manière influence la fabrication de l'équipement nécessaire. Par exemple, les observations microscopiques de Malpighi de l'existence de capillarités ont authentifié une composante essentielle du modèle de Harvey du système sanguin des mammifères. Toutefois, comme je l'ai dit, une manipulation réussie est un critère de réalité aussi bon que l'observation⁶. Par exemple, l'utilisation de la diffraction des rayons X peut être utilisée pour révéler des structures cristallines imperceptibles.

Que pouvons-nous faire en ce qui concerne la question de l'existence d'entités dans R3, si nous croyons qu'il n'est pas possible de déplacer la frontière de façon à les rendre possiblement perceptibles et par suite effectivement observables du fait du développement de la technologie de l'instrumentation ? Le critère de manipulation est toujours disponible. Cependant, une révision ontologique profonde est requise, et cette révision est préfigurée dans les écrits de William Gilbert⁷, développée par R. J. Boscovich⁸ et portée à son plein accomplissement par Michael Faraday⁹.

On ne peut pas faire sens des lectures réalistes des théories dont des entités R3 constituent le sujet, comme par exemple les champs de potentiel, dans le cadre de la métaphysique de la substance et de l'attribut, et donc dans le cadre de discours fondés sur la logique sujet-prédicat, où les attributs sont des états occurrents du monde. Les modèles iconiques des champs sont au mieux des auxiliaires heuristiques à la mathématisation et à la manipulation. J'ai à l'esprit le modèle de corde élastique de Faraday et le modèle des « atomes » d'éther de Thomson comme gyroscopes complexes.

Pour interpréter les théories R3, nous devons transformer la métaphysique de base de la physique et passer des substances avec attributs (Boyle)¹⁰ aux pouvoirs causaux distribués dans l'espace

6. Ian Hacking a ainsi déclaré que ce que vous pouvez vaporiser est réel.

7. Gilbert 1600.

8. Boscovich 1767.

9. Faraday 1822.

10. Newton a proposé une ontologie ultime des pouvoirs causaux dans son *De Natura Acidorum*.

et le temps (Faraday). Aucun procédé qui révélerait de nouveaux domaines de perceptibles ne peut permettre de mettre sur pied une preuve existentielle. Seul le critère de manipulation demeure.

La métaphysique générale des concepts de « champ »

Les dispositions sont parmi les propriétés empiriques les plus communes. Les concepts dispositionnels sont très largement utilisés dans la vie de tous les jours, pour les choses (« dangereux »), pour les substances (« corrosif ») et pour les personnes (« intelligent »). Logiquement, l'attribution d'une disposition à une entité est conditionnelle, puisqu'une disposition, à la différence d'une propriété occurrente, n'est pas quelque chose qui se manifeste tout le temps. Ainsi nous analysons le terme « corrosif » de la manière suivante : « qui attaque le métal s'il est mis en contact avec lui ». Pour « intelligent », nous pourrions avoir « qui trouve une solution s'il est confronté à un problème difficile ».

Qu'est-ce qui fonde les dispositions ? Un acide continue à posséder son *pouvoir de corroder* même lorsqu'il ne corrode rien actuellement, du fait d'ions H^+ . Qu'est-ce qui rend compte du pouvoir de ces ions ? Leurs constituants subatomiques feront le travail, et cela jusqu'à ce que nous atteignons une strate de pouvoirs primitifs eux-mêmes non fondés, comme les charges ou les champs de potentiel. Une science fondée sur les dispositions et les pouvoirs causaux est hiérarchique.

Si on généralise à la physique cette métaphysique des dispositions et pouvoirs, on obtient la structure conceptuelle d'ensemble suivante : les dispositions sont exprimées sous la forme d'assignations de schémas d'états perceptibles à des régions et localisations dans l'espace et le temps. « Si l'aiguille d'un compas est placée sur la surface de la Terre, elle s'orientera vers le pôle Nord géographique terrestre ».

Les pouvoirs apparaissent en physique sous forme de potentiels. Ce sont les bases permanentes et inconditionnelles des dispositions. « Le champ magnétique terrestre est un domaine continu spatialement distribué (relativement) permanent de pouvoirs causaux ».

Pour des théories qui ont des référents R_3 , la seule chose que nous puissions soutenir, c'est qu'elles peuvent être interprétées comme si elles référerait à des pouvoirs causaux qui se manifestent eux-mêmes comme dispositions. Quand pouvons-nous dire qu'il est démontré que de tels pouvoirs causaux existent ? Puisque les

pouvoirs sont *a fortiori* imperceptibles, le premier critère qui certifie leur existence est la démonstration qu'il est possible de les manipuler. Dans l'expérience de Stern-Gerlach par exemple, dans laquelle on manipule les champs magnétiques d'ions imperceptibles, une image perceptible est ainsi divisée en deux.

