



HAL
open science

L'empirisme modal

Quentin Ruyant

► **To cite this version:**

Quentin Ruyant. L'empirisme modal. Philosophie. Université de Rennes; Université catholique de Louvain (1970-..), 2017. Français. NNT : 2017REN1S117 . tel-01792453

HAL Id: tel-01792453

<https://theses.hal.science/tel-01792453>

Submitted on 15 May 2018

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

THÈSE / UNIVERSITÉ DE RENNES 1

Sous le sceau de l'Université Bretagne Loire

en co-tutelle internationale avec
L'UNIVERSITÉ CATHOLIQUE DE LOUVAIN, BELGIQUE

pour les grades de
DOCTEUR EN PHILOSOPHIE DE L'UCL
DOCTEUR DE L'UNIVERSITÉ DE RENNES 1
Mention : Philosophie
École doctorale ELICC

présentée par

Quentin RUYANT

préparée à l'UFR de philosophie (Rennes)
et à l'Institut Supérieure de Philosophie (Louvain-la-Neuve)

L'empirisme modal

Thèse soutenue à Rennes
le 29 septembre 2017
devant le jury composé de :

Filipe DRAPEAU-VIEIRA-CONTIM
Maître de conférences, Université de Rennes 1
Président

Pierre JORAY
Professeur, Université de Rennes 1
Directeur de thèse

Alexandre GUAY
Chargé de cours, Université Catholique de Louvain
Co-directeur de thèse

Anouk BARBEROUSSE
Professeur, Université Paris-Sorbonne
Examineur

Otávio BUENO
Professeur, University of Miami
Examineur

Peter VERDÉE
Chargé de cours, Université Catholique de Louvain
Secrétaire

Un grand merci : aux membres de mon comité de suivi, Peter Verdée, Pierre Joray, Filipe Drapeau-Contim et Alexandre Guay, pour l'expertise dont ils m'ont fait bénéficier dans leurs commentaires, et tout particulièrement à Alexandre pour son dévouement et ses précieux conseils ; aux membres externes de mon jury, Otávio Bueno et Anouk Barberousse ; à François Loth et Michel Bitbol pour leur orientation au moment de ma reprise d'études ; à toute l'équipe des professeurs et du personnel administratif de l'UFR de philosophie de Rennes, et tout particulièrement Filipe et Pierre, pour leur confiance et l'opportunité qu'il m'ont offerte de suivre un Master, puis de réaliser cette thèse ; à la législation française pour le congé sabbatique ; aux doctorants et post-doctorants que j'ai cotoyé pendant ma thèse, en particulier Baptiste Le Bihan pour ses discussions passionnées, Youna Tonnerre et Ali Kebir pour leur accueil, et Thomas Müller et Andrew Sims pour leur agréable compagnie et leurs conseils ; un grand merci, enfin, à mes parents, mon frère et mes sœurs pour leur encouragements, et à Punwalai Kewara pour son soutien et sa compréhension.

Table des matières

| | | |
|-----------|---|------------|
| I | Réalisme et anti-réalisme scientifique | 11 |
| 1 | Le réalisme scientifique : aspects sémantiques | 15 |
| 1.1 | L'empirisme logique | 18 |
| 1.2 | Après l'empirisme logique | 29 |
| 1.3 | La conception sémantique des théories | 39 |
| 2 | Le réalisme scientifique : aspects épistémiques | 53 |
| 2.1 | La sous-détermination par l'expérience | 54 |
| 2.2 | L'argument du miracle | 60 |
| 2.3 | La méta-induction pessimiste | 71 |
| 3 | Le réalisme structural : le meilleur des deux mondes ? | 79 |
| 3.1 | Le réalisme structural épistémique | 81 |
| 3.2 | Les objections au réalisme structural épistémique | 89 |
| 3.3 | Le réalisme structural ontique | 101 |
| 3.4 | Esquisse d'un empirisme modal | 110 |
| II | L'empirisme modal | 119 |
| 4 | Qu'est-ce qu'une théorie scientifique ? | 123 |
| 4.1 | Le contenu théorique | 126 |
| 4.2 | La construction de modèles | 130 |
| 4.3 | La confrontation à l'expérience | 138 |
| 4.4 | Peut-on ignorer les complications ? L'attitude empiriste | 144 |
| 4.5 | Aspects sémantiques | 150 |
| 5 | Qu'est-ce qu'une théorie empiriquement adéquate ? | 165 |
| 5.1 | La conception traditionnelle de l'adéquation empirique | 167 |
| 5.2 | L'adéquation empirique comme succès prédictif des modèles | 180 |

| | | |
|------------|--|------------|
| 5.3 | Différentes formes d'adéquation empirique | 202 |
| 6 | Induction et abduction : l'empirisme contre le réalisme | 215 |
| 6.1 | L'induction sur les modèles | 217 |
| 6.2 | L'empirisme modal dans le débat sur le réalisme scientifique | 225 |
| 6.3 | Empirisme et explication | 232 |
| 7 | La sous-détermination des modalités par l'expérience | 247 |
| 7.1 | Quel empirisme pour rendre justice à la pratique scientifique ? | 249 |
| 7.2 | La sous-détermination | 261 |
| 7.3 | Les modalités ne sont pas (strictement) sous-déterminées par l'expérience | 270 |
| III | L'interprétation métaphysique des théories | 291 |
| 8 | Interpréter le vocabulaire théorique | 297 |
| 8.1 | L'empirisme modal comme réalisme | 298 |
| 8.2 | La signification des termes théoriques | 308 |
| 8.3 | La nature des propriétés physiques | 320 |
| 9 | Interpréter les modalités | 331 |
| 9.1 | L'inférence vers les modalités : remarques méthodologiques | 333 |
| 9.2 | Les caractéristiques des modèles et situations : aspects formels | 355 |
| 9.3 | Une taxinomie des propriétés modales | 373 |
| 10 | Interpréter les théories | 401 |
| 10.1 | Induction sur les modèles et engagement ontologique . . . | 402 |
| 10.2 | Quelle voie choisir ? | 411 |
| 10.3 | Perspectives | 426 |

Introduction

Et je croirai avoir assez fait, si les causes que j'ai expliquées sont telles que tous les effets qu'elles peuvent produire se trouvent semblables à ceux que nous voyons dans le monde, sans s'enquérir si c'est par elles ou par d'autres qu'ils sont produits. Même je crois qu'il est aussi utile pour la vie, de connaître des causes ainsi imaginées, que si on avait la connaissance des vraies : car la médecine, les mécaniques, et généralement tous les arts à quoi la connaissance de la physique peut servir, n'ont pour fin que d'appliquer tellement quelques corps sensibles les uns aux autres, que, par la suite des causes naturelles quelques effets sensibles soient produits.

René Descartes
Principes de la philosophie (IV, 204)

Que nous apprennent les sciences sur la réalité ? Pour répondre à cette question, on pourra simplement regarder ce qu'elles nous disent. On examinera le contenu des théories : la biologie nous apprend que les organismes vivants sont issus de processus évolutifs, qu'ils sont composés de cellules, dont le fonctionnement s'explique par des processus variés impliquant des gènes, des protéines, des enzymes... La chimie nous dit que la matière qui nous entoure est le théâtre de différentes réactions entre molécules. La physique nous explique comment les constituants de ces molécules interagissent avec la lumière, et quelles forces les animent. La cosmologie nous renseigne sur l'origine de l'univers et son évolution. Voilà ce que nous apprennent les sciences.

Il s'agit là sans doute de l'attitude naïve, naturelle, qu'on peut avoir envers le contenu des sciences : comme nous renseignant directement sur ce dont est fait la réalité. Mais il y a plusieurs raisons pour lesquelles un philosophe pourra être insatisfait face à ces explications.

D'abord, il pourra demander à en savoir plus : d'accord, il y a des gènes, des atomes et des quarks, et des lois qui régissent leur évolution, mais que

sont exactement ces entités ? C'est bien ce que nous disent les sciences, mais comment *interpréter* ce discours ? Après tout, les sciences contemporaines sont fortement mathématisées. Les physiciens, quand ils parlent d'électrons et de photons, ne décrivent pas de simples petits objets qui se bousculent comme des boules de billard : ils proposent plutôt des structures mathématiques, des modèles, des matrices de nombres complexes et des équations différentielles. Dans sa formulation traditionnelle, la physique quantique se présente même comme une théorie instrumentale, nous fournissant des règles pour prédire les phénomènes sur la base des modèles plutôt que des lois immuables. La question « que nous disent les sciences ? », c'est-à-dire la question de savoir ce que représentent ces équations et ces modèles, se fait alors plus évasive, et notre philosophe s'apercevra qu'il n'existe pas de réel consensus à ce sujet chez les scientifiques eux-mêmes.

Ensuite, le philosophe pourra se demander ce que valent les explications scientifiques, et ce qui les justifie. Est-on vraiment en train de décrire ce qui existe dans le monde ? Et si oui, comment le savons-nous ? N'est-on pas seulement en train de proposer des explications qui « marchent », qui rendent correctement compte de nos observations, et ne devrait-on pas s'en contenter ? Ce faisant, nous déportons notre attention philosophique du contenu des théories pour la tourner vers les méthodes qui permettent d'acquérir une connaissance du monde, et vers ce qui pourrait justifier le bien-fondé de cette connaissance, et en particulier la confrontation expérimentale des théories et leur application pratique à travers le développement de techniques. Nous ne nous questionnons plus sur le contenu de nos représentations, mais sur leur statut, leur fonction et leur rapport à la réalité. Il s'agit, en fait, de la question du réalisme scientifique : nos théories sont-elles vraies ? Ou sont-elles seulement utiles ?

Il est coutume, en philosophie contemporaine, de considérer que ces deux types de questions – celles, métaphysiques, qui concernent la bonne interprétation à avoir du contenu particulier de nos théories, et celles, épistémologiques, qui concernent la justification des méthodes permettant d'acquérir une connaissance du monde – peuvent être pensées indépendamment les unes des autres. Il serait possible de faire de la métaphysique spéculative sans se préoccuper outre mesure de la manière dont les théories sont utilisées et confrontées à l'expérience. Pourtant, le caractère abstrait de la représentation scientifique, la pluralité des interprétations possibles et l'absence de consensus à leur égard devrait nous amener à nous questionner sur ce qui peut justifier ou non l'une ou l'autre des interprétations, et à nous tourner vers la pratique et l'expérience : c'est finalement au moment de l'application de nos théories que leur interprétation est réellement mise à

contribution et peut revêtir un caractère tangible. Par ailleurs, se contenter d'affirmer que le discours scientifique est un discours « qui marche », ou au contraire prétendre qu'il « décrit » le monde, c'est déjà proposer une interprétation minimale de ce discours. Ce que « marcher », « décrire » ou « expliquer » veut dire demande déjà à être examiné. La citation de Descartes en exergue l'illustre : on y trouve l'idée que les explications ont avant tout pour fin d'être utiles, et on y trouve, surtout, une explicitation de ce que revêt cette utilité, en termes de causalité et d'expérience (d'observation, d'application). On voit, finalement, qu'une position épistémologique ne va pas sans un minimum de bagage métaphysique (ici, une référence à la causalité) qui pourra déterminer dans les grandes lignes la façon dont on interprétera nos théories.

Ce que nous souhaitons défendre dans cette étude, et ce qui en constitue la ligne directrice, c'est que l'interprétation métaphysique des théories scientifiques ne devrait pas être dissociée des questions d'ordre épistémologiques. La manière dont les théories scientifiques sont utilisées, la manière dont elles sont confrontées à l'expérience, et ainsi justifiées ou abandonnées, doit nous servir de guide, et de seul guide, pour interpréter leur contenu. Ce faisant nous nous positionnons résolument dans la tradition pragmatiste, née aux États-Unis au tournant du 20^e siècle sous l'impulsion de Peirce et de James, qui met l'accent sur les conséquences pratiques de nos représentations, et en opposition à une métaphysique hors-sol qui voudrait considérer les questions épistémologiques comme réglées, ou pour le moins peu pertinentes pour la métaphysique.

Nous fournirons au cours de cette étude quelques arguments allant en ce sens. Mais la meilleure justification que nous pouvons espérer pour cette attitude pragmatiste est une démonstration par l'exemple. Aussi, le cœur de cette thèse consiste à proposer et à défendre une position épistémologique originale, que nous avons baptisé l'empirisme modal, dont nous montrons les vertus pour éclairer les débats épistémologiques, en particulier la question du réalisme scientifique, et donner sens à la pratique scientifique, et dont nous démontrerons la fructuosité et la richesse quand il s'agit de servir de cadre pour interpréter le contenu des théories scientifiques.

La position que nous défendons est une position empiriste, en ce sens qu'elle tente de ramener les enseignements de la science à notre expérience. Mais nous souhaitons penser l'expérience en un sens large. Il ne s'agit pas de réduire le scientifique à un simple spectateur de la nature qui se contenterait d'enregistrer des observations. En outre, il existe de bonnes raisons de penser que l'expérience non interprétée, le « donné », est un mythe. Notre position est donc tout à la fois un empirisme, mettant

l'accent sur l'expérience, et la proposition d'un cadre particulier au sein duquel interpréter l'expérience. Sa principale caractéristique est, dans la lignée du pragmatisme de Peirce, un recours aux modalités naturelles, ou autrement dit, une adhésion à l'idée qu'il y a de la nécessité dans la nature qui contraint les possibles, la manière dont les phénomènes se déroulent. Si l'empirisme s'est traditionnellement caractérisé par une méfiance envers l'idée de nécessité dans la nature, préférant s'en tenir à l'expérience effective sans référence au possible, nous pensons que c'est la meilleure manière de rendre compte de la richesse de l'expérience et de la pratique, et de son rapport à l'interprétation, et qu'il s'agit du bon outil pour ouvrir la voie à une métaphysique empiriste qui interpréterait le contenu des théories sur la base de l'expérience uniquement.

Enfin il s'agit aussi selon nous du meilleur moyen de dépasser les querelles épistémologiques qui divisent empiristes et réalistes. Selon nous, l'empirisme modal est le meilleur compromis entre une attitude de défiance envers les sciences, qui voudrait n'en faire que de simples instruments mais minerait toute tentative d'en tirer des enseignements, et une adhésion inconditionnée envers la représentation scientifique qui nous entraînerait vers des spéculations sans plus de fondements dans l'expérience.

Avant de défendre cette position, il nous faut revenir en détail sur les débats philosophiques concernant le statut de la représentation scientifique et la question du réalisme (partie I). Nous distinguerons les deux aspects qui ont été les plus débattus au cours du dernier siècle : l'aspect sémantique, concernant la nature de la représentation et son rapport à la réalité, et l'aspect épistémique, concernant nos possibilités d'acquisition de connaissance. Nous exposerons les principaux arguments qui ont été avancés, sur ces aspects, en faveur ou à l'encontre du réalisme. Nous nous attarderons également sur une position particulière, le réalisme structural, qui propose un compromis entre réalisme et empirisme : les avancées et difficultés rencontrées par cette position seront une occasion d'ébaucher la solution que nous proposons.

Dans un second temps, nous exposerons en détail la position que nous défendons dans cette thèse : l'empirisme modal (partie II). Pour ce faire, nous commencerons par examiner le contenu des théories physiques et la manière dont elles sont confrontées à l'expérience, en toute généralité. Nous nous demanderons ensuite de quelle manière définir le succès de cette confrontation : qu'est-ce que l'adéquation empirique ? Ceci nous permettra d'exposer l'empirisme modal plus précisément, et la manière dont il articule l'adéquation empirique et l'idée de nécessité dans la nature. Enfin nous défendrons cette position face à ses concurrentes, le réalisme,

et les autres versions d'empirisme, afin de montrer comment elle éclaire le débat épistémologique et rend compte de la pratique scientifique. Nous expliquerons au passage pourquoi cette position est bien un empirisme, et comment les rapports de nécessité peuvent être connus par l'expérience.

Pour terminer cette étude, nous tenterons de démontrer par l'exemple la fructuosité de l'empirisme modal quand il s'agit d'interpréter le contenu des théories scientifiques (partie III). Nous nous demanderons d'abord comment interpréter sémantiquement le vocabulaire de nos théories, puis comment interpréter métaphysiquement les modalités naturelles. Nous verrons que plusieurs options s'offrent à nous, et que l'adhésion aux modalités ouvre la voie à une métaphysique empiriste capable de renouveler les questions interprétatives, au sujet de la mécanique quantique ou des problématiques de réduction et d'émergence.

Première partie

**Réalisme et anti-réalisme
scientifique**

Nous avons évoqué en introduction deux types de questionnement philosophiques sur les théories scientifiques : les questions métaphysiques, relatives à l'interprétation des théories, et les questions épistémologiques relatives à la possibilité de connaître la réalité, et au statut de la connaissance elle-même. Ces dernières sont celles qui nous intéressent en premier chef dans cette étude, puisque notre objet est de les placer au cœur des questions interprétatives. Nous proposons dans cette partie une revue des débats philosophiques à leur sujet, en nous concentrant sur la question centrale de l'épistémologie des sciences : celle du réalisme scientifique.

Le réalisme scientifique est souvent décrit comme la position suivant laquelle nos meilleures théories scientifiques sont vraies, ou approximativement vraies. Mais la simplicité de cette formulation masque ses multiples facettes, et les multiples questions qu'on peut se poser à ce sujet. Certaines portent sur la fiabilité des méthodes d'acquisition des connaissances : les méthodes utilisées en science permettent-elles d'accéder à la vérité, ou de converger vers la vérité ? D'autres portent sur le statut des objets de la connaissance eux-mêmes : sont-ils indépendants de nos observations ? De nos concepts ? De nos valeurs ? D'autres, enfin, portent sur la manière dont nos représentations se rapportent à ces objets, et sur leur fonction : en sont-elles de simples descriptions, ou doit-on plutôt les voir comme des métaphores, des fictions utiles, permettant de prédire et d'interagir avec succès ? Ainsi on distingue généralement trois thèses qui, prises ensemble, constituent le réalisme scientifique (par exemple chez Psillos (1999, p. xvii)) :

Thèse métaphysique : la nature, objet d'étude de la science, existe indépendamment de nous, de nos concepts, théories et observations.

Thèse sémantique : les énoncés de nos théories concernant la constitution de la nature sont soit vrais, soit faux, ce en vertu de la constitution de la nature.

Thèse épistémique : il est possible de savoir si nos énoncés sont vrais ou faux, et ainsi d'acquérir une connaissance de la constitution de la nature.

La thèse métaphysique s'oppose à différentes formes d'idéalisme, ou à certaines versions radicales de constructivisme ou de relativisme, qui affirment que les objets de la science ne sont pas fondamentalement indépendants de nous. La thèse sémantique s'oppose notamment à l'instrumentalisme qui tente de réduire le contenu cognitif des théories scientifiques à nos observations, manipulations et prédictions. Enfin la thèse épistémique s'oppose aux versions d'empirisme et de scepticisme qui affirment que

bien que nos théories prétendent décrire une réalité indépendante, et non seulement prédire avec succès, nous ne sommes pas en position de savoir si elles sont vraies. Si l'on accepte ces trois thèses, on est réaliste : la réalité existe, nos théories ne sont pas de simples outils mais « parlent » de la réalité, enfin, elles sont vraies (ou approximativement vraies). Le réalisme consiste, en somme, à faire sienne l'attitude naturelle qui consiste à ne pas différencier foncièrement la réalité des représentations que l'on s'en fait (au-delà des cas d'illusion sur lesquels on pense pouvoir s'entendre) : les deux, si elles sont distinctes, au moins se correspondent.

La question du réalisme n'est pas nouvelle : le scepticisme à l'égard de nos représentations communes remonte à l'antiquité. Les différentes thèses exposées plus haut ont été présentes au sein du questionnement philosophique sur la science moderne depuis son avènement au 17^e siècle, à travers des questions portant sur l'idéalité des objets ou sur la justification de l'induction. Elles ont connu un tournant important au début du 20^e siècle, avec une emphase sur les questions linguistiques avec le mouvement de l'empirisme logique qui lança le projet d'une reconstruction logico-mathématique du contenu des théories scientifiques. L'idée était alors, face à la prééminence de l'idéalisme allemand et britannique, d'évacuer les questions métaphysiques sur la nature de la réalité pour ramener tout contenu théorique à l'expérience, niant ainsi la thèse sémantique du réalisme scientifique. Dans la deuxième moitié du 20^e siècle, les thèses de Kripke et Putnam, et différentes critiques du projet de l'empirisme logique, ont initié un retour du réalisme sémantique, et alors l'attention des philosophes s'est portée de nouveau sur les questions épistémiques, autour de deux principaux arguments : l'un, anti-réaliste, fondé sur le changement théorique, et l'autre, réaliste, sur le succès empirique des sciences.

Nous revenons sur ces différents aspects dans la première partie de cette étude. Le chapitre 1 examinera les questions d'ordre sémantique, qui concernent le rapport entre nos représentations et la réalité. Nous y exposerons les principales thèses de l'empirisme logique et les arguments en faveur d'un réalisme sémantique. Le chapitre 2 portera sur les questions épistémiques. Nous y développerons les principaux arguments contre le réalisme et les réponses qui leur sont apportées. Enfin, le chapitre 3 porte sur une position particulière qui se veut un compromis entre réalisme et anti-réalisme : le réalisme structural. L'examen de cette position et de ses difficultés nous permettra d'esquisser la position que nous souhaitons défendre dans cette thèse.

Chapitre 1

Le réalisme scientifique : aspects sémantiques

English abstract

We examine the semantic aspect of scientific realism, which concerns the relationship between representation and reality. We present the main theses of logical empiricism, which attempt to reduce meaning to experience. These theses face difficulties, in particular the indispensability of theoretical terms, confirmation holism and the theory-ladenness of observation. There are two possible reactions to these difficulties : one is to integrate coherentist aspects, toward more relativism, the other to assume semantic realism. Constructive empiricism attempts to retain the empiricist stance while endorsing semantic realism. Finally, we expose structuralist attempts to bypass semantic questions through the so-called semantic conception of scientific theories.

Avant de se demander si une connaissance de la réalité est possible, il convient d'être au clair sur le statut de la connaissance elle-même : nos théories ont-elles pour but de décrire la réalité telle qu'elle est, indépendamment de nos conceptions et de nos observations ? Ce type de question est d'ordre sémantique. Il s'agit en effet de se demander ce que disent nos théories en général, ce dont elles parlent, indépendamment du contenu de telle ou telle théorie, et indépendamment du fait qu'elles soient vraies.

Les théories scientifiques, notamment en physique, sont généralement présentées dans les manuels sous forme d'équations mathématiques, les « lois » de la théorie, exprimées à l'aide d'un vocabulaire spécifique correspondant à des objets, propriétés ou processus physiques (« électron », « spin », « force »). Ces lois représentent les aspects dynamiques du monde. Ce contenu est ensuite habituellement déployé à l'aide d'exemples types d'applications et de modèles. La question de la signification des théories scientifiques porte donc sur deux aspects principaux : la structure donnée par les équations ou les modèles, d'une part, et le vocabulaire théorique d'autre part. Cette question a été abordée durant une grande partie du 20^e siècle sous l'angle de la philosophie du langage : on considère qu'une théorie est un ensemble d'énoncés linguistiques, exprimés dans un formalisme mathématique. Les questions sémantiques sont alors des questions relatives à la signification de ces énoncés.

Les notions de signification et de vérité sont étroitement liées. À l'évidence, la valeur de vérité d'un énoncé dépend de la signification qu'on lui attribue, et en effet, la notion de signification est généralement analysée (chez ceux qui se positionnent dans la lignée du *Tractatus logico-philosophicus* de Wittgenstein) en termes de conditions de vérité : la signification d'un énoncé doit se comprendre en termes de ce qui rendrait vrai cet énoncé. Ainsi il est possible, pour illustrer les principales approches, d'approcher la question sous l'angle des différentes conceptions de la vérité.

Traditionnellement, on distingue trois grandes familles de conceptions : une conception cohérentiste, selon laquelle la valeur de vérité d'un énoncé dépend de sa compatibilité avec le schème conceptuel auquel il appartient, la conception pragmatiste, suivant laquelle la vérité d'un énoncé dépend de nos capacités (éventuellement idéales) de vérifier cet énoncé, ou encore du succès pratique de cet énoncé, enfin la conception de la vérité comme correspondance, suivant laquelle la vérité est une relation de correspondance entre nos représentations et la réalité.¹ En d'autres termes, le lieu

1. Il faudrait, pour compléter le tableau, évoquer les conceptions déflationnistes comme la théorie de la redondance, suivant laquelle affirmer qu'un énoncé est vrai, c'est simplement affirmer cet énoncé. Nous ne les mentionnons pas ici, car elles n'éclairent pas

de la vérité peut être placé dans nos représentations elles-mêmes, dans l'expérience ou dans le monde.

On pourra de manière schématique associer à ces différentes conceptions différentes manières de concevoir la signification, et donc le statut des énoncés, y compris les énoncés scientifiques. En l'occurrence, une conception cohérentiste nous amènerait à associer la signification aux relations qu'entretiennent les énoncés ou les termes de notre langage les uns avec les autres. Elle pourra mettre l'accent sur la structure de notre schème conceptuel. Une conception pragmatiste tendrait à ramener la signification à l'expérience. Enfin, une conception de la vérité comme correspondance interprétera nos énoncés comme des descriptions d'une réalité qui nous est indépendante.

De nombreux auteurs (par exemple Putnam (1980)) considèrent que la vérité-correspondance est une composante essentielle du réalisme scientifique. Nous parlerons donc à ce sujet de réalisme sémantique. On peut l'exprimer en termes de référence des termes théoriques : le vocabulaire de nos théories fait référence à des entités réelles, par exemple des propriétés naturelles, existant indépendamment de nous dans le monde. L'enjeu, ici, est en partie normatif : il s'agit de savoir si le but de la science est de produire des théories qui décrivent correctement la réalité, ou simplement des théories qui fonctionnent². Il est aussi de se mettre au clair sur le statut de la métaphysique, si cette dernière est comprise, en philosophie des sciences, comme la discipline consistant à interpréter les théories. La métaphysique, si elle est traditionnellement conçue comme s'intéressant à la nature fondamentale de la réalité, semble présupposer le réalisme sémantique. Mais elle génère une certaine suspicion : comment pourrions-nous prétendre à une telle connaissance sans un accès privilégié à la réalité ? N'accède-t-on pas à la réalité de manière médiate, à travers les représentations que l'on s'en fait ? Cette suspicion s'accompagne d'une critique de la notion de vérité-correspondance : comment donc pourrions-nous parler d'une relation de correspondance entre nos représentations et la réalité si nous ne sortons jamais de nos représentations pour contempler les deux termes de la relation ? Ce type de suspicion motive certaines conceptions

en elles-mêmes la notion de signification : il faut encore dire ce en quoi consiste une affirmation.

2. On peut envisager de décorrélérer les aspects normatifs des questions sémantiques, comme le propose van Fraassen (1980, ch. 2). Selon lui, il faut être réaliste sémantique, mais le but de la science n'est pas de produire des énoncés vrais. Cependant un anti-réalisme sémantique combiné à l'idée que le but de la science est de décrire la réalité n'aurait pas de sens. La position sémantique qu'on adopte contraint les possibilités sur le plan normatif.

de la signification qui amènent à cantonner la métaphysique à un rôle plus modeste : celui de déterminer, de manière éventuellement pragmatique ou conventionnelle, le langage adéquat pour parler du monde, d'élucider la manière dont notre langage se rapporte à l'expérience, tout en rejetant l'idée que les énoncés qui ne peuvent aucunement se ramener à l'expérience tangible (et en particulier ceux de la métaphysique traditionnelle) soient réellement dotés de signification ou fassent référence à des entités réelles.

Dans la section 1.1, nous commençons par présenter le projet de l'empirisme logique, qui constitue la tentative la plus aboutie de ramener de manière systématique la signification à l'expérience. Nous verrons les difficultés qu'il a rencontrées. Dans la section 1.2, nous présenterons les deux principales réponses qui peuvent être apportées à ces difficultés : la première consiste à intégrer des aspects cohérentistes, se dirigeant vers différentes formes de relativisme, la seconde au contraire à postuler un réalisme sémantique, et donc à se diriger vers une conception de la vérité comme correspondance. Nous évoquerons également au passage l'empirisme constructif, qui propose de combiner réalisme sémantique et anti-réalisme épistémique. Enfin nous exposerons dans la section 1.3 la manière dont certains auteurs ont tenté, dans un esprit structuraliste, de court-circuiter les questions sémantiques en philosophie des sciences.

1.1 L'empirisme logique

La tradition empiriste, avec Locke, Hume et Berkeley, met l'accent sur le rôle exclusif, selon ces auteurs, de l'expérience dans l'acquisition de connaissances : la raison, pour les empiristes, n'est pas source de connaissance, mais a seulement pour rôle d'établir des relations d'idées, ces dernières ne provenant que de l'expérience. C'est ce type de vue que l'empirisme logique a tenté de rénover et de systématiser au début du 20^e siècle, en s'appropriant les outils théoriques nouvellement fournis par Frege, Russell ou Wittgenstein en philosophie du langage. Le projet de l'empirisme logique était de proposer une analyse des théories scientifiques sous un angle linguistique. Il s'agissait, en particulier, de concevoir les théories comme un ensemble d'énoncés logico-mathématiques portant sur le monde, et de systématiser la manière dont ces énoncés se rapportent au monde, en faisant de l'expérience le seul fondement du rapport langage-réalité.

L'empirisme logique n'est pas un mouvement unifié, et il a vu les doctrines de ses adhérents se modifier au cours du temps (nous verrons certaines de ces évolutions dans la suite). Cependant, il est fondé à l'origine

sur les principes suivants (Jacob, 1980) :

La distinction analytique / synthétique Un énoncé analytique est un énoncé dont la valeur de vérité ne dépend que de sa signification. Il porte, en quelque sorte, sur le langage lui-même. Ceci inclut, selon les empiristes logiques, les énoncés logiques et mathématiques, ainsi que les vérités conceptuelles (comme « le rouge est une couleur »). Leur valeur de vérité est connue a priori par quiconque maîtrise le langage, sans recours à l'expérience. Un énoncé synthétique est un énoncé dont la valeur de vérité dépend de faits extra-linguistiques : il porte sur le monde. Selon les empiristes, cette valeur de vérité ne peut être connue que par expérience : il n'existe pas de synthétique a priori.

Le réductionnisme On distingue dans le langage des termes ou énoncés d'observation, non analysables, correspondant directement à l'expérience, et des termes ou énoncés théoriques. Un énoncé théorique peut se traduire ou s'analyser en énoncé d'observation, par l'intermédiaire de règles logiques.

Le vérificationnisme La signification d'un énoncé tient à ses conditions de vérification empirique. Les énoncés théoriques acquièrent donc une signification dans la mesure où ils sont réductibles à des énoncés d'observation. On peut analyser, suivant Carnap, la signification d'un énoncé en termes de l'ensemble des mondes possibles, décrits dans un vocabulaire d'observation, dans lesquels il serait vrai : on parle alors d'intension³.

Le projet consiste, en somme, à asseoir les sciences sur des bases solides en fondant l'édifice de la connaissance sur l'observation et la logique uniquement. Le contenu des théories devrait pouvoir se ramener ultimement à une structure d'observations.

Cette façon de concevoir les choses vise essentiellement à éliminer la métaphysique et la prétention à accéder à des « vérités premières » sur le monde par l'intuition ou la raison uniquement. La raison ne porte jamais que sur nos concepts et leurs relations. Pour Carnap, la seule métaphysique acceptable se ramène à un choix de langage (ou de « schème conceptuel »). Le rôle de la philosophie n'est pas de régler les controverses métaphysiques sur la nature de la réalité, mais uniquement de clarifier le langage par l'analyse, c'est-à-dire de ramener nos énoncés à leurs conditions de vérification :

3. À noter que la notion d'intension, reprise ensuite par d'autres auteurs, n'est pas spécifique au vérificationnisme.

la philosophie est analytique et se pratique depuis un méta-langage. Il pourra s'agir, par exemple, de spécifier les termes primitifs du langage et la manière dont les termes théoriques se réduisent à ces termes primitifs. Ainsi le débat entre matérialisme et idéalisme, c'est-à-dire la question de savoir si les fondements de la réalité sont physiques ou mentaux, pourrait se réduire, selon Carnap (1928), à une question de choix de langage de base : dans un cas, un langage physicaliste dont les termes primitifs sont des objets et au sein duquel le vocabulaire du mental est dérivé, et dans l'autre, un langage mental dont les termes primitifs sont des relations à partir desquelles le vocabulaire des objets physiques serait dérivé. Les deux approches sont possibles, voire équivalentes, et ce choix serait essentiellement pragmatique : si le langage physicaliste est celui généralement employé par les scientifiques, le langage idéaliste pourrait être plus adaptée pour l'épistémologie. Il ne faudrait pas y voir une véritable question métaphysique sur la nature de la réalité, mais différentes façons d'ordonner nos représentations. Les énoncés métaphysiques traditionnels, portant sur la nature de la réalité, ne seraient pas seulement inconnaissables, mais dénués de signification, puisqu'ils ne se rapportent d'aucune manière à l'expérience.

Cette proposition s'accompagne d'une certaine conception de la nécessité. Pour les empiristes logiques, la nécessité ne peut être qu'analytique et a priori : un énoncé est nécessaire s'il est analytique. Dans la tradition empiriste (et notamment celle de Hume), l'idée métaphysique d'une nécessité dans la nature qui viendrait contraindre les phénomènes possibles n'a pas de sens, puisqu'elle ne peut se ramener à des expériences effectives⁴. Nous avons donc d'un côté des énoncés portant sur le langage, nécessaires et connus a priori, et d'un autre côté des énoncés portant sur le monde, contingents et connus a posteriori.

Il s'agit là de la manière la plus aboutie de proposer un anti-réalisme sémantique, dans un esprit empiriste. Dans cette section, nous allons examiner les difficultés rencontrées par cette approche.

1.1.1 *Le réductionnisme et ses difficultés*

Le premier aspect critiquable du projet de l'empirisme logique est l'idée d'une réduction logique des termes théoriques à un vocabulaire d'observation. Ce projet a connu plusieurs étapes.

Carnap proposait initialement d'introduire les termes théoriques sur la base des termes d'observation par une succession de définitions strictes. Une

4. À noter que ce n'est pas le cas chez Wittgenstein, pour qui les choses (la substance) existent nécessairement, bien que leur configuration soit contingente.

définition stricte est une définition où le terme défini est rendu équivalent à une formule qui ne contient que des termes primitifs ou déjà définis. Elle permet la substitution terme à terme par la formule équivalente : le terme ainsi défini est donc en principe éliminable (comme on pourrait imaginer substituer « non marié » à « célibataire » de manière systématique). Dans cette lignée, Bridgman (1980) proposait d'adopter un opérationnalisme : rendre les termes théoriques équivalents à un ensemble de procédures en laboratoire. Ainsi une propriété physique verrait sa signification ramenée aux moyens qui nous permettent de la mesurer. Il faudrait comprendre par « électron » quelque chose comme une trace dans une chambre à bulle. Un tel réductionnisme assure la possibilité de vérifier les énoncés théoriques par nos observations.

Cette proposition a vite été abandonnée. Un problème pour l'opérationnalisme est que les moyens de mesurer une propriété physique peuvent être multiples. On peut mesurer une distance à l'aide d'une règle graduée ou d'un sonar. Ces moyens peuvent évoluer au fil des développements techniques sans pour autant qu'on pense que nos théories aient changé. L'opérationnalisme nous amènerait à introduire autant de grandeurs physiques qu'il existe de moyens de les mesurer : il y aurait une longueur-tactile, une longueur-optique, une longueur-sonar... On pourrait, à la limite, invoquer une longueur par appareil de mesure si ceux-ci ne sont pas strictement identiques. Mais tout ceci nous fait perdre un aspect important des termes théoriques, qui est leur systématisme. En pratique les scientifiques partent de la théorie pour dériver des observations possibles plutôt que l'inverse. L'utilisation de termes relativement autonomes vis-à-vis de nos moyens d'accès est justement ce qui permet de produire des inférences théoriques et d'étendre nos théories à de nouveaux domaines d'expérience. Or c'est un aspect essentiel de la pratique scientifique, généralement couronné de succès. La plupart des théories scientifiques tirent leur force de leur capacité à unifier des phénomènes divers. La relativité restreinte, par exemple, a été introduite pour unifier l'électromagnétisme et la mécanique. Ce pouvoir unificateur est perdu si l'on pense que les termes utilisés par les théories doivent se réduire strictement aux moyens mis en œuvre pour les mesurer.

Un autre problème sérieux pour les tentatives de réduction des termes théoriques est lié aux propriétés dispositionnelles, comme « soluble » ou « fragile », qu'on attribue à des objets même quand ces dispositions (à se dissoudre, à se briser) ne sont pas manifestées (et donc, de fait, jamais observées). Les dispositions peuvent s'analyser intuitivement en termes de possibilités physiques, mais nous avons vu que les empiristes logiques rejetaient l'idée de possibilité et de nécessité dans le monde. C'est un

problème dans le cadre d'une analyse du contenu des théories scientifiques. On peut concevoir par exemple la charge électrique d'une particule comme la disposition à attirer d'autres particules chargées, et on attribuera alors une charge à certains types de particules de manière systématique, et non seulement aux instants où la charge se manifeste, si bien que le terme théorique n'est pas substituable à un ensemble d'observations effectives. Dans le cas contraire, il nous faudrait croire, par exemple, qu'un morceau de sucre qu'on ne trempe jamais dans l'eau n'est pas soluble, puisque sa solubilité n'est jamais manifestée. Or de nouveau, le fait d'assigner une propriété physique de manière systématique joue un rôle indispensable dans les inférences scientifiques, qu'il s'agisse de dériver de nouvelles prédictions à partir de la théorie, de développer de nouvelles hypothèses ou d'unifier des théories diverses. Tout ceci indique qu'une théorie scientifique fait plus que simplement synthétiser les régularités empiriques.

Une seconde étape du réductionnisme a donc consisté à libéraliser les manières de définir les termes théoriques, et à ne plus exiger la substitution terme à terme par une relation d'équivalence. Carnap a notamment proposé d'introduire des définitions conditionnelles (du type $O_1 \rightarrow T \wedge O_2 \rightarrow \neg T$), puis des règles de correspondance (Carnap, 1936) qui peuvent impliquer plusieurs termes théoriques et observationnels simultanément. Les règles de correspondance sont des axiomes mixtes, c'est-à-dire des énoncés utilisant des termes théoriques et des termes d'observation, qu'on pourrait assimiler à des définitions implicites des termes théoriques⁵, ou encore à des règles de traduction souples des termes théoriques en termes d'observation. On peut parler à ce sujet de holisme de la signification : la signification des termes théoriques ne tiendrait pas tant aux relations terme à terme qu'ils entretiendraient avec nos observations, mais plutôt à leur position dans notre schème conceptuel. Les règles de correspondance permettent de rendre compte d'un autre aspect des théories sur lequel nous reviendrons ensuite : le holisme de la confirmation, ou le fait qu'en pratique, les axiomes d'une théorie ne sont jamais testés de manière isolée, mais sont mis à contributions ensemble pour donner lieu à des prédictions (typiquement, on utilisera l'ensemble des lois de Newton pour établir des prédictions sur le mouvement des planètes).

5. La notion de définition implicite remonte à Hilbert dans un cadre mathématique. On parle de définition implicite quand un terme n'est pas défini sous forme d'une équivalence stricte à une formule exprimée en d'autres termes, mais à travers la façon dont il est utilisé dans des axiomes. On peut considérer par exemple que les axiomes de l'arithmétique constituent une définition implicite de ce qu'est un nombre, le terme « nombre » étant un terme primitif qui n'est jamais rendu équivalent à une formule précise.

Cette manière plus libérale de procéder permet de restituer la systématique de l'utilisation du vocabulaire théorique et le rôle unificateur des théories, dans la mesure où les termes théoriques ainsi définis jouissent d'une certaine autonomie vis-à-vis des observations. Cependant on peut douter qu'il soit possible, en pratique, de formuler de telles règles de correspondance figées. L'expérimentation revêt de nombreux aspects contextuels, comme le fait de prendre en compte des interférences propres à une situation expérimentale particulière (une autoroute à proximité du laboratoire. . .) et s'accompagne d'un savoir pratique qui est rarement rendu explicite, si tant est qu'il puisse l'être. En dernier lieu, l'expérimentation peut reposer sur des processus perceptifs inconscients.

En outre, cette approche ne garantit plus une certaine univocité : en l'absence d'une équivalence stricte entre nos observations et le contenu théorique, plusieurs interprétations théoriques possibles peuvent s'appliquer aux mêmes observations. La libéralisation des règles de traduction ouvre la voie à une sous-détermination des théories par l'expérience. C'est le cas en particulier quand nous avons affaire à des termes dispositionnels : l'attribution d'une disposition qui n'est jamais manifestée est simplement indéterminée. Cette indétermination, et la sous-détermination par l'expérience en général, est une caractéristique typique de la métaphysique que les empiristes logiques pensaient pouvoir éliminer, et cet aspect menace directement le vérificationnisme, puisqu'en l'absence d'une possibilité de vérifier un énoncé théorique isolé quelconque par une procédure déterminée, c'est l'ensemble du contenu des théories scientifiques qui serait métaphysique et dénué de signification. Le vérificationnisme demande donc lui-même à être libéralisé.

1.1.2 L'échec du vérificationnisme

Une seconde famille de critique envers le projet de l'empirisme logique concerne le vérificationnisme, ou l'idée que la signification des énoncés tient à leurs conditions de vérification.

Nous avons vu que la libéralisation du réductionnisme mettait en péril cette idée, comprise au sens strict. Une critique liée concerne le problème de l'induction. Les lois scientifiques sont des généralisations universelles, mais notre expérience ne concerne jamais qu'un nombre fini d'observations particulières, si bien qu'aucune observation n'est jamais suffisante pour pouvoir déduire qu'une loi générale est vraie.

On pourrait remplacer notre critère par un falsificationnisme, s'inspirant de Popper (pour qui, cependant, il ne s'agissait pas d'un critère de

signification mais de scientificité). Cependant, le holisme de la confirmation évoqué plus haut implique qu'aucune observation n'est non plus suffisante pour déduire qu'une théorie est fautive. Les énoncés théoriques ne sont jamais testés de manière isolée, mais en bloc, et accompagnés d'hypothèses auxiliaires, portant par exemple sur le contexte d'expérience ou le fonctionnement des appareils de mesure. Comme le remarquait déjà Duhem (1906), il en résulte qu'il existe toujours de multiples façons de réviser nos croyances face à une expérience récalcitrante, et en particulier, il est toujours possible de « sauver » une théorie en échec en rejetant une hypothèse auxiliaire ou en formulant une hypothèse auxiliaire ad-hoc : les preuves positives ne sont pas plus concluantes que les preuves négatives pour décider d'une hypothèse. Ainsi, quand la trajectoire de Mercure ne suit pas les prédictions de la théorie gravitationnelle de Newton, les scientifiques ont postulé l'existence de Vulcain plutôt que de décréter la théorie fautive.

Ceci a amené différents auteurs, comme Carnap et Hempel, à libéraliser le vérificationnisme, proposant par exemple qu'un énoncé doit seulement avoir des conséquences observables pour être signifiant. Mais ces tentatives rencontrent de nombreux contre-exemples, généralement fondées sur la compositionnalité des énoncés logiques (les contre-exemples seront par exemple des énoncés strictement vérifiables, mais incorporant une partie non signifiante, qu'on jugerait donc dénués de signification). Ces contre-exemples ont amené à proposer des thèses vérificationnistes de plus en plus élaborées (Carnap, 1956), mais échouant à convaincre. Selon de nombreux auteurs, le vérificationnisme entretient une confusion entre les preuves de la vérité d'un énoncé et ce qui rend un énoncé vrai, et cette approche est vouée à l'échec.

On a pu en outre critiquer le vérificationnisme pour être une thèse qui se réfute elle-même, puisqu'elle ne peut s'appliquer à elle-même. La thèse vérificationniste, qui affirme que la signification tient aux conditions de vérification d'un énoncé, n'est pas elle-même vérifiable. Il est possible de concevoir, à l'instar d'Ayer (1936), qu'il s'agit d'un énoncé analytique, proposant une définition technique de « signification », qui n'est pas forcément la définition courante du terme, mais alors le projet de l'empirisme logique semble perdre de son attrait. Cependant, Carnap défendra qu'il s'agit d'un projet qui doit être jugé sur le plan pratique, invoquant un principe de tolérance : il s'agit de développer des outils utiles pour la science. On retrouve ce type de vue chez van Fraassen (qui ne les applique pas aux positions sémantiques, mais épistémologiques, sujettes à la même critique d'auto-réfutation), qui considère l'empirisme comme une attitude envers les sciences, aussi rationnelle a priori que d'autres attitudes, plutôt que

comme une véritable position épistémologique qu'il faudrait croire vraie (voir la section 1.2.3).