Le réalisme de Faraday

Michael Faraday a progressivement abandonné l'idée de forces entre pôles et entre charges dans son modèle générique des champs magnétiques et électriques. Cette idée avait été à la base du modèle d'Ampère des champs comme résultant de forces de Coulomb. En s'inspirant peut-être de l'*orbis virtutis* de William Gilbert, mais plus probablement en repensant les champs centrés en un point de Boscovich, Faraday suggéra que nous envisagions les champs comme des lignes de force continues. Ces champs étaient en effet façonnés par leur répulsion mutuelle et par leur élasticité interne.

L'ontologie de ce plan d'ensemble est pleinement boscovichienne, si l'on met de côté le modèle heuristique des fils élastiques. Un champ consiste en une collection spatialement distribuée de pouvoirs causaux manipulables se manifestant comme dispositions perceptibles d'un corps d'épreuve à se mouvoir dans une certaine direction, s'il est libre, et à s'orienter dans cette direction, s'il est contraint. Les manifestations perceptibles sont biunivoquement liées dans un bel ordonnancement aux pouvoirs du champ. On peut obtenir des représentations très claires et non ambiguës des champs magnétiques et électriques en utilisant la représentation iconique provisoire de la collection de pouvoirs.

Ceci ne résoudra cependant pas le problème de l'interprétation de la mécanique quantique comme théorie censée expliquer les phénomènes « quantiques ». Comme nous allons le voir, les concepts de champ doivent être complétés pour que soient résolus le dualisme onde/particule et le paradoxe apparent du chat de Schrödinger.

La mécanique quantique

Les états quantiques sont imperceptibles, mais sont toutefois manipulables. S'ils existent, c'est dans le troisième règne de l'*Umwelt*. En proposant des interprétations de la théorie mathématique des

phénomènes quantiques, il est d'usage courant de recourir aux termes de « particule » et d'« onde » pour décrire les phénomènes perceptibles dans les termes de l'ontologie de la substance et de l'attribut. Nous percevons des traces dans les chambres de Wilson et des bandes sombres et claires sur des planches photographiques, et ces phénomènes résultent de l'interaction entre différentes sortes d'appareils et certains faisceaux de « quelque chose » obtenus à partir d'un filament convenablement chauffé. Ainsi nous versons dans le parler « particules » et le parler « ondes ». Dans les années 1930, le grand projet était de créer un modèle iconique *du* mécanisme qui montrerait les deux sortes de phénomènes dans les situations appropriées. Quelles sont les variables cachées ?

Finalement la communauté s'est elle-même convaincue qu'il n'y a pas de variables cachées. La mécanique quantique n'est pas incomplète. Il n'y a ni particules ni ondes dans la région de l'imperceptible et donc nous ne parlons pas du règne 2. Les modèles iconiques sont aussi inappropriés pour la mécanique quantique qu'ils l'étaient pour les champs de Faraday. Ils n'ont pas même de valeur heuristique. Dans ces circonstances, il vaut mieux penser mathématiquement, et non iconiquement. Nous pouvons cependant nous enquérir de l'ontologie la plus appropriée à telles ou telles formes mathématiques. Nous nous écartons de la « demeure de la raison » de Duhem et nous tournons vers l'« usine » de Lodge, mais réalisée sous une forme très abstraite.

Puisque le parler « particules » et le parler « ondes » ont tous deux en définitive leur fondement dans une ontologie de la substance, il semblerait que, tout comme les théoriciens du champ du XIX^e siècle ont abandonné l'ontologie à la Boyle des substances et des attributs en faveur des pouvoirs causaux, les théoriciens de la mécanique quantique devraient en faire autant. Le monde qui se cache derrière les phénomènes décrits par la mécanique quantique devrait peut-être lui-même être décrit en termes de champs et non en termes de substances. Cependant au XIX^e siècle, les manifestations des pouvoirs causaux des champs étaient stables et cohérentes, quel que soit le choix de l'appareillage. Il importait peu de savoir comment et avec quoi on interagissait avec le champ gravitationnel, la manifestation était la même, une accélération vers le centre de la Terre. Faraday se mit en peine d'établir expérimentalement que toutes les « électricités » étaient une seule et même chose, quelles que soient la source et la manière dont elles se manifestent. Au XX^e siècle, il devint vite évident que les manifestations des pouvoirs causaux des électrons n'étaient pas uniformes par

rapport à l'instrumentation, mais dépendaient du genre d'appareil construit.