L'échec d'un réductionnisme et d'un vérificationnisme strict peut nous amener à nier qu'il existe une distinction tranchée entre énoncés analytiques et synthétiques. Selon Quine (1951), c'est l'ensemble de notre schème conceptuel qui est mis à contribution lors d'un test expérimental, y compris les énoncés logiques et mathématiques. Quine s'appuie notamment, dans ses arguments, sur le holisme de la confirmation mentionné plus haut. Selon lui, il existerait seulement des énoncés centraux dans notre schème conceptuel, comme les énoncés mathématiques, et des énoncés périphériques, comme les énoncés d'observation directe. Ces deux types d'énoncés sont difficilement révisibles, tandis que les énoncés intermédiaires sont plus facilement ajustables, mais il n'existe pas d'énoncé qui soit en principe non révisable (nous verrons plus loin des critiques de l'idée d'observations indubitables), et en tout cas toute révision comporterait une composante pragmatique.

Il s'ensuit, pour Quine, que les composantes linguistiques et factuelles des énoncés ne sont pas strictement dissociables, et donc qu'il n'existe pas de distinction tranchée entre les énoncés synthétiques, portant sur le monde, et analytiques, portant sur le langage lui-même. En effet, face à une expérience récalcitrante, on pourrait tout aussi bien réviser la signification de nos énoncés. On pourrait illustrer ceci en imaginant la réaction de quelqu'un croyant que tous les cygnes sont blancs face à ce qui semble être un cygne noir : il pourrait, au choix, décréter qu'il ne s'agit pas d'un cygne parce que la blancheur fait partie de la définition de ce qu'est un cygne, ou réviser ses croyances à propos des cygnes, et ce choix serait essentiellement pragmatique. Pour un exemple plus réaliste, citons la manière dont la signification du terme « espèce » a été discutée à la suite de la théorie de l'évolution de Darwin (LaPorte, 2004) : certains auteurs niaient à l'époque que Darwin parlait toujours d'espèce, dans la mesure où, selon eux, la notion d'espèce s'accompagne nécessairement du fixisme (une espèce a été créée à l'origine du monde). On peut donc estimer que bien que le terme ait été conservé, la signification du terme « espèce » a été modifiée après Darwin, et que les révisions d'ordre linguistiques et factuelles sont indissociablement liées.

L'indissociabilité des composantes linguistiques et factuelles permet de restaurer l'idée d'une continuité entre métaphysique et science. Il n'existe pas réellement de méta-langage au sein duquel nous pourrions procéder à une analyse du langage, mais la métaphysique, comme d'ailleurs l'épistémologie, fait partie intégrante de notre schème conceptuel, et nos croyances

métaphysiques sont, elles aussi, confrontées indirectement au tribunal de l'expérience : on parle à ce sujet de métaphysique (et d'épistémologie) naturalisée.

1.1.3 *La base de réduction*

Le problème peut-être le plus sérieux pour les thèses réductionnistes de l'empirisme logique concerne le fait qu'il s'agit d'un fondationnalisme, qui entend fonder l'édifice de la connaissance sur une base solide, en l'occurrence une base d'observation. Les empiristes logiques envisageaient cet aspect sous un angle purement linguistique : on pourrait distinguer, au sein de notre langage, un vocabulaire primitif, le vocabulaire d'observation, et un vocabulaire dérivé, le vocabulaire théorique.

Pour que l'observation puisse jouer ce rôle de fondement de la connaissance, elle doit être auto-justifiée, autonome vis-à-vis du reste de la connaissance, et pour ceci, idéalement, elle doit être directe (les intermédiaires étant source d'erreur), non théorique (pour pouvoir réfuter les théories), passive (l'observateur n'affecte pas ce qu'il observe) et neutre vis-à-vis de nos croyances (l'observateur ne projette pas ses attentes) (Israel-Jost, 2015, p.15-16). Ceci exclu d'entendre observation au sens où les scientifiques l'entendent, c'est-à-dire d'y inclure les observations à l'aide d'instruments, puisque ce type d'observation n'est ni directe ni a-théorique. Il faudrait concevoir que quand nous mesurons une température à l'aide d'un thermomètre, ce n'est pas une température que nous observons, mais plutôt des nombres sur un cadran.

Remarquons toutefois que l'observation au sens courant, même sans l'aide d'instruments, est suspecte : nous sommes parfois victimes d'illusions et d'hallucinations. Pour que l'observation puisse être objet de certitude à propos du monde, il faut pouvoir justifier que les conditions d'observation (la luminosité, la proximité de l'objet observé...) sont normales, que nos yeux fonctionnent correctement, etc. Tout ce qui concerne les bonnes conditions d'observation relève de connaissances qui ne sont pas directement données dans l'observation, mais qui sont issues d'un apprentissage : nous savons, par expérience, que certaines conditions sont trompeuses. L'observation directe n'est donc pas particulièrement neutre vis-à-vis de nos croyances.

Un autre problème est que toute distinction tranchée entre observation directe et indirecte semble arbitraire (comme le reconnaît déjà Carnap, qui y voit une affaire en partie conventionnelle). On peut penser qu'il existe plutôt une gradation entre ce qui est observable à l'œil nu, à travers une

vitre, des lunettes, une loupe, un microscope... Enfin le fait d'envisager cette distinction sous un angle linguistique pose problème, puisque certains termes semblent applicables à la fois à des objets observables et inobservables (le terme « plus petit que » s'applique aussi bien aux atomes qu'aux objets courants) quand d'autres termes, applicables à des objets directement observables, semblent teintés de théorie (par exemple « reptile » suppose une classification théorique du vivant, qui, en l'occurrence, ne correspond pas à celle de la biologie contemporaine).

Le fait que l'observation au sens courant ne puisse jouer ce rôle de base de la connaissance a amené certains philosophes, notamment Russell (1912), à se retrancher dans une conception purement subjective de l'observation. Nous n'observerions pas des objets, mais uniquement des *sense-data* : des données des sens, conçues comme des épisodes privés connus par accointance, qui constitueraient les unités de base de la perception. La distinction entre deux vocabulaires, un vocabulaire d'observation et un vocabulaire théorique, suivrait alors la distinction entre mental et physique : le vocabulaire d'observation correspondrait à une description de notre expérience subjective qui serait « donnée », quand le vocabulaire théorique prétendrait décrire la réalité non mentale.

Mais cette thèse a subi de nombreuses critiques. D'abord, on peut suspecter qu'un langage dont la base serait exclusivement constituée de référence à des sensations serait bien trop pauvre pour fonder les sciences, ou nos connaissances communes. Il n'y aurait pas de notion de causalité par exemple, ni même forcément d'objet, puisque nos sensations seules ne pourraient nous faire voir que des profils d'objets, et non des objets entièrement constitués. Ensuite, on peut suspecter que l'idée qu'il existe des *sense-data* n'est pas elle-même a-théorique, puisqu'elle est basée sur des connaissances empiriques, comme le fait que nous sommes des organismes dotés d'organes sensoriels. Enfin, l'idée même qu'il puisse exister un langage pour décrire de pures sensations données dans l'expérience a été critiquée par différents philosophes. Contrairement aux sensations qui sont privées, le langage est public et sert à communiquer. On peut douter qu'on puisse faire la moindre inférence ou fonder le moindre raisonnement sur la base de pures sensations. Sellars (1956) parle à ce sujet du « mythe du donné ». On peut résumer son argument, relativement technique, comme suit : les sensations ne sont pas de la même nature qu'un énoncé linguistique ; or seul un énoncé linguistique peut servir de base à un raisonnement ou à une inférence scientifique. En effet, la transcription de nos sensations dans un langage suppose un arrière-fond de croyances, de concepts pour les exprimer, et ces concepts et croyances précèdent l'expérience elle-même.

Il n'existe donc pas de pur donné, neutre vis-à-vis de nos croyances, qui puisse servir de base à la connaissance.

Un problème assez directement lié est ce qu'on appelle la charge théorique de l'observation, qui met également en péril la neutralité de l'observation : nos anticipations, nos croyances, peuvent altérer nos perceptions. Kuhn donne l'exemple d'une expérience de psychologie, au cours de laquelle on montre des cartes à jouer dont certaines ont pour signe un cœur noir. Quand les cartes sont montrées très rapidement aux sujets, ceux-ci ne reportent pas avoir vu des cœurs noirs, mais des piques. L'expérience ne fonctionne que pour des durées d'exposition courtes, mais cela montre au moins que les conditions d'observation sont à prendre en compte, y compris quand on se concentre sur les aspects les plus subjectifs de l'observation, et que l'idée d'observation pure, indépendamment du contexte, ne va pas de soi.

On peut transposer ce phénomène à la pratique scientifique, comme le propose Kuhn. On remarque alors une certaine homogénéité entre l'observation directe et l'observation à l'aide d'instruments : tout comme l'observation directe repose sur des croyances d'arrière-plan, concernant par exemple le contexte de l'observation, l'observation à l'aide d'instruments repose sur des théories d'arrière-plan, et historiquement, on remarquera que théorie et instrumentation se développent conjointement jusqu'à aboutir à une certaine stabilité (ce fut le cas par exemple des thermomètres et baromètres, qu'on a commencé à différencier conjointement au développement de la thermodynamique). Les observations instrumentales jouissent alors, à l'issue de cette phase de développement initiale, de la même autorité sur les théories que les observations directes, voire d'une autorité supérieure (Israel-Jost, 2015). Remarquons à ce sujet que certains énoncés théoriquement interprétés peuvent servir d'observation pour vérifier ou infirmer d'autres théories : par exemple, la mesure de température à la surface du globe pour une hypothèse climatologique.

Tout ceci a amené les empiristes logiques, en particulier Neurath, à s'éloigner d'un fondationnalisme pour se diriger vers des thèses plus cohérentistes. Pour Neurath, il faudrait considérer que la base d'observation est constituée non pas de pures sensations, mais des objets de la vie courante. Cette base serait suffisamment robuste pour servir de fondement à la connaissance scientifique, mais elle n'en serait pas moins révisable, et rien n'interdit, comme c'est fréquemment le cas dans la pratique scientifique, de corriger des observations directes à l'aide d'instruments qu'on juge plus fiables.

Pourquoi alors continuer à distinguer au sein de notre langage un

vocabulaire d'observation et un vocabulaire théorique si nos observations directes ne sont pas moins révisables que nos croyances théoriques? Au mieux, il faudrait considérer que certains termes, en particulier ceux du langage courant, précèdent historiquement d'autres termes, mais l'idée d'une distinction linguistique tranchée est caduque : le fait que certains objets puissent être observés par nos sens sans l'aide d'instrument est une contingence due à notre position épistémique dans le monde, mais sur le plan sémantique, l'idée d'un langage de pures sensations est une chimère, et rien ne distingue fondamentalement les objets courants des objets inobservables postulés par nos théories.

À la suite de tous ces arguments, minant le réductionnisme, le vérificationnisme ou la distinction entre énoncés analytiques et synthétiques, c'est l'anti-réalisme sémantique, en tout cas dans sa version promue par les empiristes logiques, qui devient suspect. Nous allons voir dans la section suivante les réactions qu'il est possible d'avoir face à ces aspects.

1.2 Après l'empirisme logique

Face à l'échec du projet de l'empirisme logique, il semble illusoire de vouloir fonder la connaissance scientifique sur une base d'observation parfaitement neutre et indubitable. Il n'y a plus vraiment lieu, finalement, de distinguer sémantiquement les énoncés théoriques des énoncés du langage courant. Mais cet échec ne remet pas en question l'anti-réalisme sémantique en tant que tel, et deux attitudes restent envisageable. La première consiste à généraliser l'anti-réalisme sémantique en adoptant des thèses cohérentistes plutôt que fondationnalistes, ce qui amène à adopter des positions au relativisme plus ou moins assumé. La seconde consiste, au contraire, à adopter un réalisme sémantique, et à considérer que les termes des théories comme ceux du langage naturel prétendent faire référence à des objets ou propriétés réels du monde. Dans cette section, nous allons examiner ces deux approches.

1.2.1 *Le relativisme*

La première réaction possible aux problèmes rencontrés par le fondationnalisme des empiristes logiques est d'intégrer des aspects cohérentistes, c'est-à-dire de concevoir que le contenu cognitif de nos théories ne se ramène pas seulement à l'expérience, mais qu'il est relatif à l'ensemble de notre schème conceptuel, par exemple quand certaines croyances concernant le contexte sont impliquées pour estimer la fiabilité de nos observa-

tions. Cette approche pourra s'approprier certains des arguments allant à l'encontre du projet de l'empirisme logique, et notamment les arguments basés sur la charge théorique de l'observation ou sur le holisme de la confirmation.

En effet, de nombreux philosophes du langage jugent l'approche des empiristes logiques trop idéale, et mettent l'accent sur différents aspects pragmatiques : les aspects performatifs du langage chez Austin, contextuels chez Strawson. Wittgenstein propose également de comprendre la signification en termes de jeux de langage plutôt que de représentations. Il n'est plus alors question de ramener la signification à une base d'observation théoriquement neutre, mais ce type de vue vise surtout à s'éloigner de l'idée que le langage, y compris théorique, serait à analyser en termes d'affirmations sur le monde, indépendamment, par exemple, des intentions du locuteur. Ces aspects annoncent le développement de la pragmatique en philosophie du langage, qui met en avant le rôle du contexte et des aspects intentionnels sur la signification des énoncés.

Certains de ces aspects seront repris notamment par Kuhn et Feyerabend pour développer une forme de relativisme constructiviste. Kuhn (1962) s'appuie notamment sur le fait que les observations sont chargées de théorie (et donc ne seraient pas indépendantes de nos intentions ou croyances) pour développer une thèse d'incommensurabilité entre théories : les théories scientifiques, inscrites au sein d'un paradigme (des théories acceptées, un ensemble de pratiques associées, des postulats métaphysiques ou méthodologiques, transmis socialement) ne seraient pas réellement comparables entre elles par l'expérience. Les scientifiques travaillant dans des paradigmes différents travailleraient « dans des mondes différents », à la manière dont on peut décider de percevoir un canard ou un lapin dans une image ambiguë : la théorie utilisée déterminerait au moins en partie nos observations, par exemple par un effet de sélection, mais aussi par la manière dont elle propose des catégories au sein desquelles les scientifiques classifient les phénomènes. Les scientifiques développeraient leur paradigme au cours de périodes de « science normal ». Au cours de ces périodes, ils ne chercheraient pas à réfuter leur paradigme, qui n'est en fait pas réellement réfutable, mais à l'étendre à de nouveaux cas en résolvant des énigmes, et, de manière conservatrice, à la sauver face aux expériences contradictoires en émettant des hypothèses ad-hoc (Kuhn s'appuie ici sur le holisme de la confirmation évoqué plus haut). Les changements de paradigmes auraient lieu non sur des bases rationnelles ou expérimentales, mais, par exemple,

sociologiques⁶.

Dans la même lignée, Feyerabend défend une certaine conception de la signification prenant le contre-pied de celle des empiristes logiques : la signification, plutôt que de « remonter » de l'observation vers les théories, « descendrait » des théories vers l'observation. La signification d'un énoncé d'observation dépendrait de la théorie au sein de laquelle cet énoncé est formulé. De nouveau, on peut parler d'anti-réalisme sémantique : les énoncés ne sont pas vrais ou faux en vertu du monde uniquement, mais en vertu de la théorie qui permet de les formuler, ou de notre schème conceptuel.

Ce type de thèse semble nous mener au-delà du simple anti-réalisme sémantique, vers un relativisme plus radical qui nierait la proposition métaphysique du réalisme scientifique. En effet, la réduction des théories à l'observation permettait aux empiristes logiques de maintenir un lien entre la réalité et nos représentations, mais selon cette théorie de la signification, nos représentations ne semblent pas particulièrement être à propos du monde tel qu'il existe indépendamment de nos concepts. À l'extrême, on peut considérer les objets de la science comme de pures constructions sociales.

Pendant ce type de relativisme est critiquable. En particulier, on peut juger que la charge théorique de l'observation n'est jamais complète (voir Franklin et al., 1989), et que la reproduction des expériences, la multiplication d'accès divers aux phénomènes et les tests de significativité statistique sont une façon d'assurer la robustesse des observations expérimentales indépendamment des théories (Bogen et Woodward, 1988). De manière générale, la caractéristique des observations expérimentales est qu'elles sont l'objet d'un consensus chez les différents expérimentateurs, même quand ceux-ci défendent des hypothèses ou des théories différentes : Lavoisier et Priestley savaient se mettre d'accord sur leurs observations expérimentales, en dépit de leur désaccord sur la théorie phlogistique.

En outre, le type de cohérentisme entretenu par Feyerabend laisserait supposer que la signification des termes théoriques dépend radicalement de la manière dont ils sont associés, dans notre schème conceptuel, aux autres termes théoriques, et, finalement, de l'ensemble de nos croyances.

6. La thèse d'incommensurabilité forte est critiquable, et Kuhn l'atténuera par la suite. On peut aussi citer les travaux de Lakatos (1978), pour qui une théorie est dotée d'un « noyau dur » et d'une « ceinture de sécurité », c'est-à-dire d'un ensemble d'hypothèses auxiliaires parfois ad-hoc qui la protègent de la réfutation. Les paradigmes peuvent alors être jugés rationnellement au fait qu'ils soient fructueux, quand les hypothèses auxiliaires sont ensuite couronnées de succès empirique, ou dégénèrescents, quand au contraire les hypothèses ad-hoc se multiplient.

Mais il existe des arguments sémantiques à l'encontre de ce type de vue vers lesquels nous nous tournons maintenant.

1.2.2 *Le réalisme sémantique*

Le relativisme, en réaction aux critiques de l'empirisme logique, ne fait pas l'unanimité, et l'on peut dire qu'aujourd'hui, le débat sur le réalisme scientifique est dominé par des questions d'ordre épistémiques qui prennent le réalisme sémantique pour acquis. On doit sans doute cette situation à l'influence des travaux de Kripke, qui ont ouvert la voie à une réhabilitation de la métaphysique.

La principale cible de Kripke (1980) est le descriptivisme de Russell, et en particulier, le descriptivisme à propos des noms propres, qui consiste à analyser la signification des noms propres en termes d'un ensemble de descriptions associées, mais Kripke a proposé d'étendre ses arguments aux termes de sortes, et en particulier, ceux utilisés par les théories scientifiques. Le descriptivisme sous-tend les thèses de l'empirisme logique, mais aussi en une certaine mesure les thèses sémantiques de Feyerabend.

Le descriptivisme propose d'analyser la signification d'un terme (un nom propre ou un terme de sorte) en en faisant l'équivalent d'un ensemble de descriptions définies, qui correspondraient aux représentations qu'on associe au terme. Ainsi, le terme « tigre » devrait s'analyser comme « félin à quatre pattes, à rayures, etc. ». Kripke oppose à cette théorie l'idée de référence directe : le terme « tigre » ferait directement référence à une classe naturelle dans le monde, à une essence, et les descriptions associées seraient contingentes. Elles correspondraient à la manière dont cette essence se manifeste à nous. La signification serait alors à ramener à un lien causal entre cette essence et les locuteurs d'une langue. La référence d'un terme serait fixée lors d'un baptême, par exemple par ostentation, puis transmise causalement de locuteurs en locuteurs : on parle de théorie causale de la référence. Putnam a développé des arguments similaires dans le cadre de la philosophie des sciences (avant de les abandonner).

Kripke propose, contre le descriptivisme, un argument modal et un argument épistémique qui ont à peu près la même forme. L'argument est le suivant : si vraiment un terme de sorte (comme « or ») était analytiquement équivalent à un ensemble de descriptions définies (comme « métal jaune »), alors il serait épistémiquement inconcevable, et il serait métaphysiquement impossible, qu'il ne réponde pas à ces descriptions. Cependant, il est épistémiquement concevable et il semble métaphysiquement possible que l'or ne soit pas jaune : on pourrait découvrir, par exemple, que la couleur de l'or

observée jusqu'ici est due à une illusion d'optique particulière, et on peut concevoir un monde possible dans lequel l'or n'est pas jaune parce que, par exemple, les propriétés de la lumière sont différentes dans ce monde. Pour autant, ce serait toujours de l'or. La conclusion est qu'un terme de sorte comme « or » ne doit pas être compris comme faisant référence à un ensemble de manifestations observables, mais au type d'entité qui, dans le monde, cause ces manifestations.

Un argument similaire fait remarquer que nous pouvons utiliser correctement un terme sans pour autant connaître les descriptions associées : nous pouvons reporter qu'une voiture est entrée dans un platane, pour l'avoir lu dans un journal, sans pour autant savoir reconnaître un platane. On parle de division du travail linguistique.

Putnam (1975b) propose un argument semblable aux arguments de Kripke, appliqué aux sciences, en prenant pour exemple l'acidité. On utilisait historiquement différentes méthodes pour reconnaître un acide : le fait qu'il colore le papier tournesol, notamment. Aujourd'hui, notre compréhension de l'acidité s'est stabilisée avec la chimie moderne, et certains composés que l'on pouvait juger être des acides avec les anciennes méthodes ne sont plus considérés comme tels, quand d'autres on rejoint la classe des acides : nous avons découvert que tous les acides ne colorent pas le papier tournesol. Pour autant, selon Putnam, nous prétendons toujours parler des mêmes acides, et le fait d'être un acide est donc indépendant des moyens qu'on utilise à une époque donnée pour reconnaître les acides.

Cet argument va à l'encontre de l'idée des empiristes logiques que les termes théoriques pourraient voir leur signification ramenée aux observations. Mais elle permet également de contrer l'idée d'incommensurabilité entre théories, ou l'idée que la signification d'un terme dépendrait de l'ensemble de nos croyances associées. Il existerait une certaine continuité dans les termes que nos théories utilisent, même quand ces théories sont révisées : les baleines bleues ne sont plus aujourd'hui classées parmi les poissons, mais parmi les mammifères, et pourtant nous parlons bien toujours de la même espèce. L'argument s'applique donc aussi bien au relativisme d'un Feyerabend qu'aux thèses de l'empirisme logique, puisqu'il vise à assurer une certaine autonomie de la référence des termes théoriques, que ce soit vis-à-vis des observations ou de nos autres croyances.

Les thèses de Kripke et Putnam ont pour effet de placer la signification hors des représentations mentales des locuteurs d'une langue : la signification serait externe, elle serait une relation causale entre les locuteurs et des entités du monde. L'externalisme est illustré par l'expérience de pensée des terres jumelles : imaginant une planète identique à la terre, à

ceci près que la composition du liquide que les habitants appellent « eau » ne serait pas H_2O mais XYZ , on serait tenté de dire que les habitants de cette planète ne désignent pas le même liquide, même s'ils ont exactement les mêmes représentations en tête (imaginant que la situation est antérieure à l'avènement de la chimie moderne).

Ces thèses ont aussi pour effet d'introduire une nouvelle notion de nécessité, la nécessité métaphysique. En effet, si la signification n'est pas « dans la tête », alors il n'y a plus lieu de reléguer la nécessité au domaine de ce qui est connu a priori en vertu de conventions linguistiques comme le proposaient les empiristes logiques, et on peut découvrir empiriquement des rapports de nécessité. On peut découvrir, par exemple, que l'étoile du matin et l'étoile du soir sont en fait le même objet, bien qu'on leur associait des descriptions différentes. Il était épistémiquement possible qu'il s'agisse d'objets différents avant cette découverte, mais, nous le savons désormais, c'était métaphysiquement impossible en vertu de la nécessité de l'identité : un objet ne peut être autre que lui-même. De même, le fait que l'eau soit le liquide composé de molécules H_2O serait métaphysiquement nécessaire. Il s'agit d'une nécessité découverte a posteriori. Cette notion de nécessité métaphysique a ouvert la voie à un retour de la métaphysique en philosophie contemporaine.

Ces arguments sémantiques ne « prouvent » pas le réalisme scientifique ou métaphysique : ce qui les caractérise plutôt est qu'ils assument au départ un réalisme, et proposent de comprendre la signification sur cette base. Typiquement, l'intuition qui motive l'expérience de pensée de la terre jumelle est celle qu'aurait un observateur extérieur aux deux planètes : il s'agit d'adopter un « point de vue de nulle-part ». Le fait que la conception de la signification qui en découle semble plausible et permette de résoudre certains paradoxes sémantiques joue indirectement en faveur du réalisme. Mais il est bien sûr possible de n'y voir que des phénomènes linguistiques : nous utilisons le langage comme des réalistes, ce qui n'a aucune incidence métaphysique. Des arguments supplémentaires sont requis. C'est la raison pour laquelle le débat s'est reporté ensuite sur les questions épistémiques : quelles raisons avons-nous de penser que nos représentations correspondent en effet à la réalité ?

Notons toutefois certaines critiques de l'approche de Kripke et Putnam. Certains auteurs font remarquer que quelques descriptions sont au moins nécessaires pour spécifier le type d'entité à laquelle on fait référence : par exemple, quand on parle d'un tigre, que le mot « tigre » fait bien référence à une espèce animale. Des théories hybrides entre descriptivisme et théorie causale de la référence ont été proposées. Par ailleurs, dans un esprit proche

des thèses de Quine, LaPorte (2004) envisage que la signification des termes peut en effet être modifiée lors des changements théoriques, mais allant en se précisant, et que le fait ou non de garder le même terme quand on change nos croyances associées est avant tout une affaire pragmatique. Il cite un exemple que nous avons déjà mentionné : le fait de toujours parler d'espèces quand on abandonne le fixisme au profit de l'évolutionnisme avec Darwin, qui a été débattu à l'époque. Il propose également une expérience de pensée analogue à l'expérience de la terre jumelle pour la réfuter : nous considérons que l'eau lourde est bien de l'eau, mais si nous avions découvert ce liquide sur une planète étrangère, nous aurions aussi bien pu lui donner un nom différent. Il s'agit encore selon lui d'une question pragmatique. Dans ce cadre, on pourrait rendre compte de la révision de nos croyances à propos d'un terme (comme le fait de classer les baleines parmi les mammifères) comme modifiant en effet la signification du terme, sans penser, donc, qu'il fait directement référence à une essence dans le monde. Mais les aspects pragmatiques, et le fait que la signification aille en se précisant, permettraient de rendre compte de la continuité dans l'utilisation des termes lors des changements théoriques, et du fait que les théories ne sont pas radicalement incommensurables.

1.2.3 *L'empirisme constructif*

L'adoption d'un réalisme sémantique ne signifie pas pour autant un abandon de l'empirisme. Une des principales positions empiristes contemporaines est l'empirisme constructif, qui propose justement de combiner réalisme sémantique et anti-réalisme épistémologique. L'approche de van Fraassen est suffisamment étrangère aux débats épistémologiques contemporains sur le réalisme pour que nous la mentionnions ici, et non dans le chapitre suivant, en présentant la manière dont cette combinaison entre réalisme sémantique et empirisme fonctionne.

La principale caractéristique de l'empirisme constructif est sa façon de concevoir ce qu'est une position épistémologique : non pas comme une doctrine nous indiquant ce que nous devrions croire ou non à propos de nos théories, mais comme une position portant sur le but de la science. En effet, pour van Fraassen, tenter de justifier définitivement une position épistémologique est voué à l'échec. Si l'on affirme, par exemple, que toute connaissance provient de ou est justifiée par l'expérience, il faudrait encore savoir en quoi cet énoncé lui-même serait justifié par l'expérience (van Fraassen, 2002). Pour cette raison, van Fraassen adopte une conception permissive de la rationalité, qu'il qualifie de volontariste (et qui se rap-

proche du principe de tolérance de Carnap mentionné plus haut) : tout ce qui n'est pas irrationnel est permis. Le réalisme comme l'empirisme en général sont des positions possibles, mais plutôt que de parler de positions, il faudrait parler d'attitude envers la science, l'une accordant une confiance supplémentaire envers nos représentations, et l'autre entretenant une méfiance envers les aspects de ces dernières qui dépassent l'expérience, et en particulier, envers « l'inflation métaphysique ».

Si l'empirisme en général est une attitude, l'empirisme constructif est une position, mais celle-ci ne porte pas sur les croyances à adopter envers nos théories, plutôt sur le but de la science. Van Fraassen reporte donc la question du réalisme sur des aspects normatifs. Il s'agit d'extraire de la pratique scientifique certaines normes, des « règles du jeu », qui ne dépendent pas des croyances des scientifiques. On pourrait y voir, en quelque sorte, un « test empirique » de la position empiriste elle-même plutôt qu'une justification a priori : l'empirisme est confronté à nos observations de l'activité scientifique elle-même, dont il doit rendre compte comme d'une activité rationnelle. L'attitude empiriste nous enjoint à en rendre compte d'une manière minimale. Or selon van Fraassen, il est seulement requis de croire que le but de la science est de produire des théories empiriquement adéquates, c'est-à-dire des théories qui « sauvent » les phénomènes observables, puisque le critère ultime des scientifiques pour régler leurs différents est la confrontation à l'expérience. L'empirisme constructif est donc la position suivant laquelle le but de la science est de produire des théories empiriquement adéquates.

La caractéristique de cette position, qui la différencie à la fois du réalisme et des formes plus anciennes d'empirisme, est que les aspects normatifs (le but de la science) sont décorrélés des aspects sémantiques. Ce qui permet à van Fraassen de séparer aspects normatifs et sémantiques est l'introduction d'une distinction entre accepter et croire une théorie. L'acceptation est plus faible que la croyance : accepter une théorie consiste à employer son langage, à utiliser la théorie, à l'appliquer à de nouveaux phénomènes, à faire « comme si » elle était vraie, à la manière dont on peut affirmer que Sherlock Holmes vivait à Londres sans pour autant croire que le personnage ait existé. Ce n'est donc plus la signification de nos énoncés elle-même qui porte la différence entre les attitudes réalistes et empiristes (puisque pour van Fraassen, il faut interpréter littéralement les théories scientifiques, c'est-à-dire adopter un réalisme sémantique) mais nos intentions au moment où nous utilisons le langage.

Afin de formuler son empirisme, van Fraassen a recours à une distinction entre observable et inobservable : l'adéquation empirique d'une

théorie consiste en le fait, pour cette théorie, de « sauver » les phénomènes observables. Mais réalisme sémantique oblige, cette distinction n'est plus linguistique comme chez les empiristes logiques : ce ne sont plus les termes de notre langage qui sont ou non des termes d'observation, mais les objets du monde qui sont ou non observables sans l'aide d'instruments. Le fait de savoir quels phénomènes sont ou non observables peut être l'objet d'une enquête empirique. De cette manière, il évite au moins certains des problèmes rencontrés plus haut qui minaient le fondationnalisme des empiristes logiques. Nous aurons l'occasion de revenir au cours de cette étude sur l'empirisme constructif, et en particulier sur la conception de l'adéquation empirique qu'il adopte (chapitre 5).

Si l'empirisme constructif adopte un réalisme sémantique, il accorde toutefois une importance moindre aux aspects sémantiques. En effet, ceux-ci ne sont pertinents que dans la mesure où nous acceptons les théories, mais ils ne sont pas directement impliqués dans nos croyances à leur égard, ou dans la manière d'expliquer le but de la science, y compris quand il s'agit d'explicitier ce qu'est l'adéquation empirique : à ce sujet, van Fraassen considère qu'il est possible d'éluder ces questions en se concentrant sur les aspects structuraux de la représentation. Il qualifie cette position (qui est un développement de l'empirisme constructif) de structuralisme empiriste. Nous exposons certains de ces aspects, d'ailleurs partagés par des auteurs réalistes, dans la section suivante.

1.2.4 *Réalisme interne et pragmatisme*

Pour terminer cette section, remarquons qu'il est possible de tirer les enseignements des difficultés de l'empirisme logique sans adopter un réalisme sémantique, mais sans non plus opter pour un relativisme radical. On peut en effet juger que les empiristes logiques avaient une conception trop réductrice de l'expérience, conçue comme observation passive, et ainsi maintenir, dans la tradition pragmatiste, que le contenu cognitif des théories scientifiques se ramène toujours à l'expérience, mais comprise de manière plus large. Il s'agit, en quelque sorte, d'intégrer des aspects cohérentistes au sein d'une conception pragmatiste.

On trouve par exemple chez Quine l'idée que la question de la vérité d'un énoncé ne peut être posée qu'à l'intérieur d'un schème conceptuel. La vérité n'est pas transcendante, mais immanente. Si on peut donc *en un sens* qualifier la position de Quine de réalisme, au sens minimal où il peut affirmer que nos théories sont vraies et que les entités qu'elles postulent existent, il s'agit d'un réalisme plus faible que celui qu'on obtiendrait sur

la base d'une conception de la vérité comme correspondance à la réalité, qu'on pourrait rapprocher d'un réalisme interne tel que celui proposé par Putnam (1983). À noter que ces idées ne sont pas finalement étrangères à la distinction, opérée par Carnap, entre les questions internes (à un schème conceptuel) et externes (ou méta-linguistiques, relatives au choix d'un schème conceptuel), mais l'absence de distinction entre énoncé analytique et synthétique implique, chez Quine, qu'il n'y a pas réellement de questions externes.

Le réalisme interne consiste à accepter que nos théories sont vraies, mais sans pour autant adopter une conception transcendante de la vérité comme correspondance (par opposition au réalisme métaphysique). Cette position s'appuie sur différentes critiques de la notion de vérité-correspondance. Les raisons traditionnellement invoquées à l'encontre du réalisme métaphysique sont les suivantes :

- Nous ne pouvons réellement « sortir » de nos représentations pour savoir ce qu'est exactement cette relation de correspondance.
- L'usage montre que l'accord sur la vérité d'un énoncé, ou nos propensions à les affirmer, provient toujours de justifications empiriques.
- L'apprentissage de la langue serait impossible en l'absence d'une mystérieuse faculté qui nous ferait saisir directement la correspondance entre nos énoncés et la réalité (Dummett, 1978).
- En introduisant un fossé entre nos capacités épistémiques et la vérité, le réalisme métaphysique engendre la possibilité d'un scepticisme radical : nous pourrions être des cerveaux dans une cuve, sans aucun moyen de la savoir (Putnam, 1981). Une théorie passant avec succès tous les tests empiriques concevables pourrait toujours être fausse.
- En l'absence d'une possibilité de sortir de nos schèmes conceptuels, la référence de nos théories serait radicalement indéterminée : il existe toujours une infinité de domaines possibles auxquels elles pourraient correspondre, et si l'on veut fixer le domaine visé par de nouvelles affirmations, on ne fait qu'ajouter de la théorie à la théorie (argument modèle-théorique) (Putnam, 1980).

Ellis (1988) propose également une défense du réalisme interne, en remarquant que si nous sommes réalistes scientifiques, et que nous considérons les théories scientifiques comme nous indiquant ce qui existe dans le monde, notre ontologie ne devrait pas contenir de propositions (car il s'agit d'entités abstraites ne jouant aucun rôle causal). Mais cette ontologie est incompatible avec une notion de vérité-correspondance, puisqu'il ne peut y avoir dans le monde d'entités porteuses de vérité. Il ne peut s'agir de propositions si elles sont absentes de la fabrique du monde. Il pourrait s'agir

d'énoncés, mais ceux-ci dépendent pour leur interprétation du contexte et de l'intention des locuteurs (Ellis s'appuie ici sur la pragmatique en philosophie du langage, mentionnée plus haut). Si l'on voulait en dernier recours faire de nos états mentaux les porteurs de vérité, on rencontrerait différents problèmes, comme le fait de réduire les relations logiques à des relations psychologiques, ou le fait qu'il n'y aurait pas de vérité s'il n'y avait pas d'états mentaux dans le monde. Enfin et surtout, la vérité d'un énoncé n'aurait aucune valeur épistémique : une correspondance entre l'état de notre cerveau associé à une croyance et le monde n'implique pas que nous *devrions* adopter cette croyance. Le réalisme scientifique, associé à une conception de la vérité comme correspondance, est donc incohérent. La conception de la vérité que propose Ellis est une conception pragmatiste, qui intègre un aspect normatif en associant la vérité à ce que nous devrions croire. Selon cette conception, la réalité n'est pas une construction de l'intellect, mais la vérité d'un énoncé dépend néanmoins de notre perspective, de notre position épistémique dans le monde : elle concerne notre relation à la réalité plutôt que la réalité elle-même. Il n'existe pas nécessairement de « vue de nulle-part » qui intégrerait toutes les perspectives.

C'est ce type de réalisme interne que nous défendrons dans la partie III de notre travail. Nous pensons, en particulier, qu'une adhésion envers l'idée de nécessité dans le monde peut permettre d'échapper aux limites d'un réductionnisme trop austère, tout en conservant l'idée que le contenu cognitif des théories est ancré dans l'expérience. Les modalités sont un outil pour conceptualiser ce qui est indépendant de nos observations effectives, sans pour autant prétendre à une mystérieuse faculté de l'esprit qui nous ferait atteindre la nature absolue des choses. Il s'agit, en somme, de proposer un cadre plus riche que celui des empiristes logiques pour penser l'expérience.

1.3 La conception sémantique des théories

Nous avons indiqué en introduction que le contenu des théories scientifiques comprend deux aspects : le vocabulaire théorique et la structure des théories. Jusqu'ici, nous avons mis l'accent sur la question de l'interprétation du vocabulaire uniquement (la structure pouvant éventuellement participer à cette interprétation). Pour terminer ce chapitre, nous allons nous intéresser à la manière dont certains auteurs ont tenté d'évacuer les questions sémantiques hors du champ de la philosophie des sciences en se concentrant sur la structure des théories uniquement.

1.3.1 *Axiomes et modèles*

Les difficultés de l'empirisme logique ont motivé une nouvelle façon de concevoir les théories scientifiques, surnommée « conception sémantique des théories », qui propose de mettre l'accent sur les modèles. L'idée est de considérer qu'une théorie scientifique n'est pas un système axiomatique, un ensemble d'énoncés sur le monde, un objet linguistique, mais plutôt une collection de modèles. Les axiomes ne seraient que des moyens de décrire ou de construire ces modèles, ou encore de restreindre la classe des modèles acceptables. Ce sont les modèles qui sont finalement confrontés à la réalité (on les compare à des modèles de données issus de l'expérience) et qui nous servent à nous représenter le monde. Les modèles seraient la bonne unité d'analyse pour comparer les théories entre elles et pour concevoir leur rapport à la réalité. Cette façon de voir les théories a été proposée par Suppes (1960), qui a notamment suggéré d'assimiler les modèles scientifiques aux modèles au sens de Tarski (que nous détaillons plus loin). L'idée a ensuite été largement reprise (Suppe, 1972; van Fraassen, 1980; Giere, 1991; Ladyman et Ross, 2007) jusqu'à devenir aujourd'hui relativement consensuelle.

Les discussions sur le rôle des modèles dans les écrits des empiristes logiques montrent que ceux-ci considéraient les modèles comme relativement superflus : ils ont tout au plus un intérêt pédagogique, psychologique, heuristique ou esthétique. Carnap et Hempel évoquent à plusieurs reprises la notion de modèle scientifique en ce sens (à noter que ce relatif dédain pour les modèles au profit du contenu axiomatique des théories n'est pas propre aux philosophes de l'époque : il était assez largement partagé dans le milieu scientifique à la fin du 19^e siècle (Bailer-Jones, 2013)). Pour Carnap, les modèles peuvent être utilisés au moment d'élaborer une théorie, mais ils deviennent inutiles une fois que l'on dispose des équations théoriques qui expriment le véritable contenu de la théorie. Le rapport qu'entretient une théorie au monde ne passe pas pour lui par la médiation des modèles, mais par la médiation de règles de correspondance. Les défenseurs de la conception sémantique des théories proposent de leur donner au contraire une place centrale pour comprendre ce qu'est la représentation scientifique, et pensent résoudre ainsi certaines difficultés de l'empirisme logique. Il s'agit au passage d'intégrer des aspects cohérentistes au sein de notre conception de la représentation scientifique.

Tarski conçoit les modèles comme des structures mathématiques, exprimées généralement dans le langage de la théorie des ensembles, qui, une fois associée à un vocabulaire théorique, peuvent ou non vérifier une théorie exprimée dans ce vocabulaire. Il s'agit de formaliser la notion de vérité

en termes des rapports que peuvent entretenir une structure mathématique et les énoncés d'un langage formel.

De manière un peu plus précise, on définira un modèle par les éléments suivants :

Un domaine c'est-à-dire un ensemble d'individus (au sens purement mathématique)

Des propriétés et relations sur ce domaine. Ces propriétés et relations n'ont pas jusqu'ici de signification : on les définit par leur extension uniquement (une propriété est définie par l'ensemble des objets auxquels elle s'applique, une relation binaire par un ensemble de couples, etc.).

Une valuation qui associe aux termes d'un langage formel (noms propres, prédicats) des individus, propriétés et relations du modèle : on nomme certains objets, propriétés et relations du modèle, ou encore on attribue une extension aux termes de notre langage dans ces modèles.

On peut définir une théorie, dans ce cadre, comme un ensemble d'énoncés déductivement clos dans un langage formel, typiquement des axiomes et l'ensemble des énoncés qui découlent logiquement de ces axiomes. On peut alors dire d'un modèle associé à ce langage qu'il est le modèle d'une théorie, ou encore qu'il satisfait la théorie, s'il rend vrais tous les énoncés de la théorie. Le modèle est un « vérificateur » de la théorie axiomatisée. C'est ce rapport de satisfaction entre modèle et énoncé logique que Tarski a formalisé. Un exemple typique est l'ensemble des entiers naturels, qui est un modèle de l'arithmétique de Peano : nous pouvons décrire l'ensemble des entiers dans le langage de la théorie des ensembles, en nommant certains objets à l'aide de noms propres (« 0 ») et certaines relations à l'aide de prédicats (« être le successeur de »). On peut alors vérifier que le modèle satisfait les axiomes de Peano (« tous nombre a un et un seul successeur »...).

Un autre exemple est représenté figure 1.1. La figure représente le plan de Fano, une structure discrète qui satisfait les axiomes suivants (qui sont des axiomes de la géométrie de Hilbert) :

- par deux points passe une et une seule droite
- deux droites se coupent en un et un seul point
- toute droite passe par au moins deux points.

Si les empiristes logiques ont pu utiliser les outils de la théorie des modèles de Tarski, il ne s'agissait pas de décrire les modèles que les scientifiques utilisent (qui ne peuvent avoir la même généralité que les axiomes) mais plutôt de modéliser la façon dont une théorie dans son ensemble

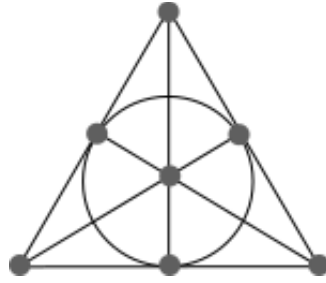


FIGURE 1.1 – Plan de Fano

se rapporte au monde, ou encore de formaliser la notion de vérité d'une théorie. L'idée était donc plutôt de modéliser le monde lui-même comme une structure qui vérifie la théorie, celle-ci étant comprise comme un ensemble d'axiomes. Les tenants d'une conception sémantique proposent au contraire d'assimiler une théorie scientifique à un ensemble de modèles, ceux utilisés par les scientifiques, plutôt qu'à un ensemble d'axiomes, en ayant éventuellement recours à la théorie de Tarski pour comprendre comment les formulations axiomatiques des théories se rapportent à cet ensemble de modèles. À cette fin, ils mettent en avant différentes limitations de la conception des empiristes logiques, parfois surnommée par contraste « conception syntaxique de théories » (ces limitations évoquent certains points mentionnés dans les sections précédentes) :

1. Les axiomes d'une théorie ne sont jamais testés en isolation, mais en bloc. Les modèles expriment cet aspect holistique de la confrontation à l'expérience : tous les axiomes de la théorie sont mis à contribution pour construire un modèle.
2. Les règles de correspondance entre théorie et observations ne sont pas forcément formalisables de manière systématique ; elles ne concernent pas seulement l'interprétation de la signification des termes théoriques mais peuvent correspondre à des techniques expérimentales tacites, contextuelles, et peuvent évoluer indépendamment de la théorie à mesure que les techniques expérimentales évoluent. Elles devraient donc être conçues comme externes à la théorie, et on pourrait mieux en rendre compte en termes de comparaison de modèles de données et de modèles théoriques.
3. La distinction stricte entre langage théorique et langage d'observation est infondée : il existe des termes d'observation chargés de théorie ou des termes mixtes. Les modèles, en tant que pures structures mathématiques, ne reposent pas sur ce type de distinction.

4. La logique du premier ordre (sic) n'est pas le bon langage pour exprimer le contenu d'une théorie. Les physiciens utilisent directement des formulations mathématiques c'est-à-dire le langage de la théorie des ensembles.
5. Les physiciens n'ont pas besoin que leur théorie soit présentée sous forme d'axiomes pour l'utiliser. Ils peuvent utiliser des théories non strictement axiomatisées (comme la théorie quantique des champs, dans sa version utilisée par les physiciens) voire mélanger plusieurs théories formellement incompatibles au sein des mêmes modèles, qui, encore une fois, seront décrits directement à l'aide d'un formalisme mathématique.
6. Certaines théories ont des axiomatisations différentes mais jugées équivalentes (comme les formulations lagrangienne et hamiltonienne de la mécanique newtonienne). Cette équivalence théorique apparaîtrait mieux au niveau des modèles.