L'avènement des phénomènes décrits par la mécanique quantique modifie le tableau simple du XIX^e siècle. Il faut faire franchir à la métaphysique une étape de plus dans son développement.

Le monde selon Bohr

Nous reconnaissons maintenant que la manière dont on comprenait l'« Interprétation de Copenhague » vers le milieu du XX^e siècle ne reflète pas la subtilité de la pensée de Niels Bohr¹¹. Des auteurs tels que Bunge¹², et beaucoup d'autres, ont présenté Bohr comme s'il prônait une sorte d'idéalisme. En commentant une interprétation de la physique d'inspiration généralement bohrienne, Einstein remarque qu'elle « revient au même que le principe de Berkeley, *esse est percipi*. L'« être » est toujours quelque chose qui est mentalement construit pas nous »¹³. L'« Interprétation de Copenhague » ne serait rien de plus subtil, comme philosophie de la physique, qu'une sorte de phénoménalisme, un mélange de sensationnisme à la Mach et de théorie de la connaissance à la Berkeley.

Pour rendre clair ce que Bohr semble avoir dit dans le débat qui l'opposa à Einstein concernant la signification de l'expérience de pensée EPR, réalisée plus tard dans le laboratoire d'Aspect (1982), nous avons besoin d'un nouveau concept qui n'était pas disponible du temps de Bohr. Pour introduire ce concept, retournons à la vieille énigme du chat de Schrödinger. Ce chat est dans une boîte close munie d'un procédé aléatoire pour tuer les chats. Le dispositif est supposé constituer un modèle de la relation de superposition. Avant que la boîte ne soit ouverte, et l'expérience réalisée, l'état du chat est une superposition de « mort » et « vivant ». Mais ces états sont formellement contradictoires et ne peuvent pas être vrais à la fois du même chat au même moment. Est-ce une énigme ?

Pas du tout. Avant que la boîte ne soit ouverte, la description du dispositif autorise la *manifestation de deux possibilités*. La superposition est une procédure pour prédiquer conjointement des possibilités et non des actualités. Une fonction d'ondes ne dénote pas des états cachés mais des états possibles d'un complexe appareil /

11. Cf. Brock 2003, par exemple.

12. Bunge 1959, p. 180.

13. Einstein 1970, p. 669.

monde. Une expérience ne sélectionne pas un état parmi des états préexistants actuels, mais réalise un et un seul des états superposés décrits.

Toutefois, l'histoire du chat a une conséquence de plus. Un être humain doit faire une opération avec la boîte pour révéler l'état du chat. Nous avons besoin d'un concept pour référer à ce qui pourrait se manifester à un être humain comme résultat de l'action humaine. Nous pouvons emprunter le concept d'« affordance »¹⁴ à la psychologie de Gibson (1986). Une affordance est une disposition assignable à quelque entité matérielle par exemple, telle qu'un élément humain figure parmi les clauses qui composent la disposition. Si une personne effectue telle ou telle action, alors tel ou tel phénomène se manifeste à elle. Un sol fournit la possibilité de marcher [*a floor affords walking*], comme une bouilloire fournit la possibilité de faire bouillir quelque chose [*a kettle affords boiling*]. La boîte de Shrödinger fournit la vision d'un chat mort ou d'un chat vivant à quiconque ouvre la boîte. Les affordances contradictoires sont inoffensives, puisque logiquement ce sont des possibilités. Les états contradictoires sont des monstres logiques déformés.

Exprimée dans la terminologie contemporaine, l'intuition la plus profonde de Bohr semble avoir été que les « phénomènes » sont les manifestations d'*affordances* de complexes appareil/monde indissolubles. De façon analogue à la manière dont Kant voyait les phénomènes comme l'œuvre de catégories schématisées imposant une forme aux flux des sensations, de même Bohr voyait les phénomènes de la physique comme l'œuvre de l'appareillage façonnant la matière du monde, indifférenciée de notre point de vue, de façon à lui donner des formes que nous pouvons reconnaître. Il « préconisait l'utilisation du mot *phénomène* pour référer exclusivement aux observations obtenues dans des circonstances spécifiées, prenant en compte l'ensemble du dispositif expérimental »¹⁵. Les dualités

14. Le « réalisme écologique » de J.J. Gibson met en avant une théorie de la perception *directe* selon laquelle loin d'être un processus par lequel l'esprit construit le perçu à partir des données au moyen d'inférences et de calculs complexes, la perception est au contraire saisie immédiate d'une information dans un environnement donné. Gibson introduit alors le terme d'« *affordance* » pour désigner ce que l'environnement offre à l'animal, ce qu'il lui propose en réponse à une attente qualifiée dans une situation donnée : l'arbre fournit [*affords*] un refuge au chat, le ver fournit un aliment à l'oiseau. Gibson défend la thèse que ce que la perception perçoit, ce sont les « *affordances* ». (N.d.T.)