On voit que l'approche sémantique sert plusieurs objectifs. Le premier est de proposer une conception des théories scientifiques moins abstraite et plus proche de la pratique réelle des scientifiques. Ce sont en général des modèles, non des axiomes, qui nous servent à représenter des domaines de la réalité, et qui sont confrontés à l'expérience. Le second objectif est d'éviter certains des problèmes auxquels étaient confrontés les empiristes logiques, en particulier les problèmes sémantiques. L'idée est qu'en se concentrant sur les modèles d'une théorie, conçus comme de pures structures mathématiques, on éviterait tout recours à un langage, court-circuitant ainsi les questions de rapport du langage au monde. Il s'agirait par exemple de se passer de la notion traditionnelle de référence, et de comprendre la correspondance à la réalité, ou aux phénomènes observables, à travers des concepts mathématiques, comme la notion d'isomorphisme. L'approche permettrait de mieux rendre compte non seulement de la confrontation expérimentale, mais aussi des relations inter-théoriques et de la continuité entre théories successives (qui serait une continuité de structure entre les modèles), ou encore de la notion de vérité approximative. On retrouve ce second objectif plutôt chez des auteurs structuralistes (empiristes, comme van Fraassen, ou réalistes, comme French ou Ladyman).

Ainsi van Fraassen (1989, p. 221) affirme à propos de l'échec de l'approche des empiristes logiques :

In any tragedy, we suspect that some crucial mistake was made at the very beginning. The mistake, I think, was to

confuse a theory with the formulation of a theory in a particular language.⁷

On retrouve ici l'idée que se concentrer sur les modèles permettrait de s'affranchir de la dépendance à un langage, et de court-circuiter les problèmes sémantiques rencontrés par les empiristes logiques, qui ne seraient qu'un artefact de la manière dont ils concevaient les théories comme ensemble d'énoncés portant sur le monde.

Il faut cependant contrebalancer tous ces arguments par certaines remarques⁸. Les premières concerneront les critiques qui sont faites de la conception syntaxique des théories. Les secondes concerneront l'idée entretenue par les structuralistes que la conception sémantique permettrait de se passer du recours à un langage. Enfin les troisièmes concerneront l'idée plus générale qu'on pourrait se passer d'une axiomatisation pour décrire les théories.

1.3.2 *Remarques sur le projet de l'empirisme logique*

La conception sémantique des théories s'appuie peut-être parfois sur une vision caricaturale de celle des empiristes logiques. C'est le cas notamment du point 4 de l'énumération ci-dessus concernant l'utilisation de la logique du premier ordre. L'argument est fréquemment avancé pour défendre la conception sémantique, mais il est faux (Lutz, 2012) : les empiristes logiques n'ont jamais prétendu restreindre leurs formulations des théories à la logique du premier ordre. Carnap utilise par exemple les phrases de Ramsey, qui sont exprimées en logique du second ordre. Pas plus n'ont-ils entretenu de projet normatif à l'égard des outils formels à la disposition des scientifiques ou des philosophes. Certains ne se privaient pas d'utiliser des fonctions mathématiques ou des probabilités. Il faut aussi noter qu'au début du mouvement dans les années 1920, la distinction entre logique du premier et du second ordre n'était pas aussi claire qu'elle l'est aujourd'hui. Or la logique du second d'ordre est capable de rendre compte assez directement des mathématiques avancées.

Le point 6 concernant le problème des axiomatisations multiples d'une théorie a également été mis en doute par Halvorson (2012). Il affirme qu'on peut très bien parler d'équivalence entre deux axiomatisations, que les formulations lagrangienne et hamiltonienne de la mécanique classique

7. « Dans toute tragédie, on soupçonne qu'une erreur cruciale a été commise au tout début. L'erreur a été, je pense, de confondre une théorie et la formulation d'une théorie dans un langage particulier. » (ma traduction)

8. pour une revue récente des débats, voir Lutz (2015)

ont en fait des classes de modèles différentes, et que de manière générale, le problème de multiplicité des axiomatisations se pose aussi pour les conceptions sémantiques, dans la mesure où des structures isomorphes, comme les entiers naturels, peuvent être formulées de différentes façons dans la théorie des ensembles.

Concernant le point 1 sur l'aspect holistique de la confrontation expérimentale : notons qu'il s'agit plutôt d'une critique des premières formes que prenait l'empirisme logique (Carnap proposait d'introduire les termes théoriques par des définitions strictes qui permettraient en effet la confrontation d'énoncés théoriques isolés). La notion plus libérale de règle de correspondance permet de rendre compte de l'aspect holistique des théories. Ceci dit on peut considérer que la notion de modèle est en effet une bonne façon de rendre compte de cet aspect.

Les points 2 et 5 relèvent peut-être d'un malentendu sur le projet des empiristes logiques. Certes les scientifiques se soucient peu de l'axiomatisation de leurs théories et ne formalisent pas la façon dont ils les font correspondre au monde, mais les empiristes logiques ne cherchaient pas nécessairement à rendre compte de la pratique scientifique ou à rendre compte de l'usage courant du terme « théorie ». Il s'agissait plutôt d'un projet de reconstruction de la connaissance scientifique visant à l'asseoir sur des bases solides. À ce titre, l'emphase mise sur la syntaxe servait essentiellement un but de rigueur logique et mathématique dans l'analyse philosophique du contenu des théories.

On peut penser que l'idée d'analyser la confrontation empirique par des règles de correspondance systématiques entre un langage théorique et une base d'observation théoriquement neutre est vouée à l'échec (en raison des points 2 et 3 de l'énumération ci-dessus), mais l'idée qu'une théorie devrait pouvoir être axiomatisée reste selon nous légitime (si l'on ne se restreint pas à la logique du premier ordre). Au fond, on peut penser que si les scientifiques utilisent des modèles à des fins pratiques, la plupart pensent que leurs théories sont en principe axiomatisables, ou devraient l'être, et qu'une théorie non axiomatisée est une étape temporaire vers une théorie plus fondamentale. La théorie quantique des champs, qui n'est pas strictement axiomatisée, notamment à cause des techniques de renormalisation, est souvent présentée pour cette raison précise comme une théorie « effective » qui devrait être ultimement remplacée par une théorie plus fondamentale et plus générale. En outre, l'axiomatisation apporte une certaine unité à une théorie que la conception sémantique ne permet pas forcément de retrouver. Nous verrons plus loin (1.3.4) d'autres arguments à cet effet.

1.3.3 Peut-on se passer d'un langage ?

Outre ces critiques illégitimes de la conception syntaxique, la conception sémantique des théories peut être critiquée sur certains points, du moins telle qu'elle est défendue par certains auteurs. L'idée d'assimiler les modèles scientifiques à de pures structures mathématiques entretenue par certains structuralistes, et ainsi de se passer du langage (ou plutôt devrait-on dire de se contenter d'un langage plus pauvre, celui de la théorie des ensembles, conçu comme plus universel⁹) semble difficilement praticable. Le problème est que certains modèles scientifiques ne correspondent pas directement à de pures structures mathématiques : par exemple les modèles biologiques de la cellule vivante. Ils s'apparentent plutôt à un ensemble de propositions (un noyau à l'intérieur d'une membrane ...) desquelles une reconstruction fidèle en langage mathématique serait certainement complexe et, pour le coup, éloigné de la pratique (Thomson-Jones, 2012).

Même dans le cas de modèles fortement mathématisés, comme ceux de la physique, on peut penser que le vocabulaire peut servir à fixer le domaine d'application ou à réguler la confrontation empirique. On peut juger ces aspects essentiels au modèle. Ainsi certaines structures isomorphes peuvent s'appliquer à des domaines divers (le modèle d'un pendule idéal et celui de certains composants électriques partagent par exemple une même structure mathématique), mais peu seraient prêts à affirmer qu'il s'agit des mêmes modèles (Frigg, 2006).

Outre le fait de fixer le domaine d'application, les termes du langage théorique ont une autre fonction : celle d'établir un lien entre les différents modèles de la théorie, en précisant qu'on parle bien de la *même* propriété ou relation d'un modèle à l'autre. À ce titre, une théorie axiomatisée s'apparentent plutôt à un espace topologique de modèles qu'à une simple collection de modèles disparates (Halvorson, 2012). On ne peut d'ailleurs vraiment parler d'équivalence entre théories indépendamment d'un langage qui fasse le lien entre leurs modèles respectifs.

Au final l'idée que la conception sémantique, en s'affranchissant du recours à un langage, permettrait d'éviter les difficultés d'ordre sémantiques rencontrées par les empiristes logiques quand il s'agissait de comprendre la façon dont les théories se rapportent au monde paraît illusoire : considérer les théories comme de pures structures mathématiques ne fait qu'éluider le problème, et il faut ensuite comprendre comment ces structures sont confrontées à l'expérience (ou comment on construit des structures, les

9. À noter que dans ce cadre, la question du choix d'un cadre méta-mathématique peut se poser (Krause et Bueno, 2007)

modèles de données, à partir de l'expérience¹⁰). Ainsi juste présenter des structures est insuffisant si l'on ne fait référence à rien, c'est-à-dire si on n'utilise pas un langage pour affirmer que ces structures représentent un certain domaine de la réalité (Chakravartty, 2001).

On pourrait à ce stade être tenté, à l'instar de French et Saatsi (2006), par une conception sémantique « modérée » qui ferait jouer au langage un rôle complémentaire aux modèles, notamment quand il s'agit de fixer leurs domaines d'application, mais sans souscrire à l'idée qu'une théorie devrait être présentée sous forme axiomatisée. On peut par exemple avoir recours à la façon dont Suppe définit ce qu'est une structure théorique : il s'agit d'une spécification des transitions entre états, où les états correspondent à des valeurs ou des répartitions de probabilité sur les valeurs des paramètres libres de la théorie. Cette caractérisation de ce qu'est une structure théorique est déjà interprétée : on y retrouve par exemple la notion de transition (qui implique la notion de temps), mais elle suppose également que les paramètres libres, ou degrés de liberté d'une théorie sont physiquement interprétés.

Il s'agit finalement de dire que ce sont les modèles décrits dans un langage qui devraient nous intéresser et non pas seulement les structures mathématiques abstraites. Cependant cette conception modérée tend à amoindrir l'incompatibilité entre les conceptions sémantiques et syntaxiques : il y a une forme d'équivalence entre la présentation d'un ensemble de modèles associés à un langage et la présentation d'axiomes dans ce langage. Par exemple, la théorie des groupes, qui fait partie du contenu des théories de la physique contemporaine, peut être présentée de manière équivalente en théorie des ensembles, en associant le prédicat « être un groupe » aux structures décrites, ou par une axiomatique indépendante de la théorie des ensembles. Dans ce cas n'est-il pas souhaitable de présenter ces modèles de manière plus concise sous forme axiomatique ? Et n'est-ce pas ce que font les physiciens quand ils expriment des lois ?

1.3.4 *Peut-on se passer d'axiomes ?*

S'il est clair que les modèles jouent un rôle plus central en science que ne le pensaient Carnap et Hempel, notamment dans la confrontation empirique des théories, certaines approches tendent à se distancier des conceptions sémantiques en amenant à penser que les modèles, mêmes associés à un langage, ne peuvent se substituer à l'axiomatisation.

10. voir à ce sujet Bailer-Jones (2013, ch. 6.1)

C'est le cas par exemple suivant une approche pragmatiste. Ainsi Suárez (2005) ou encore Cartwright (1999) envisagent de concevoir les théories comme des outils permettant la construction de modèles. Mais cette construction n'a rien de systématique : c'est, pour Cartwright, un art plutôt qu'une procédure mécanique. Une raison de cette absence de systématisme peut être que le modèle vient compléter la théorie en l'appliquant à des situations concrètes, suivant donc des motivations phénoménologiques qui ne sont pas spécifiées par la théorie elle-même mais dictées par cette situation. Les modèles peuvent également simplifier la théorie en vue de son application. C'est le cas en chromodynamique quantique, où des modèles simplifiés sont utilisés, sur la base de mesures de certaines quantités difficilement calculables. Il existe donc pour Cartwright une relative autonomie de l'axiomatisation et des modèles, les deux ayant leur importance.

Un cas extrême correspond aux situations où des modèles existent sans qu'aucune théorie ne leur corresponde. C'est une situation assez fréquente notamment en biologie ou en économie. On peut cependant envisager, dans ce cas, que les modèles sont des préliminaires à la théorie : ils servent à son élaboration. En effet, on trouve de nombreux exemples dans l'histoire des sciences de modèles qui constituent une première approche en vue d'élaborer une théorie (par exemple, les modèles d'atome)¹¹.

En somme, suivant ces approches, il s'agirait de voir les modèles comme des intermédiaires entre la théorie et la réalité plutôt que comme se substituant à la formulation de la théorie.

Une autre motivation pour conserver l'axiomatisation est plus métaphysique. Les axiomes d'une théorie expriment généralement des lois de la nature. Si l'on est réaliste à propos des lois de la nature, nous avons toutes les raisons de penser que les axiomes d'une théorie jouent un rôle explicatif que les modèles ne peuvent jouer, et que ces axiomes expriment des aspects importants de la réalité qui sont seulement exemplifiés par les modèles.

Maudlin (2007, chap. 1) fournit plusieurs arguments en ce sens. Si vraiment les théories n'étaient que des collections de modèles, il suffirait par exemple de supprimer délibérément les modèles physico-chimiques de l'univers ne contenant pas d'êtres vivants pour pouvoir affirmer avoir expliqué l'origine de la vie. Mais à l'évidence, on exigera une explication plus substantielle. Ou encore certaines observations en cosmologie sont considérées comme des anomalies requérant une explication, bien que des modèles de la théorie standard, ayant des conditions initiales particulières jugées a

11. À titre d'exemple, Pradeu (2014) affirme que la biologie du développement propose bien des théories.

priori peu probables, correspondent phénoménologiquement à ces observations. Il suffirait alors en principe de restreindre la théorie à ces modèles improbables, si vraiment une théorie n'était qu'une collection de modèles, pour résoudre l'anomalie. Ce n'est pas ce que font les cosmologistes, et la pratique scientifique atteste donc de l'importance des lois scientifiques, en particulier quand il est question d'expliquer les observations empiriques. Ceci rejoint notre remarque sur le fait que les scientifiques peuvent penser que leurs théories *devraient* être axiomatisables.

On pourrait aussi relier ces aspects à la vertu unificatrice des théories scientifiques, ou à la vertu de simplicité théorique, qui semblent être des aspects centraux du développement des sciences (par exemple, les problèmes de compatibilité entre l'électromagnétisme et la mécanique newtonienne ont motivé l'élaboration de la théorie de la relativité qui unifie ces deux théories). Chercher une théorie unifiée et simple, c'est chercher un système d'axiomes synthétiques en faible nombre permettant de rendre compte d'un maximum de phénomènes exemplifiés dans des modèles divers. Il n'est pas évident que les conceptions sémantiques puissent rendre correctement compte de ces aspects si elles s'en tiennent à l'affirmation suivant laquelle une théorie n'est rien de plus qu'une collection de modèles.

1.3.5 *Que reste-t-il de la conception sémantique ?*

Si l'on admet suivant les arguments précédents que l'axiomatisation d'une théorie joue un rôle important, et que c'est la bonne façon de présenter le contenu d'une théorie, que reste-t-il de la conception sémantique ?

Elle a au moins eu le mérite de mettre en avant le rôle important que jouent les modèles dans la pratique scientifique. Ce rôle des modèles traduit principalement plusieurs aspects cruciaux de la pratique scientifique comme le fait que les théories sont confrontées en bloc à la réalité plutôt que sous forme d'énoncés isolés (même si cet aspect avait été reconnu par les empiristes logiques, il est sans doute mieux compris dans le cadre de la théorie des modèles) ou que la correspondance entre les théories et l'expérience est mieux conçue comme un aspect pratique relativement autonome du contenu théorique lui-même plutôt que comme un ensemble de règles de traduction systématiques entre langage d'observation et langage théorique. De ce point de vue, les modèles semblent en effet constituer le bon point de départ si l'on s'intéresse à la confrontation expérimentale et aux relations inter-théoriques (puisque les théories successives partagent des domaines d'application).

Les modèles assurent donc la médiation entre le contenu théorique

et la réalité. Il ne faudrait pas pour autant tomber dans l'excès inverse et identifier une théorie à un ensemble de structures mathématiques. Non seulement nous avons besoin d'un langage pour formuler nos modèles et pouvoir spécifier leur domaine d'application, mais les axiomes jouent toujours un rôle, comme celui d'organiser les modèles les uns par rapport aux autres ou d'exprimer des lois synthétiques qui jouent un rôle explicatif et unificateur.

Nous détaillerons chapitre 4 la façon dont on concevra les théories scientifiques dans cette étude.

Conclusion

Le premier aspect du réalisme scientifique est l'aspect sémantique, qui concerne le rapport de nos représentations à la réalité. À ce sujet, l'empirisme logique et les riches débats qu'il a générés sont fondateurs pour la philosophie des sciences. Ils montrent les limites qu'il peut y avoir à une approche fondationnaliste en épistémologie qui tenterait de réduire le contenu cognitif des théories scientifiques à nos observations uniquement. Nous avons vu différents arguments à cet effet, qu'aucun empiriste ne peut ignorer : le holisme de la signification, qui indique que les termes ne peuvent se réduire à des relations systématiques à nos observations, l'indispensabilité des termes théoriques pour les inférences scientifiques et l'extension des théories à de nouveaux domaines, le holisme de la confirmation, qui indique que nos théories sont confrontées en bloc à l'expérience et qu'une expérience n'est jamais suffisante pour rejeter une hypothèse, et la charge théorique de l'observation, qui montre que nos rapports d'observation ne sont pas indépendants de croyances préalables, éventuellement contextuelles. Ces difficultés ont généré un renouveau du réalisme scientifique et de la métaphysique, en montrant que les théories scientifiques, tout comme les énoncés métaphysiques, dépassent le seul contenu de l'expérience, et qu'il existe une certaine homogénéité, sur le plan sémantique, entre nos croyances théoriques et nos croyances à propos des objets ordinaires.

Il est coutume aujourd'hui de considérer les débats sémantiques en philosophie des sciences comme peu pertinents, et de se concentrer sur les questions d'ordre épistémiques, qui partent du principe que nos théories ont vocation à décrire la réalité pour se demander si nous sommes en position de savoir si elles sont vraies. Les structuralistes, en particulier, pensent pouvoir court-circuiter les questions d'ordre sémantique en se concentrant sur les modèles théoriques, conçus comme pures structures.

C'est à tort, selon nous : on peut difficilement se passer d'un langage pour fixer le domaine d'application de nos théories et organiser les modèles qu'elles permettent de construire. Les questions sémantiques restent donc pertinentes en philosophie des sciences. En outre, si les thèses de Kripke révèlent un certain fonctionnement du langage, il ne faudrait pas négliger les aspects pragmatiques, et ne pas perdre de vue que la confrontation empirique reste un aspect central en science pour trancher entre les hypothèses concurrentes. Enfin nous avons vu que des approches pragmatistes, qui rejettent l'idée d'une vérité-correspondance, restent envisageables et peuvent s'accommoder des aspects holistiques de la représentation et de la confrontation expérimentale. C'est ce type d'approche que nous allons défendre dans ce travail, en examinant notamment la manière dont une adhésion aux modalités naturelles peut permettre de leur donner une forme riche et cohérente.

Reste que les questions épistémiques gardent aussi leur importance, puisque c'est précisément le doute sur nos possibilités de savoir si nos théories sont vraies, au sens d'une vérité-correspondance, qui peuvent motiver un repli vers d'autres conceptions plus pragmatistes de la vérité et de la signification. Nous allons donc nous pencher, dans le chapitre suivant, sur le versant épistémique du réalisme scientifique.

Chapitre 2

Le réalisme scientifique : aspects épistémiques

English abstract

Semantic realism introduces a gap between our epistemic capacities and the truth of theories : scientific theories are under-determined by experience. The main realist strategy to overcome this problem is by appeal to abduction, or inference to the best explanation, and the non-empirical criteria associated with good explanations : following the no-miracle argument, scientific realism is the best explanation to the empirical success of theories, or the only one that does not make of this success a miracle. However, there are reasons to doubt that abduction is a principle of justification rather than a strategic device. Moreover, the pessimistic induction argument, based on the fact that most successful past theories are now abandoned, threatens the link between empirical success and realism.

Nous avons examiné dans le chapitre précédent (chapitre 1) les aspects sémantiques du réalisme scientifique, à savoir ce qui concerne le statut de la représentation scientifique et son rapport à la réalité. Les difficultés de l'empirisme logique ont déplacé le débat philosophique vers des questions plutôt épistémiques, relatives à nos possibilités d'acquérir une connaissance du monde : partant du principe que nos théories prétendent décrire une réalité indépendante de nous, la question est de savoir si elles y parviennent, et donc, si nous sommes justifiés de les croire vraies. C'est bien le scepticisme à ce sujet qui a pu motiver initialement les différents projets de refondation sémantique du contenu des théories que nous avons présentés dans le chapitre précédent, aussi ces débats ont leur importance.

Nous examinons dans ce chapitre les différents arguments du débat épistémique sur le réalisme scientifique. Dans la section 2.1, nous présentons la sous-détermination par l'expérience, qui est une manière générale d'exprimer les inquiétudes que l'on pourrait avoir envers le réalisme scientifique. Puis dans la section 2.2 nous examinons la principale justification du réalisme, fondée sur le succès empirique des sciences en général, surnommée « argument du miracle », et les oppositions possibles à cet argument. Enfin section 2.3 nous détaillons l'une des principales réponses à l'argument du miracle : la méta-induction pessimiste, qui s'appuie sur le changement théorique pour soutenir que nos meilleures théories scientifiques sont probablement fausses.

2.1 La sous-détermination par l'expérience

L'idée que nos représentations prétendent décrire une réalité qui nous est indépendante pose un problème immédiat : comment pourrions-nous savoir qu'elles sont correctes, si, précisément, cette réalité nous est indépendante, et ne nous est accessible que de manière médiate, par l'expérience ? Le réalisme sémantique semble introduire un fossé infranchissable entre le contenu de nos représentations, qui dépasse toujours l'expérience, et nos capacités de justifier ce contenu par l'expérience. Ne pourrait-il alors exister plusieurs représentations du monde aussi bien compatibles avec ce qu'il nous est donné d'observer ?

Cette inquiétude est ancienne. On la retrouve parfaitement illustrée chez Descartes :

[C]omme un horloger industrieux peut faire deux montres qui marquent les heures en même façon, et entre lesquelles il n'y ait aucune différence en ce qui paraît à l'extérieur, qui n'aient

toutefois rien de semblable en la composition de leurs roues : ainsi il est certain que Dieu a une infinité de divers moyens, par chacun desquels il peut avoir fait que toutes les choses de ce monde paraissent telles que maintenant elles paraissent sans qu'il soit possible à l'esprit humain de connaître lequel de tous les moyens il a voulu employer à les faire. (Descartes et Picot, 1647, IV, 204)

L'idée, ici, est que plusieurs théories différentes pourraient rendre compte exactement des mêmes phénomènes : elles seraient empiriquement équivalentes. On parle à ce sujet de sous-détermination contrastive. Celle-ci ne peut exister que dans la mesure où le contenu cognitif des théories n'est pas systématiquement ramené à ses conséquences observables.

Une autre forme de sous-détermination est surnommée sous-détermination holistique. Il s'agit d'une conséquence du holisme de la confirmation, que nous avons présenté dans le dernier chapitre (section 1.1.3), et qui visait à mettre en difficulté le réductionnisme (et donc, de nouveau, la possibilité de ramener le contenu cognitif des théories à l'expérience seule). Les énoncés théoriques ne sont jamais confrontés de manière isolée à l'expérience, mais en bloc, accompagné d'hypothèses auxiliaires concernant par exemple le fonctionnement de nos appareils de mesure ou le domaine auquel on applique nos théories. Il en découle que plusieurs révisions sont envisageables à la suite d'un échec expérimental, et chaque révision donnera lieu à une théorie aussi bien compatible avec nos observations. L'expérience ne permet jamais de savoir quelle révision apporter à nos croyances, et ne suffit donc pas pour savoir qu'une théorie est vraie.

Nous examinons dans cette section les différentes réponses apportées au problème de sous-détermination.

2.1.1 Sous-détermination et critères non-empiriques

La sous-détermination repose apparemment sur une distinction entre un contenu théorique inobservable, hypothétique, et un contenu directement observable donné dans l'expérience. Or nous avons vu, dans le dernier chapitre, des raisons de douter de l'existence d'une telle distinction tranchée. Remarquons cependant que l'absence de frontière tranchée qui pourrait recevoir une assise purement linguistique n'interdit pas de concevoir que certains objets du monde sont plus directement observables que d'autres, et que certains aspects de notre expérience fournissent à certaines de nos croyances une robustesse dont ne jouissent pas d'autres croyances plus hypothétiques. Ce type de distinction suffit à jeter le doute sur nos théories

scientifiques. En outre, le fait que même nos observations directes sont révisables, parce que chargées de théorie, devrait amener plus de suspicion envers nos croyances théoriques : loin de miner la sous-détermination, la charge théorique de l'observation est susceptible de la généraliser à l'ensemble de nos croyances, y compris nos croyances les plus communes.

On peut cependant faire valoir, à l'instar de Laudan (1990), que le fait que plusieurs théories soient aussi bien compatibles avec les mêmes observations (qu'il appelle sous-détermination faible) n'implique pas que toute théorie soit aussi bien *confirmée* par n'importe quelle observation (sous-détermination forte). Selon Laudan, il n'existe pas de réel cas de sous-détermination forte : généralement, les scientifiques savent se mettre d'accord sur les théories à adopter, en utilisant différents critères, comme la simplicité, le pouvoir explicatif¹, et ces critères peuvent être considérés comme rationnels. La sous-détermination faible menace en fait toute forme de raisonnement ampliatif, c'est-à-dire allant au-delà de ce qu'on peut déduire de nos observations, y compris par exemple le raisonnement inductif (nos généralisations inductives pourraient échouer à l'avenir), mais pour Laudan, seule la sous-détermination forte devrait vraiment nous inquiéter. Mais, selon lui, il n'existe aucun argument convaincant qui la soutienne.

En effet, le holisme de la confirmation avancé par Quine est purement théorique : il porte sur des possibilités logiques. Il convient donc d'examiner comment se présente, en pratique, la sous-détermination des théories par l'expérience. Or, il est rare que les scientifiques ne parviennent à se mettre d'accord sur les révisions à apporter lors d'un échec expérimental. Ils pourront commencer par vérifier le fonctionnement de leurs appareils de mesure par des tests adéquats avant d'émettre des hypothèses contextuelles, qu'ils chercheront ensuite à vérifier, et en l'absence de résultats, ils pourront envisager de revoir leurs hypothèses théoriques. Le point important est qu'il semble y avoir généralement consensus au sujet des hypothèses ou théories à adopter, ou, pour le moins, sur les moyens à mettre en œuvre pour départager des hypothèses concurrentes, et qu'on peut suspecter que ces choix sont rationnels.

On pourrait certes envisager une sous-détermination contrastive qui concernerait des théories ayant exactement les mêmes conséquences empiriques. Mais à l'appui de Laudan, la plupart des exemples qu'on peut donner de théories alternatives produisant exactement les mêmes prédictions s'avèrent relativement triviaux.

Certains exemples de construction de théories alternatives s'appuient

1. Ce point est déjà relevé par Duhem (1906, chap. 6, article 10).

sur l'ajout de postulats ad-hoc invérifiables à des théories existantes. Un exemple (proposé par van Fraassen mais qui remonte à Newton lui-même) part de la théorie de la gravitation de Newton, à laquelle on ajouterait le postulat que l'univers tout entier se déplace à une certaine vitesse constante. Dans ce cas rien ne nous empêche d'accepter la théorie dans sa forme minimale, tout en restant agnostique sur l'existence des postulats supplémentaires qui ne se traduisent en aucune donnée observable. En effet, la vitesse de l'univers dans son ensemble est indépendante du fait que la théorie de Newton soit vraie.

On peut également imaginer une théorie qui correspondrait à la théorie de la relativité quand nous effectuons des observations, mais qui serait totalement différente quand nous n'observons rien. Mais une telle hypothèse s'apparente à un scepticisme métaphysique du type de celui de Descartes, postulant l'existence d'un malin génie qui nous tromperait systématiquement, et ce type de scepticisme s'applique aussi bien à la connaissance scientifique qu'à tout type de connaissance. On peut juger que ce genre de doute n'est pas rationnel, puisqu'il minerait toute possibilité de connaissance.

Suivant un raisonnement similaire, Ladyman et Ross (2007, p. 82) remarquent qu'il est facile de construire une théorie qui nous amènerait à douter de la validité de l'induction : par exemple celle qui est équivalente à la théorie de la relativité jusqu'à présent, mais change brusquement à partir du futur. Or ce type de scepticisme minerait aussi bien les formes contemporaines d'empirisme, comme l'empirisme constructif qui affirme que nos théories rendent correctement compte des phénomènes observables présents, passés et futurs.

Nous pouvons donc considérer que les critères qui nous font rejeter ce type de scepticisme, métaphysique ou à propos de l'induction, sont des critères rationnels, et que, de manière générale, les scientifiques disposent de critères rationnels pour sélectionner les théories à adopter.

Pour répondre à Laudan, on pourrait, s'inspirant des thèses de Quine, intégrer ces critères rationnels au sein de notre schème conceptuel, et les considérer comme eux-mêmes révisables. Mais alors il n'y a pas lieu non plus d'en exclure la façon dont les données expérimentales sont interprétées, et on peut être amené à penser que des théories conçues comme empiriquement équivalentes à un moment donné pourraient ne plus l'être plus tard (Stanford, 2001). Il serait toujours possible de lever une sous-détermination en élargissant notre domaine d'expérience. D'après Laudan et Leplin (1991), l'impact de la sous-détermination serait généralement surestimé, du fait d'envisager les théories dans un contexte trop restreint,

en négligeant notamment les connexions entre les théories portant sur des domaines distincts.

2.1.2 *Rationalité et vérité*

Ces différentes réponses à la sous-détermination sont acceptables pour peu qu'on accepte qu'il existe un lien entre les critères rationnels qui nous permettent de sélectionner les théories et la vérité des théories. Mais le problème, pour le réalisme, n'est pas tant de savoir si les scientifiques savent se décider pour choisir quelle théorie adopter que de savoir en quoi les critères qu'ils utilisent seraient des indicateurs de vérité (au sens de correspondance) plutôt que de simples critères pragmatiques. Une théorie simple est certainement plus aisément maniable qu'une théorie complexe, mais pourquoi une théorie simple serait-elle plus plausible qu'une théorie complexe ? La simplicité peut être un critère rationnel sans pour autant être indicateur de vérité : tout dépend de ce qu'on considère être le but de la science. Or, un empiriste comme van Fraassen nie précisément que ce but soit de produire des théories vraies.

Par ailleurs, un doute généralisé du type génie cartésien minerait, certes, toute possibilité de connaissance pour un réaliste qui conçoit la connaissance comme correspondance à la réalité, mais on pourrait aussi bien y voir une réfutation par l'absurde de la conception de vérité comme correspondance, trop exigeante vis-à-vis de nos possibilités épistémiques, à l'instar de Putnam qui rénove ce type de scepticisme cartésien avec l'expérience de pensée du cerveau dans une cuve. Et si l'on intègre les critères rationnels qui nous font éliminer ce type d'hypothèses au sein de notre schème conceptuel, et qu'on les juge donc justifiés indirectement par l'expérience, il n'est pas certain qu'on aboutisse à un véritable réalisme métaphysique plutôt qu'à un réalisme interne du type de celui défendu par Putnam ou Quine (section 1.2.4).

En outre, même si les scientifiques savent généralement se décider face à plusieurs théories concurrentes, on peut douter que les critères rationnels qu'ils utilisent leur permettent de sélectionner la meilleure théorie parmi toutes les théories *possibles*. Rien n'exclut qu'il existe des théories alternatives aux nôtres qui ne leur sont pas strictement équivalentes, et dont nous n'avons pas forcément idée, mais qui rendent aussi bien ou mieux compte des données expérimentales dont nous disposons actuellement. Ce cas de sous-détermination est parfaitement avéré dans l'histoire des sciences, puisqu'on l'observe en fait chaque fois qu'une ancienne théorie est remplacée par une nouvelle : la nouvelle théorie est alors généralement

aussi bien, ou mieux vérifiée que l'ancienne sur un ensemble de données expérimentales tout aussi important que celles sur lesquelles l'ancienne théorie était vérifiée (quand bien même ces ensembles ne se recouvrent pas parfaitement). De plus elle n'avait pas été envisagée auparavant. Il existe donc potentiellement des théories inconnues rendant aussi bien ou mieux compte de nos données expérimentales que les théories actuellement admises. Ce dernier aspect est en lien au problème de la méta-induction pessimiste, sur lequel nous nous pencherons plus loin.

Enfin, si l'on rencontre rarement des cas de théories sur lesquelles les scientifiques ne peuvent se décider, la sous-détermination menace assez directement ce qui relève de l'interprétation métaphysique des théories. Sans parler de questions purement métaphysiques (tropes contre universaux, ou relationnisme contre substantialisme à propos de l'espace-temps...), la théorie de la gravitation de Newton, par exemple, peut recevoir une forme empiriquement équivalente suivant laquelle les forces sont remplacées par des déformations de l'espace temps (Earman, 1993). On peut finalement n'y voir qu'une différence interprétative de la même théorie (Norton, 2008), mais cette interprétation est sous-déterminée. On peut également citer la multiplicité des formalismes : les formulations lagrangienne et hamiltonienne de la mécanique classique, ou les différentes formulations de la mécanique quantique (calcul matriciel et mécanique ondulatoire), que les scientifiques jugent équivalentes. On peut invoquer en effet une équivalence empirique, mais l'équivalence sur le plan de l'interprétation métaphysique peut poser question.

Le problème est alors que l'affirmation réaliste suivant laquelle nos théories sont vraies est ambiguë, puisqu'il n'existe pas nécessairement une unique interprétation métaphysique du contenu de nos théories. Les différentes interprétations possibles de la mécanique quantique, qui existent aujourd'hui, peuvent sans doute se ranger dans cette catégorie de sous-détermination². Or dans le cas des interprétations métaphysiques des

2. Le cas cependant est complexe. Il existe des positions anti-réalistes, qui sont donc autant des positions épistémiques que de véritables interprétations. Certains auteurs affirment que la formulation standard de la mécanique quantique n'est pas réaliste et demande à être complétée. Parmi les interprétations réalistes, il est parfois affirmé que la théorie des mondes multiples n'est pas cohérente parce qu'elle ne rend pas compte des probabilités de manière satisfaisante, et d'autres interprétations, qu'on pourrait plutôt qualifier de théories alternatives, font des prédictions en principe différentes de la mécanique quantique standard : c'est le cas des théories GRW et CSL. Cependant les paramètres ajustables de ces théories les rendent en pratique sous-déterminées tant qu'aucune expérience n'invalidé la mécanique quantique standard. De plus le programme des ontologies primitives (Allori et al., 2008) propose différentes interprétations ontologiques

théories, on ne peut vraiment parler de consensus chez les scientifiques ou les philosophes.

La sous-détermination par l'expérience pose donc un problème pour le réaliste, quand bien même les scientifiques savent généralement se décider sur les théories à adopter et les moyens de les départager : il pourrait exister des alternatives insoupçonnées à nos théories, la sous-détermination menace les questions de l'ordre de l'interprétation métaphysique, ce qui risque de faire du réalisme une thèse ambiguë en l'absence d'interprétation univoque des théories, enfin, elle pose question quant au statut des critères de sélection non empiriques employés par les scientifiques pour départager les théories concurrentes, comme la simplicité théorique, qui pourraient aussi bien être des critères pragmatiques.

2.2 L'argument du miracle

Le réaliste rencontre donc un problème, qui tient principalement au fait qu'il postule que nos théories correspondent à la réalité d'une manière qui transcende nos possibilités de le vérifier par l'expérience. Il doit donc faire appel à des modes d'inférence ampliatifs, c'est-à-dire dépassant la déduction sur la base de nos expériences effectives, et faisant appel à des critères non empiriques.

Un premier mode d'inférence ampliatif est l'induction, qui consiste à inférer une généralité sur la base d'observations particulières. Comme le remarquait Hume, le raisonnement inductif est basé sur le présupposé que le monde est régulier, mais cette hypothèse n'est pas connue a priori (l'hypothèse inverse n'a rien de contradictoire), et affirmer la connaître par induction serait circulaire. Il s'agit donc d'une hypothèse non empirique. Certains auteurs ont toutefois tenté de justifier l'induction dans un cadre bayésien (Williams, 1963; Stove, 1986; Campbell, 2001), et on peut en tout cas juger qu'un scepticisme à son égard est trop radical. Cependant, l'induction est insuffisante pour le réaliste : au mieux, elle pourrait permettre de justifier que nos théories rendent correctement compte des régularités observables, mais plusieurs théories peuvent être compatibles avec les mêmes régularités tout en postulant des entités inobservables différentes. Elle ne permet pas réellement d'arriver à l'idée que nos représentations correspondraient à une réalité indépendante. Il faut donc avoir usage d'autres critères de sélection.

de ces théories, comme de la mécanique bohémienne, qui s'opposent toutes au réalisme de la fonction d'onde. On peut interpréter par exemple la mécanique bohémienne comme décrivant plusieurs particules dans un espace ordinaire ou une unique particule dans un espace ayant un grand nombre de dimensions.

Le mode d'inférence ampliatif généralement invoqué par les réalistes est l'abduction, ou inférence à la meilleure explication. Le terme d'abduction a été introduit par Peirce. Il consiste, pour ses défenseurs contemporains, à affirmer que parmi toutes les théories compatibles avec notre expérience, nous devrions croire en celle qui constitue la meilleure explication aux phénomènes³. Les critères qui constituent la meilleure explication seront précisément ceux utilisés par les scientifiques pour sélectionner leurs théories que nous avons mentionné dans la dernière section : on évoque généralement la simplicité théorique, le pouvoir explicatif, la fructuosité pour les inférences, l'unification théorique.

Pour justifier la thèse réaliste face au problème de sous-détermination, il faut donc parvenir à justifier le raisonnement abductif comme mode d'inférence vers la vérité des théories et hypothèses concernées. Nous examinons dans cette section les arguments et contre-arguments employés dans ce débat. Nous nous intéressons au principal argument à cet effet, que l'on surnomme « argument du miracle » (« no-miracle argument », parfois traduit « argument du non miraculeux »).

2.2.1 *Expliquer le succès de la science*

L'argument du miracle est fondé sur le succès empirique des sciences. En deux mots, l'argument est le suivant : ce succès déraisonnable demande une explication, et le réalisme scientifique lui-même serait la meilleure (ou la seule) explication à ce succès⁴. Nous avons affaire à un argument abductif, qui entend faire du réalisme la meilleure explication au succès des sciences.

Il est utile, suivant Psillos (1999, ch. 4), de distinguer deux versions de l'argument. La première est une simple abduction « de premier ordre », qui s'applique à des théories particulières, et affirme que le fait que cette théorie est vraie explique le succès de ses prédictions. On en trouve une

3. Il existe une vaste littérature sur ce qui constitue une explication, et nous ne nous étendrons pas sur le sujet. On peut comprendre l'explication de manière déductive (une explication permet de déduire les phénomènes qu'elle explique par exemple à partir d'une hypothèse unificatrice), de manière causale (elle insère les phénomènes dans un réseau de mécanismes causaux), ou encore de manière pragmatique (une explication est caractérisée par ses aspects psychologiques ou pratiques). Ceci dit il suffit en pratique, pour examiner le raisonnement abductif, de partir du principe qu'une théorie scientifique explique les phénomènes qu'elle prédit, quelle que soit la nature de cette explication.

4. Ici il n'est pas évident de savoir quel sens d'explication est invoqué, mais une conception déductive semble plus appropriée : si une théorie est vraie, on peut en déduire qu'elle est empiriquement adéquate.

illustration chez Smart et Maxwell :

Is it not odd that the phenomena of the world should be such as to make a purely instrumental theory true? On the other hand, if we interpret a theory in the realist way, then we have no need for such a cosmic coincidence : it is not surprising that galvanometers and cloud chambers behave in the sort of way they do, for if there are really electrons, etc., this is just what we should expect. (Smart, 1963)⁵

As our theoretical knowledge increases in scope and power, the competitors of realism become more and more convoluted and ad hoc and explain less than realism. For one thing, they do not explain why the theories which they maintain are mere cognitively meaningless instruments are so successful, how it is that they can make such powerful, successful predictions. Realism explains this very simply by pointing out that the predictions are consequences of the true (or close true) propositions that comprise the theories. (Maxwell, 1970)⁶

On voit que Maxwell fait directement appel à des critères non empiriques, comme la simplicité.

La cible de ces arguments est l'instrumentalisme, qui s'accompagne d'un anti-réalisme sémantique et veut interpréter les théories comme de simples outils pour faire des prédictions. Il est alors affirmé que ce type de vue est implausible, puisqu'alors rien n'explique que ces outils fonctionnent si bien. Ceci dit, il n'est pas certain que ce type d'argument fonctionne contre un réalisme interne, et une doctrine comme l'empirisme constructif, qui accepte le réalisme sémantique, en est immunisée : l'empiriste constructif n'est pas en train de nier qu'il existe quoi que ce soit dans le monde

5. « N'est-il pas étrange que les phénomènes du monde soient tels qu'ils rendraient une théorie purement instrumentale vraie? D'un autre côté, si nous interprétons une théorie à la manière réaliste, nous n'avons aucun besoin d'invoquer une telle coïncidence cosmique : il n'y a rien de surprenant à ce que les galvanomètres et les chambres à bulles se comportent ainsi, puisque s'il y a vraiment des électrons, etc., c'est exactement ce à quoi nous devrions nous attendre. » (ma traduction)

6. « Tandis que notre connaissance théorique progresse en étendue et en force, les concurrents du réalisme deviennent de plus en plus alambiqués et ad-hoc, et ils n'expliquent pas autant que le réalisme. Pour le moins, ils n'expliquent pas pourquoi les théories, qu'ils considèrent être de simples instruments sans contenu cognitif signifiant, ont un tel succès, comment elles parviennent à faire ainsi avec succès des prédictions si fortes. Le réalisme explique ceci de manière très simple, en faisant remarquer que les prédictions sont des conséquences des propositions vraies (ou approximativement vraies) que comprennent les théories. » (ma traduction)

qui puisse rendre compte de l'unité de phénomènes divers, et il pourra faire valoir que nos théories actuelles ne sont pas nécessairement la seule explication aux phénomènes qu'elles prédisent, et que d'autres théories (donc d'autres explications tout aussi « réalistes ») pourraient en rendre compte aussi bien. Dans ce cadre, l'argument s'apparente à une pétition de principe : il ne fait qu'affirmer, sans le justifier, que les critères non empiriques utilisés par les scientifiques pour sélectionner leurs théories face aux explications alternatives sont acceptables, ce que pourra nier un anti-réaliste.

Ce type d'argument reste cependant valide à l'encontre d'un instrumentalisme, dans le sens où l'on peut penser que le fait même qu'une unification théorique de phénomènes disparates soit en principe possible demande une explication que l'instrumentalisme ne peut fournir.

Psillos mentionne une autre forme que peut prendre l'argument du miracle, qu'il attribue à Putnam et Boyd, et qui ne serait pas un raisonnement simplement abductif, mais méta-abductif. Il s'agit d'appliquer le raisonnement abductif à la science dans son ensemble, de manière à justifier le raisonnement abductif appliqué à la sélection de théories particulières : l'argument du miracle viserait alors à justifier l'abduction par l'abduction⁷. La meilleure explication au fait que la science soit en général couronnée de succès est que le raisonnement abductif utilisé par les scientifiques est en général un raisonnement valide, une inférence vers la vérité des théories. Ce type d'argument peut paraître particulièrement convaincant dans le cadre d'une épistémologie naturalisée (évoquée section 1.1.2) : l'idée est, en effet, que l'épistémologie n'est pas une discipline a priori, mais que nos modes d'inférence sont justifiés, au même titre que nos théories, par le succès empirique des sciences.

On doit le terme « argument du miracle » à la formulation de Putnam, qui serait donc une instance de cette stratégie méta-abductive :

The positive argument for realism is that it is the only philosophy that does not make the success of science a miracle. That terms in mature scientific theories typically refer (this formulation is due to Richard Boyd), that the theories accepted in a mature science are typically approximately true, that the same terms can refer to the same even when they occurs in different theories—these statements are viewed not as necessary truths but as part of the only scientific explanation of the success

7. On peut bien sûr y voir une justification circulaire, mais selon Psillos, cette circularité ne serait pas vicieuse.

of science, and hence as part of any adequate description of science and its relations to its objects. (Putnam, 1975a)⁸

Chez Boyd, on trouve l'idée que la méthode scientifique elle-même s'appuie sur les théories produites par la science, et donc, le fait que cette méthode soit couronnée de succès ne peut s'expliquer que si les théories sont vraies. L'idée est, en somme, que le succès prédictif des théories scientifiques et de la méthode scientifique en général demande une explication, et la bonne explication est que nos théories sont vraies : l'abduction qui nous les fait sélectionner est donc bien une inférence vers la vérité.

2.2.2 *Les nouvelles prédictions*

Bien entendu, l'argument (qu'il soit abductif ou méta-abductif) serait peu convaincant si nos théories étaient précisément conçues pour rendre compte de certaines régularités dans nos observations : dans ce cas, le fait qu'elles prédisent avec succès n'aurait rien d'un miracle, puisque c'est précisément pour ceci qu'elles ont été conçues. En effet, si l'on accepte que l'induction est justifiée, on peut être engagé envers l'existence de telles régularités, et juger, à l'instar de van Fraassen (1989, ch. 5), qu'une demande d'explication à ce fait n'est que le début d'une régression à l'infini.