15. Bohr 1970, p. 237-238.

onde/particules sont des artefacts de traits nécessaires que présente l'usage d'un appareillage expérimental de nature telle que ses états peuvent être perçus par des êtres humains. Aucun appareil ne peut être construit qui fournisse [*affords*] à la fois des phénomènes de type particules et des phénomènes de type ondulatoire en un même temps et en un même lieu. Le *Welt* fournit des phénomènes de type particules pour tel genre d'appareillage et des phénomènes de type ondulatoire pour tel autre genre d'appareillage. De toute façon, les affordances contradictoires ne sont pas des objets impossibles.

Les affordances sont des dispositions des complexes appareils-monde. Les dispositions sont les manifestations perceptibles, sensibles au contexte, des pouvoirs causaux. Le monde ne peut être représenté que dans une ontologie non substantielle, celle des pouvoirs causaux. Cependant, les pouvoirs causaux derrière les phénomènes expérimentaux sont eux-mêmes des affordances, puisqu'ils ne sont manifestés que par les complexes monde/appareil que nous pouvons construire. Le troisième règne de l'*Umwelt*, imperceptible mais manipulable, est indéterminé. Comme Bohr le remarque¹⁶, nous ne devrions pas utiliser des expressions telles que « déranger les phénomènes par nos observations » ou « créer des aspects physiques des objets atomiques par nos mesures ». Lorsqu'il est branché et convenablement manipulé, l'appareil façonne le « matériau du monde » indéterminé en entités que nous pouvons percevoir et décrire.

Rom HARRÉ

Linacre College, Oxford

(traduction d'Ivahn SMADJA)

16. Bohr 1970, p. 237.

Références bibliographiques

- ASPECT A., DALIBARD H. et ROGER G. (1982), «Experimental test of Bell's Inequality using time-variable analyzers», *Physics Review Letters*, 49, 25, p. 1804-1807.
- AUSTIN J. L. (1962), *Sense and Sensibilia*, Londres, Oxford University Press.
- BOHR N. (1970), «Discussion with Einstein», *Albert Einstein : Philosopher-scientist*, P. A. Schilpp (éd.), La Salle, IL, Open Court.
- BOSCOVICH R. J. (1963) [1767], *A Theory of Natural Philosophy*, J. M. Child (trad.), Cambridge, MA, MIT Press.
- BOYLE R. (1667), *The Origine of Forms and Qualities (according to the Corpuscularian Philosophy)*, Oxford, Davis.
- BROCK S. (2003), *Niels Bohr's Philosophy of Quantum Physics in the Light of the Helmholtzian Tradition of Theoretical Physics*, Berlin, Logos Verlag.
- BUNGE M. (1959), *Metascientific Queries*, Springfield, IL, Charles C. Thomas.
- CARTWRIGHT N. (1983), *How the Laws of Physics Lie*, Oxford, Clarendon Press.
- DUHEM P. (1954) [1905], *The Aim and Structure of Physical Theory*, P. P. Wiener (trad.), Princeton, Princeton University Press.
- EINSTEIN A. (1970), «Reply to criticism», *Albert Einstein : Philosopher-scientist*, P. A. Schilpp (éd.), La Salle, IL, Open Court.
- FARADAY M. (1991) [1822], *Chemical Notes, Hints and Objects of Pursuit*, D. Gooding et R. D. Tweney (éd.), Londres, Peregrinus.
- GIBSON J. J. (1986), *The Ecological Approach to Visual Perception*, Hillsdale, NJ, Erlbaum.
- GILBERT W. (1958) [1600], *De Magnete*, P. F. Mottelay (trad.), New York, Dover.
- HODGKIN D. (1965), «The X-ray analysis of complicated molecules», *Les Prix Nobel*, Stockholm, Royal Swedish Academy of Sciences, p. 157-178.
- ROTHBART D. (1997), *Explaining the Growth of Scientific Knowledge : Metaphor, Model and Meaning*, Lampeter, Mellen Press.