Mais comme l'exprime Psillos (1999, p. 73-74), partant de l'idée qu'un anti-réaliste verra les théories comme des « boîtes noires » qui synthétisent certaines régularités observables :

To be sure, 'black boxes' and the like are constructed so that they systematise known observable regularities. But it does not follow from this that black boxes have the capacity to predict either hitherto unknown regularities or hitherto unforeseen connections between known regularities.⁹

8. « L'argument positif en faveur du réalisme est qu'il s'agit de la seule philosophie qui ne fasse pas du succès de la science un miracle. Que les termes des théories scientifiques matures fassent en général référence avec succès (on doit cette formulation à Richard Boyd), que les théories acceptées par une science mature soient en général approximativement vraies, que les mêmes termes aient la même référence même quand ils apparaissent dans des théories différentes – ces énoncés ne sont pas vus comme nécessairement vrais, mais comme partie intégrante de la seule explication scientifique au succès de la science, et donc, comme partie intégrante de toute description adéquate de la science et de son rapport à ses objets. » (ma traduction)

9. « À l'évidence, les « boîtes noires » et autres choses de ce genre sont construites en vue de systématiser les régularités observables connues. Mais il ne s'ensuit pas que ces boîtes noires soient capables de prédire soit des régularités encore inconnues, soit des connexions non encore prévues entre des régularités connues. » (ma traduction)

Ce qui donc peut sembler miraculeux d'un point de vue empiriste ou instrumentaliste est qu'une théorie permette de faire de nouvelles prédictions dans des configurations qui n'avaient pas encore été testées, quand on applique la théorie à des cas inédits, c'est-à-dire quand la théorie est étendue à de nouveaux domaines d'expérience pour lesquels elle n'avait pas été spécifiquement conçue (Leplin, 1997)¹⁰. Par exemple, le fait que la théorie gravitationnelle de Newton rende correctement compte de l'orbite des planètes n'implique pas qu'elle fonctionne toujours aussi bien quand on s'intéresse à de nouveaux corps célestes qui n'avaient pas été observés lors de l'élaboration de cette théorie (et qu'on parvienne par exemple à prédire le retour de la comète de Halley) : ce nouveau fait demande une explication.

Les nouvelles théories sont souvent proposées non pas pour résoudre des anomalies expérimentales, mais pour des raisons purement théoriques (par exemple, dans le cas de la relativité restreinte, un problème de compatibilité entre les équations de Maxwell pour l'électromagnétisme et la mécanique de Newton). Elles sont alors conçues pour rendre compte uniquement des données empiriques dont rendaient déjà compte les théories qu'elles prétendent unifier. Or ces inférences purement théoriques permettent généralement de faire de nouvelles prédictions dans des domaines encore inexplorés, et celles-ci s'avèrent souvent couronnées de succès. Ce qui demande une explication, c'est donc le succès empirique des inférences théoriques appliquées à des domaines d'expérience qui ne motivaient pas ces inférences. C'est typiquement le cas de la relativité général, qui prédit la déviation de la lumière par les corps massifs.

Outre les nouvelles prédictions, le réaliste pourra également mettre l'accent sur la corroboration entre les modes d'accès divers aux entités inobservables. Un électron peut être observé de différentes manières, mais toutes donneront des résultats en accord avec la théorie. La théorie continuera de prédire avec succès quand on augmentera considérablement la précision de nos mesures (comme dans le cas des raies spectrales des composés chimiques).

L'argument s'appuie donc en partie sur les observations, mentionnées dans le chapitre précédent, qui concernaient les difficultés d'une réduction du contenu théorique à nos observations : les termes théoriques jouent un

10. Si l'on ne peut bien sûr invoquer dans cet argument des données empiriques dont la théorie visait précisément à rendre compte au départ, il est possible d'invoquer des données qui étaient déjà connues à l'époque de l'élaboration de la théorie. Se pose alors la question, plutôt historique, de savoir en quelle mesure ces données ont pu influencer ou non l'élaboration de la théorie. Voir Worrall (1989), Ladyman et Ross (2007, 76-79).

rôle systématique, en particulier quand il s'agit d'étendre le domaine d'application d'une théorie, et ils semblent relativement autonomes vis-à-vis des techniques expérimentales associées, qui peuvent évoluer indépendamment de la théorie (section 1.1.1). Ces arguments amenaient à envisager une certaine uniformité entre le langage théorique et le langage ordinaire. Si nous sommes réalistes à propos des objets ordinaires, et puisque la science est couronnée de succès, nous devrions aussi bien être réaliste à propos des entités postulées par nos théories.

Une autre façon de dire les choses est de s'appuyer sur le fait, également relevé dans le chapitre précédent (section 1.1.3), que nos observations sont chargées de théories : les techniques d'observation ne précèdent pas nos théories, mais les deux se développent conjointement jusqu'à se stabiliser. Selon Boyd (1980), le fait que les méthodes d'investigation empiriques fondées sur nos théories soient couronnées de succès demande une explication, et la meilleure explication est que les théories sur lesquelles reposent ces méthodes sont vraies (voir Fine, 1991).

2.2.3 *Critique de l'abduction*

L'argument du miracle n'a pas vocation à montrer formellement, par exemple sur la base d'un raisonnement inductif, que le réalisme est plus plausible que l'anti-réalisme, mais a plutôt pour objet de suggérer, par abduction, que le réalisme a le mérite de nous fournir une explication au succès de la science qui n'en fasse pas une incroyable coïncidence. Cependant le fait qu'il s'appuie ainsi sur l'abduction, et non sur une inférence formelle, le rend suspect pour quiconque est sceptique vis-à-vis de l'idée que l'abduction serait un principe de justification d'hypothèses.

L'abduction possède un certain attrait intuitif, puisque c'est une forme de raisonnement très répandue dans la vie quotidienne (nous expliquons le retard d'un collègue par le fait qu'il y ait une grève des transports, etc.). De nombreux auteurs ont défendu qu'il s'agit également d'un aspect central du raisonnement scientifique : on explique, par exemple, l'orbite d'Uranus en invoquant une planète supplémentaire jamais observée, Neptune. Remarquons toutefois que le fait que les scientifiques utilisent le raisonnement abductif n'indique pas pour autant qu'il s'agisse d'un principe de justification. En effet, les scientifiques ne se sont pas contentés de faire l'hypothèse de Neptune : ils ont ensuite cherché à vérifier cette hypothèse, et on peut penser qu'en l'absence de vérification (ou avant cette vérification), ils n'auraient pas considéré qu'il s'agissait d'autre chose que d'une hypothèse envisageable. S'il est vrai que l'abduction peut être utilisée pour

sélectionner des hypothèses à tester, ce type de raisonnement n'est pas sans poser des difficultés quand il s'agit non pas de proposer une hypothèse particulière, mais de la justifier comme vraie.

Nous pourrions invoquer à ce sujet la distinction entre le contexte de la découverte (la manière dont de nouvelles hypothèses sont proposées) et le contexte de la justification (la manière dont on sait que nos hypothèses sont vraies, ou probables). Or c'est bien comme un processus de découverte ou de sélection, et non de justification, que Peirce, qui a introduit le terme, considérait l'abduction (Nyrup, 2015). Après tout, de nombreuses explications de la vie quotidienne, pour aussi bonnes qu'elles soient, s'avèrent erronées à l'issue d'une enquête, et on pourrait en dire autant des hypothèses scientifiques, et s'il n'est pas exclu que le raisonnement abductif soit en effet utilisé pour sélectionner des hypothèses plausibles à tester, c'est une autre chose que de l'utiliser à titre de justification, et à plus forte raison quand il s'agit de justifier que nos meilleures théories sont vraies plutôt que seulement empiriquement adéquates, puisque cette hypothèse n'est pas vraiment testable indépendamment de l'adéquation empirique.

Il existe un certain nombre d'arguments à l'encontre du raisonnement abductif comme justification. Le premier problème est, comme déjà évoqué, de savoir en quelle mesure les critères qui font une bonne explication sont des indicateurs de vérité. Si l'on prend le critère de simplicité théorique, par exemple, il peut s'agir de ne pas faire d'hypothèses superflues, mais un anti-réaliste qui pense que nos théories sont seulement empiriquement adéquates pourra s'accommoder d'un tel critère sur le plan pragmatique, puisqu'une hypothèse superflue ne modifie pas l'adéquation empirique d'une théorie : pourquoi, alors, s'encombrer d'hypothèses inutiles ? Le choix d'une hypothèse simple au profit d'une hypothèse plus complexe peut aussi revêtir un aspect stratégique : Popper et al. (1973) remarque que les hypothèses simples sont plus faciles à réfuter par l'expérience (parce qu'elles possèdent moins de paramètres ajustables) et donc il est judicieux de les tester en premier pour les éliminer plus rapidement. Autrement dit la simplicité théorique serait un critère nous indiquant quelle hypothèse tester en premier si l'on veut produire rapidement une théorie empiriquement adéquate, non quelle hypothèse est vraie ou plausible. On pourrait en dire autant du conservatisme, dont Kuhn observe qu'il est inhérent à la pratique scientifique (voir la section 1.2.1) : comme l'illustrent les hypothèses de Neptune (couronnée de succès) et de Vulcain (finalement infirmée), les scientifiques préfèrent généralement émettre des hypothèses ad-hoc pour sauver une théorie bien établie plutôt que de revoir la théorie dans son ensemble face à une expérience récalcitrante, ce qui serait beaucoup trop

coûteux (quitte à entrer en conflit avec le critère de simplicité théorique en multipliant les hypothèses ad-hoc, et à aboutir à ce que Lakatos qualifie de programme de recherche dégénéré) : il s'agirait avant tout d'une question pragmatique.

La meilleure explication peut également être une explication qu'on juge plausible, de par nos expériences passées. C'est le cas quand, dans la vie courante, on explique le retard d'un collègue par une grève de transport, si le cas s'est déjà produit fréquemment : alors l'abduction s'apparente plutôt à une forme libérale, informelle, d'induction. Van Fraassen (1989, p. 158-159) montre que si nos critères de justification devaient s'éloigner un tant soit peu de raisonnements de type induction probabiliste, ils seraient victimes d'un argument de type « Dutch Book »¹¹ : si par exemple on décidait d'adopter une certitude envers la meilleure explication et non un degré de crédence élevé, il serait possible à un agent de nous proposer des paris de manière à ce que l'on perde systématiquement. Autrement dit, si l'abduction se distingue du raisonnement probabiliste classique, c'est-à-dire de l'induction, elle est irrationnelle. Ceci est vrai au moins dans un cadre borné, quand les différentes hypothèses possibles peuvent être considérées a priori et évaluées quantitativement. On pourrait arguer que le choix théorique ne se situe pas dans un tel cadre borné, mais il n'y a aucune raison d'accorder plus de crédit à une hypothèse sous prétexte qu'il est impossible d'évaluer strictement l'ensemble des hypothèses concurrentes : bien au contraire, ceci devrait nous rendre plus suspicieux à son égard... L'histoire des sciences atteste du fait que bien souvent de nouvelles théories voient le jour qui n'avaient pas été envisagées jusqu'alors.

Le raisonnement abductif employé par les réalistes pourrait donc peut-être être justifié s'il s'agissait d'une version informelle d'induction probabiliste. Il est possible que l'abduction soit en effet une version informelle d'induction quand elle est employée par les scientifiques pour juger d'hypothèses concurrentes au sein d'une théorie bien définie. Mais cette idée pose problème quand il s'agit de juger des théories elles-mêmes, hors de tout cadre défini. Certains auteurs avancent que nous ne sommes pas dans une situation permettant de juger si ce serait un miracle ou non que nos théories soient fausses (par exemple Magnus et Callender, 2004). Si l'on voulait produire une estimation en termes de probabilité de la vérité de nos théories, par exemple sur la base d'un raisonnement bayésien, il nous manquerait certaines informations, comme la probabilité a priori qu'une

11. partant du principe que nos jugements qui utilisent ces critères sont répétables, et que l'on « gagne » à adopter des croyances conformes aux phénomènes.

théorie soit vraie et la probabilité a priori qu'une théorie permette de « sauver les phénomènes » (en quel cas la probabilité que nos théories prédisant avec succès soient vraies serait exprimée par le rapport entre ces deux valeurs). Or nous n'avons pas vraiment la possibilité de réellement compter le nombre de théories possibles en ce sens, et encore moins de compter la proportion des théories qui sont « vraies », faute d'un autre accès à la constitution du monde que ces théories elles-mêmes. De nouveau, le problème est que le réalisme n'est pas en soi une hypothèse testable au-delà de l'adéquation empirique.

On peut donc considérer que le raisonnement abductif ou méta-abductif tel qu'il est invoqué pour justifier le réalisme scientifique (ce dernier serait la meilleure explication au succès empirique des théories) est illégitime. Il ne peut s'agir d'une induction probabiliste, puisque nous ne pouvons contempler l'ensemble des théories scientifiques concevables, et le fait d'adopter le réalisme scientifique ne peut jouer aucun rôle stratégique (et même si c'était le cas, il demanderait encore à être testé, mais on voit mal en quoi consisterait un tel test).

2.2.4 *Le réalisme est-il la seule explication ?*

L'argument du miracle dispose toutefois d'une certaine force de conviction tant qu'aucune explication alternative au réalisme au succès prédictif des sciences n'est proposée. Il s'agirait alors non de la meilleure explication, mais de la seule explication.

Van Fraassen (1980, p. 39-40) pense qu'il existe une autre explication, darwinienne, au succès prédictif de la science : le fait que nos théories soient soumises à une pression sélective, qui fait que seules les théories prédisant avec succès sont finalement adoptées. On pourrait envisager que le succès apparent du raisonnement abductif en science serait en fait dû à un biais de sélection : seules les théories ayant fourni de nouvelles prédictions ont été conservées, et les autres sont aujourd'hui abandonnées.

En réponse, Ladyman et Ross (2007, p. 73-74) s'appuient sur la distinction, en biologie, entre génotype et phénotype pour soutenir que l'explication de van Fraassen est insuffisante. Si un argument darwinien peut expliquer que le phénotype d'un organisme ait été sélectionné, il n'explique pas pour quelle raison son génotype est, dans les faits, adapté à l'environnement. Le fait que les ailes d'un oiseau lui permettent de voler mérite une explication distincte, par exemple en termes mécaniques, d'une explication darwinienne qui expliquerait pourquoi cette faculté a été sélectionnée au cours de l'évolution. De même, le fait que les théories soient sélectionnées

à l'issue d'une pression sélective n'empêche pas pour autant de penser que cette sélection rend les théories vraies, c'est-à-dire que ce sont les théories qui décrivent effectivement la réalité qui sont finalement sélectionnées. Il s'agit en fait d'explications qui se situent à des niveaux différents : l'une porte sur le succès de la science en général pour sélectionner des théories qui prédisent avec succès, et l'autre porte sur le succès de théories particulières pour prédire les phénomènes.

Selon nous cet argument est problématique s'il se veut une justification du fait que le réalisme serait la *seule* explication au succès empirique des sciences. En effet, l'argument du miracle, en tant que raisonnement méta-abductif, se veut précisément une explication de type « phénotypique », et non une explication « génotypique » : affirmer la validité du raisonnement abductif en général n'est pas en soi une explication au succès de telle ou telle théorie particulière, mais une explication au succès empirique des sciences en général. C'est parce que le raisonnement abductif serait valide, et permettrait de sélectionner des théories vraies, que ces théories seraient en général couronnées de succès. Mais alors le réalisme scientifique n'est pas la seule explication : celle proposée par van Fraassen en est une autre. Le raisonnement abductif ne serait pas toujours valide, seulement, les théories que nous avons conservées seraient celles qui ont en effet produit de nouvelles prédictions couronnées de succès.

Pour ce qui est des explications « génotypiques » au succès d'une théorie scientifique particulière, nous avons vu que l'explication réaliste simplement abductive s'apparente à une pétition de principe. Au mieux, elle peut permettre d'invalider certaines formes d'instrumentalisme qui ne rendraient pas compte de la possibilité même de fournir des explications, mais elle ne peut permettre de justifier que nos explications sont les meilleures. Après tout, affirmer « Le fait que la mécanique quantique est vrai est la meilleure explication au fait qu'elle prédise avec succès » revient simplement à affirmer « la mécanique quantique est la meilleure explication aux phénomènes qu'elle prédit », puisque affirmer « la mécanique quantique est vrai » revient à affirmer le contenu de cette physique (si le prédicat « est vrai » est disquotational), et affirmer « la mécanique quantique prédit avec succès » revient à énoncer les phénomènes qu'elle prédit avec succès. Ce qui, pour un réaliste, constitue une explication « génotypique » au succès empirique de la mécanique quantique, ce n'est pas le réalisme scientifique en tant que tel, mais le contenu de la mécanique quantique lui-même : les raies spectrales sont prédites avec succès parce qu'il y a des électrons pouvant prendre différents niveaux d'énergie, etc. Mais pour un anti-réaliste, rien n'indique que la mécanique quantique soit la

meilleure, encore moins la seule explication aux phénomènes qu'elle prédit : il pourrait exister une autre explication, une autre théorie expliquant les mêmes phénomènes, et ayant approximativement les mêmes conséquences empiriques que la mécanique quantique, à la manière dont la théorie de la relativité générale peut permettre d'expliquer le succès empirique de la théorie de la gravitation de Newton.

Le réalisme scientifique n'est donc pas la seule explication au succès de la science en général, et il n'y a aucune raison de penser qu'il soit la seule explication au succès de telle ou telle théorie particulière. L'idée qu'il s'agisse de la meilleure explication semble circulaire, puisque cela revient à justifier l'abduction par l'abduction. Cette circularité n'est pas forcément vicieuse, mais la question qui se pose alors est la suivante : est-il possible et plausible qu'une théorie soit fautive, mais empiriquement adéquate ? Si l'on est insatisfait de l'explication évolutionniste proposée par van Fraassen, et si l'on reste impressionné par la faculté des théories à s'étendre et unifier des domaines divers, le problème est de pouvoir affirmer que cette faculté serait réellement surprenante pour une théorie fautive. C'est à cette question que s'attaque le principal argument à l'encontre du réalisme : la méta-induction pessimiste.

2.3 La méta-induction pessimiste

L'argument du miracle propose d'établir un lien entre succès empirique et vérité d'une théorie. Or, à regarder l'histoire des sciences, ce lien ne va pas de soi. C'est ce qu'entend montrer l'argument de la méta-induction pessimiste formulé notamment par Laudan (1981) (mais on en retrouve l'intuition principale chez des auteurs plus anciens, comme Poincaré). Nous examinons dans cette section cet argument et les réponses qui lui ont été apportées.

2.3.1 Continuité et changement théorique

À regarder l'histoire des sciences, il n'est pas certain que la motivation de l'argument du miracle soit fiable. La théorie de la gravitation de Newton était si bien acceptée et couronnée de succès prédictifs, y compris dans de nouveaux domaines de l'expérience (comme le cas de la planète Neptune cité précédemment, ou l'explication de la trajectoire de la comète de Halley) que beaucoup de scientifiques de l'époque pensaient qu'elle constituait le dernier mot sur la constitution de la nature. Ces scientifiques étaient donc,

en un sens, convaincus par une intuition qui s'apparente à celle qui soutient l'argument du miracle : il s'en faudrait d'un miracle que la théorie de Newton ne soit pas « vraie ». Pourtant aujourd'hui, la théorie de Newton a été rejetée en faveur de la théorie de la relativité d'Einstein.

Ceci, comme le remarque Worrall (1989), n'aurait pas posé de problème si la théorie de la relativité était une extension de la théorie de Newton : on aurait alors pu concevoir que cette dernière était vraie, mais incomplète. Mais ce n'est pas le cas, puisque les différents aspects de la théorie de Newton, comme la notion de force de gravitation, de masse constante et d'espace-temps euclidien comme cadre absolu des phénomènes, sont simplement remplacés par de nouveaux (respectivement la courbure de l'espace-temps, une masse inertielle dépendante du référentiel et un espace-temps non-euclidien interagissant avec la matière). Ainsi le fait, relevé par Kuhn, que le développement scientifique ne fonctionne pas de manière continue, mais plutôt par une succession de révolutions discontinues qui remplacent les anciennes théories par de nouvelles théories différentes pose problème pour le réaliste. Il est possible pour une théorie de prédire avec succès, mais d'être néanmoins fautive, ce qui met en échec l'argument du miracle et diminue d'autant l'attrait du réalisme : nous n'avons aucune raison de penser que nos théories contemporaines ne seront pas elles aussi remplacées à l'avenir par de meilleures théories.

On pourrait vouloir affirmer que la théorie de Newton est approximativement vraie, et ainsi restaurer l'idée que l'entreprise scientifique converge vers la vérité. Mais sauf à ramener cette idée d'approximation à une simple adéquation empirique (en quel cas on s'éloigne du réalisme sémantique), il est difficile de défendre l'idée que la théorie de Newton est une approximation de la théorie de la relativité. Il est important de noter, en effet, que l'argument de la méta-induction pessimiste fonctionne contre le réalisme compris comme intégrant le réalisme sémantique discuté dans le dernier chapitre : le réaliste interprète littéralement les théories scientifiques ; il affirme l'existence des entités postulées par ces théories ; il accepte leurs ontologies. On peut exprimer ceci, à l'instar de Putnam, en termes de référence : selon Putnam, le fait que nos théories fassent référence avec succès fait partie de l'explication de leur succès empirique. Mais alors, pour pouvoir affirmer que la théorie de Newton est une approximation de la théorie de la relativité, et qu'en général les nouvelles théories qui succèdent aux anciennes en sont des affinements et qu'il y a une forme de convergence dans l'histoire des sciences, il faut qu'il existe au fil des changements théoriques une certaine accumulation théorique, c'est-à-dire une continuité dans la référence, d'une part, et une continuité ontologique, dans les propriétés

attribuées aux entités auxquelles nos théories font référence d'autre part. Or ça ne semble pas être le cas.

Worrall prend l'exemple de l'optique, qui a vu se succéder au 19^e siècle des théories corpusculaire et ondulatoire. Il montre qu'il y a effectivement accumulation sur le plan empirique : la théorie corpusculaire prédit la réflexion et la diffraction de la lumière, tandis que la théorie ondulatoire qui lui succède prédit, en plus de ces aspects, les phénomènes d'interférence. Il s'agit donc d'une accumulation dans nos prédictions, ou encore dans ce que Duhem appelait les lois expérimentales. Cependant il n'est pas possible de parler d'accumulation théorique ou de continuité ontologique entre deux visions radicalement différentes de la lumière. L'idée de corpuscule est purement et simplement abandonnée (elle sera restaurée par la mécanique quantique, mais d'une manière bien différente).

Un seul cas de théorie couronnée de succès, mais qu'on considère aujourd'hui fausse, suffit à mettre à mal l'argument du miracle sans nécessairement invalider la thèse réaliste à propos de nos théories actuelles. Mais il est possible d'aller plus loin sur la base d'un raisonnement méta-inductif. En effet, si la plupart des théories par le passé se sont révélées fausses, bien que prédisant avec succès, on peut inférer que nos théories actuelles sont très probablement fausses également. Cette inférence à partir des cas passés permet alors de réfuter la thèse réaliste : par induction sur la base de ces exemples passés, nous n'avons pas de raison de croire que nos théories actuelles sont vraies. Elles seront probablement elles aussi remplacées par de nouvelles théories à l'avenir. Nous devrions donc abandonner le réalisme scientifique.

Nous le disions, l'argument de la méta-induction s'applique, sur le plan sémantique, au succès de la référence des termes théoriques. Selon Laudan (1981), une théorie ne pourrait être approximativement vraie si la plupart de ses termes ne faisaient pas référence avec succès. Les arguments de Kripke et Putnam examinés dans le chapitre précédant (section 1.2.2) visaient à restaurer l'idée d'une continuité dans la référence des termes théoriques, y compris lors de changements théoriques. Cependant cette stratégie n'est pas suffisante : l'argument de la méta-induction pessimiste peut être employé à l'encontre de l'idée que les termes théoriques font référence avec succès, et il est alors encore plus dévastateur, puisque non seulement nous devrions croire que nos théories actuelles sont fausses, mais également que les termes qu'elles emploient n'ont en fait aucune référence dans le monde. En effet, Laudan entend montrer à renfort d'exemples que la théorie causale de la référence est insuffisante pour sauver le réalisme. Il propose à cette fin une liste de termes théoriques dont on considère aujourd'hui qu'ils

ne font plus référence, mais qui appartenait pourtant à des théories couronnées de succès empirique : le calorique, censé expliquer les transferts de chaleur entre les différents corps, l'éther comme support des ondes électromagnétiques, ou encore le phlogiston censé rendre compte de ce qu'on appelle aujourd'hui les phénomènes d'oxydation et de combustion...

On pourrait tenter de rendre compte de la référence de l'éther, du phlogiston ou du calorique par une théorie causale de la référence, arguant par exemple que l'éther faisait, et fait toujours référence au champ électromagnétique, bien que les scientifiques de l'époque se trompaient sur la plupart de ses attributs (comme celui d'être une substance élastique supportant des ondes mécaniques). Mais cette stratégie pêche par excès, risquant de faire de la référence une chose triviale en la déconnectant des intentions des scientifiques utilisant les termes. Peut-on soutenir, par exemple, que Newton entretenait des croyances à propos de la courbure de l'espace-temps quand il parlait de forces de gravitation ? Il semble que la causalité ne soit pas un élément suffisant pour rendre compte de la référence, et que certaines représentations chez le locuteur (par exemple celle d'espace-temps non-euclidien dans le cas de la courbure) soient également nécessaires (Nola, 1980). Une telle conception de la référence peut être jugée insuffisante pour soutenir le réalisme si la plupart des aspects que nous associons à nos termes ne sont pas pertinents.

Si la plupart des termes théoriques des théories passées sont aujourd'hui abandonnés, il n'y a pas de véritable continuité quant aux objets postulés par les théories se succédant. Or s'il n'y a pas de continuité entre les objets, il est également impossible de défendre une continuité dans les relations causales qu'entretiennent ces objets. Les anciennes théories sont donc fausses, bien qu'elles étaient couronnées de succès empirique, et par induction, nous avons toutes raisons de penser que nos théories actuelles sont fausses, et que les termes qu'elles emploient ne font pas référence à des entités réelles.

2.3.2 Réponses réalistes à l'induction pessimiste

Face à la méta-induction pessimiste, il existe plusieurs parades pour le réaliste. Il peut d'abord nier la validité de l'argument, en faisant valoir que nos théories actuelles sont empiriquement plus adéquates que celles du passé, si bien qu'elles sont moins probablement fausses. Il peut remarquer que certaines théories invoquées par Laudan n'étaient pas vraiment des théories matures. Il peut aussi mettre en avant, à l'instar de Devitt (2011), un progrès méthodologique pour tester les théories, qui indiquerait que

nous sommes en meilleur position que nous l'étions par le passé. Il peut affirmer que le raisonnement inductif invoqué n'est pas plus valide qu'il ne le serait dans le cas de l'argument du miracle, faute de pouvoir contempler l'ensemble des théories concevables (Magnus et Callender, 2004)¹². Enfin il peut mettre en avant un biais de sélection dans l'argument de Laudan, et faire remarquer que de nombreuses entités de théories passées, comme les gènes, les molécules ou les atomes, sont toujours présentes dans nos théories actuelles. Reste que le doute persiste : la longévité d'un terme théorique n'indique pas qu'il ne sera jamais abandonné, et on peut toujours suspecter que nos théories actuelles seront un jour remplacées (notamment quand on sait les difficultés à rendre compatible les deux principales théories physiques contemporaines que sont la théorie de la relativité générale et la mécanique quantique : la plupart des scientifiques appellent de leurs vœux une nouvelle théorie de la gravitation quantique, qui ne peut être une simple extension de l'une ou l'autre de ces deux théories).

La stratégie la plus fréquemment employée pour répondre à la méta-induction pessimiste consiste à adopter un réalisme sélectif, c'est-à-dire à limiter la thèse réaliste à certaines théories (les théories « matures » uniquement), à certaines parties du contenu des théories jugées essentielles pour faire fonctionner l'argument du miracle, ou enfin à certains aspects des théories en général.

La forme de réalisme sélectif employée par Psillos (1999) (voir également Psillos, 2011) consiste à n'être réaliste qu'à propos des théories matures, n'ayant pas de réelles concurrentes, et uniquement à propos du contenu de ces théories qui permet effectivement de faire de nouvelles prédictions dans des domaines inexplorés (nous avons vu que les nouvelles prédictions jouaient un rôle important dans l'argument du miracle). Ainsi le terme d'éther ne figure plus dans nos théories électromagnétiques, mais nombre de ses propriétés ont été conservées. On admettra alors que le fait qu'il existe une substance nommée éther n'était pas essentiel à la théorie électromagnétique de l'époque, en ce sens que ce n'était pas ce qui permettait d'obtenir de nouvelles prédictions : seules les propriétés de l'éther étaient essentielles. Or l'argument du miracle ne s'applique qu'à ces éléments. Selon Psillos, ces éléments essentiels acquièrent finalement une forme stable au cours du temps et ne sont plus fondamentalement révisés

12. Pourtant il semble moins problématique dans le cas de la méta-induction pessimiste : si l'on ne peut jamais savoir qu'une théorie est vraie, on peut savoir qu'elle est fautive, et on peut postuler que les théories proposées jusqu'ici sont un échantillon représentatif des théories concevables. Donc nous savons que la plupart des théories couronnées de succès empirique sont fausses.

ensuite lors des changements de théories.

Le principal problème de cette stratégie est qu'elle peut paraître ad-hoc. Les anciennes théories sont interprétées à la lumière des nouvelles théories, et on peut penser que les éléments dont on juge qu'ils étaient essentiels à l'obtention de nouvelles prédictions sont simplement ceux qui ont été finalement retenus dans les nouvelles théories. Cependant nous serions incapables de juger de ce qui contribue essentiellement ou non, dans nos théories actuelles, au succès prédictif de celles-ci. En effet, les révolutions scientifiques portent la plupart du temps sur des présupposés qui n'étaient pas questionnés, elles apportent des distinctions jusqu'alors insoupçonnées, et sont de ce fait essentiellement imprévisibles. Il nous manque donc, pour soutenir cet argument réaliste, un moyen de caractériser précisément les éléments essentiels de nos théories actuelles.

Une seconde forme de réalisme sélectif, qui propose justement une caractérisation de ce type, consiste à n'être réaliste qu'à propos de certains aspects des théories en général. Elle est exemplifiée principalement par deux positions : le réalisme structural, qui propose de n'être réaliste qu'à propos de la structure des théories, et le réalisme des entités, qui propose de n'être réaliste qu'à propos des objets avec lesquels nous interagissons causalement, au point, par exemple, d'être capables de produire systématiquement certains effets par nos manipulations (Hacking, 1983; Cartwright, 1983; Giere, 1989).

Le réalisme des entités part du principe que si nous sommes capables d'interagir causalement de façon diverses avec une entité, alors il est légitime de considérer que cette entité est réelle. Il s'appuie en particulier sur le fait que les observations scientifiques sont robustes et objet de consensus (Bogen et Woodward, 1988), et sur le fait que les méthodes expérimentales peuvent survivre aux changements théoriques. À l'encontre du réalisme des entités, on peut penser que certains termes aujourd'hui abandonnés, comme le phlogiston (ou a minima l'air déphlogistisé) ou le calorique autorisaient ce type de manipulation. Ainsi, Herschel pensait avoir isolé des rayons de calorique à l'aide d'un prisme (il s'agissait en fait, à la lumière des théories contemporaines, de rayons infrarouges (Chang et Leonelli, 2005)). Par ailleurs, on peut se demander si un engagement envers ces entités ne présuppose pas un engagement minimal envers les lois scientifiques qui décrivent leur comportement.

Selon nous, le réalisme des entités saisit un aspect important qui motive le réalisme scientifique, qui est l'efficacité causale des théories quand elles sont mises à contribution pour interagir avec la réalité. Pour autant, il n'est nul besoin d'inférer de ce succès que certaines entités naturelles existeraient

de manière indépendante de nos manipulations : on peut tout aussi bien rendre compte de ce succès par une conception adaptée de l'adéquation empirique (en l'occurrence, modale, et donc à même de rendre compte des rapports causaux), que nous développerons dans la partie II de ce travail, et affirmer que ces entités « existent » en un sens seulement pragmatiste, ou au sens d'un réalisme interne plutôt que d'un réalisme métaphysique.

Le réalisme structural, en contre-pied du réalisme des entités, propose de n'être réaliste qu'envers les lois scientifiques, c'est-à-dire la structure des théories décrite par leurs équations, ou encore les relations entre les objets de la réalité plutôt qu'envers la nature de ces objets, arguant d'une continuité de structure entre théories successives. Mais il n'est pas certain qu'il parvienne à se différencier foncièrement d'un empirisme si cette structure se ramène *in fine* à la structure de nos observations : alors être réaliste structural, c'est seulement affirmer que nos théories sont empiriquement adéquates. Cette position ayant connu des développements importants dans la littérature contemporaine, nous l'examinons en détail dans le chapitre suivant.

Au final, l'argument du miracle est problématique à plus d'un titre. Non seulement le raisonnement abductif sur lequel il repose peut être questionné, mais l'explication au succès des théories qu'il prétend fournir n'est pas si convaincante à la lumière de l'histoire des sciences.

Conclusion

Le réalisme sémantique introduit un fossé entre ce qui peut être justifié par l'expérience et le contenu de nos théories. Pour combler ce fossé, le réaliste fait généralement appel à un raisonnement abductif, ou inférence à la meilleure explication, qui permettrait l'inférence au-delà de ce qu'il est possible de déduire ou d'induire de l'expérience, en faisant notamment usage de critères non empiriques. La validité de ce mode d'inférence est principalement justifiée par le succès empirique des sciences, et en particulier, par la capacité des théories à s'étendre à de nouveaux domaines d'expérience pour lesquels elles n'ont pas été spécifiquement conçues. Le réaliste entend expliquer ce succès en postulant que nos théories sont vraies. Mais il existe de bonnes raisons de douter que l'abduction fonctionne comme une inférence permettant de justifier des hypothèses, plutôt que comme méthode stratégique permettant de sélectionner les hypothèses à tester empiriquement. Or la thèse réaliste en elle-même n'est pas testable empiriquement au-delà de l'adéquation empirique. En outre, l'histoire des

sciences et la discontinuité ontologique entre théories successives met en péril l'idée qu'il existe un lien si étroit entre succès empirique et vérité d'une théorie, au sens d'une vérité-correspondance. C'est bien ce type de difficultés qui peut motiver l'idée d'adopter une théorie sémantique moins exigeante et plus étroitement associée à nos capacités de justifier par l'expérience nos hypothèses.

Si l'on peut rester impressionné par le succès empirique des sciences, ou (à l'encontre d'un instrumentalisme) par le simple fait qu'une unification théorique de phénomènes divers soit possible, on peut, selon nous, en rendre compte sans pour autant prétendre que nos théories sont vraies, au sens où le voudrait le réaliste, ni avoir recours à l'abduction comme principe de justification. Au cours de notre travail, nous proposerons une position épistémologique qui le permet. Il s'agira plutôt de proposer une conception de l'adéquation empirique qui ne fasse pas de cette extension des théories à de nouveaux domaines un miracle. Cette position est toutefois justifiée par un raisonnement ampliatif : l'induction, et elle s'accompagne donc de certains présupposés non empiriques, comme l'hypothèse que le monde est régulier. Nous utiliserons également un critère d'unification théorique, que nous pensons requis, mais nous considérons, à la suite de certains auteurs, qu'il relève de l'induction plutôt que de l'abduction. Il s'agit selon nous des seuls critères requis pour rendre compte du succès empirique des sciences, et ils n'impliquent pas que nos théories sont vraies, au sens où elles correspondraient à la réalité, mais seulement qu'elles sont empiriquement adéquates.

Mais avant ça, il nous reste à examiner plus en détail, dans le chapitre suivant, une dernière stratégie pour le réaliste, consistant à limiter la thèse réaliste à la structure des théories, adoptant un réalisme structural. En effet, jusqu'ici, les arguments anti-réalistes présentés visent spécifiquement l'idée que les termes des théories font référence à des entités du monde et que nos théories décrivent correctement ces entités. Le réalisme structural tente d'y répondre en s'affranchissant de cette notion de référence pour se concentrer sur l'idée d'une correspondance de structure entre théorie et réalité. Cependant, comme nous le remarquons, il n'est pas certain que ce type de position se distingue d'un empirisme. Les débats entourant le réalisme structural seront toutefois instructifs, et à l'issue de ce chapitre, nous proposerons une ébauche de la position empiriste que nous défendrons dans ce travail.

Chapitre 3

Le réalisme structural : le meilleur des deux mondes ?

English abstract

Structural realism is an attempt to overcome the tension between the no-miracle argument for scientific realism, based on empirical success, and the pessimistic meta-induction argument against realism, based on theory change. It is argued that there is a continuity in structure between successive theories, by contrast with the interpretation of theories, and that structure alone can account for the predictive success of theories. However, it's not clear that anything but the empirical structures are retained in theory change, and Newman's objection to structural realism shows that structural realism collapses to empiricism. Some proponents of an ontic structural realism attempt to solve the problem by maintaining that relations are primitive, modal, and are « all there is », getting rid of the relata of the structure. Getting rid of the relata is problematic, and at least elements of experience should be retained. Furthermore, I argue that the only modal relations that can survive theory change are relative to an epistemic context, and that with relations thus construed, structural realism still collapses to empiricism. The modal aspect could still help answer the no-miracle argument though, but the position should better be called modal empiricism.

Nous nous sommes intéressé dans le chapitre précédent (chapitre 2) au débat épistémique sur le réalisme scientifique : est-on réellement en capacité de savoir que nos théories sont vraies, ou approximativement vraies ? Nous avons vu que la méta-induction pessimiste constitue un défi pour les thèses réalistes : si la plupart des théories passées ont finalement été abandonnées, pourquoi en irait-il autrement des théories actuelles ? En l'absence d'une véritable continuité ontologique entre théories successives, il faudrait en conclure que nos théories actuelles sont probablement fausses.

La méta-induction pessimiste vise spécifiquement les positions réalistes qui conçoivent que les termes d'une théorie font référence à des entités de la réalité, dont nos théories décrivent correctement les propriétés. Une stratégie pour y répondre consiste à abandonner cette notion de référence pour se concentrer sur les aspects structuraux : le réalisme structural prétend ainsi offrir un compromis entre empirisme et réalisme en affirmant que nous ne devrions être réalistes qu'à propos de la structure relationnelle des théories, c'est-à-dire la structure logico-mathématique portée par les équations théoriques, et non à propos de leur interprétation métaphysique. En d'autres termes, la seule chose que nous pourrions prétendre connaître de la réalité, ce sont les rapports entre les choses, sa structure et non sa nature. Cette structure ne serait pas perdue lors des changements théoriques, elle pourrait être partagée par plusieurs théories, et ce serait elle qui serait responsable des nouvelles prédictions couronnées de succès qui motivent l'argument du miracle. Nous pourrions ainsi obtenir, pour reprendre les termes de Worrall (1989), « le meilleur des deux mondes ».

Si le réalisme structural a été ainsi réintroduit dans le débat philosophique contemporain pour répondre aux arguments anti-réalistes, il s'agit en fait d'une position plus ancienne. On la retrouve par exemple chez Poincaré (1902, 1905) ou Russell (1912, 1927). Elle a également connu des développements récents qui l'éloignent de ses motivations premières : il s'agit alors de proposer non plus une thèse portant sur les limites de la connaissance, mais une révision d'ordre métaphysique, en postulant que la réalité serait essentiellement une structure relationnelle, ce afin, notamment, d'éclairer certains aspects de la physique contemporaine. On parle alors de réalisme structural ontique (RSO) par opposition au réalisme structural épistémique (RSE).

Nous proposons dans ce chapitre une revue de ces différents aspects. La section 3.1 est consacrée aux différentes motivations et formulations de RSE, que ce soit chez les auteurs plus anciens ou dans le débat contemporain. La section 3.2 est consacrée aux principales objections envers RSE. Nous verrons notamment qu'il n'est pas évident que le réalisme structural par-

vienne à maintenir une position intermédiaire cohérente qui ne se ramène ni à un réalisme, ni à un empirisme. La section 3.3 examine brièvement les thèses de RSO. Pour finir, dans la section 3.4, nous tirerons parti de ces analyses pour esquisser la position qui sera développée dans cette étude : l'empirisme modal¹.

Nous reprenons ici en grande partie une entrée rédigée par nos soins pour l'encyclopédie philosophique en ligne (Ruyant, 2016a).

3.1 Le réalisme structural épistémique

Le terme de « réalisme structural »² a été introduit par Gover Maxwell (1970). Cependant le terme désigne une position qu'on retrouve chez des auteurs plus anciens, et notamment parmi d'autres, Poincaré, Russell (dont s'inspire directement Maxwell), Schlick ou Carnap. Il s'agit pour ces auteurs, suivant généralement des motivations empiristes ou d'inspiration kantienne, de mettre l'accent sur une limite fondamentale de la connaissance : celle-ci ne peut porter que sur les relations, c'est-à-dire la structure, ou encore les rapports formalisables qu'entretiennent les objets non directement accessibles de la réalité, et non sur la nature fondamentale de ces objets, laquelle reste inconnaissable. Ou, comme l'exprime Poincaré : « [Ce que la science] peut atteindre, ce ne sont pas les choses elles-mêmes [...], ce sont seulement les rapports entre les choses ; en dehors de ces rapports, il n'y a pas de réalité connaissable » (Poincaré, 1902, p.25). Il en découle que nous ne devrions être réalistes qu'à propos de la structure des théories

1. Le terme « empirisme modal » est parfois employé en un sens différent du nôtre dans la littérature, par opposition au rationalisme modal (et non par opposition à l'empirisme non-modal). Il s'agit alors de positions d'épistémologie générale plutôt que d'épistémologie des sciences, dont la cible est la nécessité métaphysique plutôt que nomologique. Le terme est employé entre autres en philosophie de l'esprit, dans les arguments qui concernent le passage de la concevabilité à la possibilité métaphysique (comme celle des zombies philosophiques), mais renvoie à des positions variables : ce peut être l'idée que la possibilité métaphysique doit se comprendre en termes de justification empirique concevable (Hanrahan, 2009), ou bien l'idée que l'expérience actuelle nous renseigne sur la possibilité métaphysique (Roca-Royes, 2014). Ces positions sont plus fortes que celles que nous développerons, puisque nous ne prétendons pas qu'une connaissance de la nécessité ou de la possibilité métaphysique soit possible, nous restreignant à la nécessité nomologique. Cependant le terme a aussi été employé en philosophie des sciences dans un sens proche du nôtre par Giere (Churchland et Hooker, 1985, ch. 4).

2. « *structural realism* », parfois traduit « réalisme structurel », mais on préférera la première traduction pour indiquer qu'il s'agit d'un réalisme à propos de la structure, comme dans « topologie structurale », et non d'un effet de structure, comme dans « crise structurelle »

scientifiques.

Il faut entendre par structure d'une théorie ce qui s'oppose à son interprétation (éventuellement métaphysique), c'est-à-dire à la signification qu'on peut attribuer à son vocabulaire (comme « électron », « masse », « force », « éther » ...). Autrement dit, il s'agit de la structure mathématique exprimée par les équations de la théorie quand les termes de ces équations ne sont pas interprétés. Ces équations décriraient correctement la structure des propriétés et relations des objets inaccessibles de la réalité, c'est-à-dire la façon dont ces objets sont arrangés les uns par rapport aux autres (sur le plan formel, on peut se représenter une telle structure en termes de modèle : voir la section 1.3). On parle également à ce sujet de structure de second ordre : la théorie spécifie uniquement les caractéristiques formelles des propriétés et relations de premier ordre. Cependant, pour le réaliste structural, nous n'avons aucune justification épistémique pour accepter les aspects non structuraux des théories quand ils s'appliquent à des objets inaccessibles, et notamment pour accepter la façon dont les propriétés et relations qui caractérisent ces objets sont interprétées métaphysiquement.

Le réalisme structural épistémique, à l'instar d'un empirisme constructif, entretient donc un scepticisme à propos de l'idée que les termes des théories font référence à des entités naturelles ou à des essences dans le monde. Cependant, contrairement à l'empirisme constructif, ce scepticisme ne concerne pas la structure des théories, qui, pour le réaliste structural, correspond à la structure de la réalité.

Comme indiqué en introduction, on qualifie aujourd'hui cette position de réalisme structural épistémique (RSE), pour la différencier d'une position plus récente, le réalisme structural ontique (RSO), qui est l'objet de la section 3.3, et qui se veut une position métaphysique sur la nature de la réalité plutôt qu'une position épistémique sur les limites de la connaissance. Cependant les deux positions partagent certaines de leurs motivations, en particulier dans la manière dont elles répondent au problème de l'induction pessimiste.

Suivant Psillos (2001), on distinguera deux approches argumentatives qui permettent de conclure en faveur d'un réalisme structural :

L'approche ascendante, qui consiste à partir d'une position empiriste pour se demander à propos de quoi il est justifié d'être réaliste : sur quoi porte notre connaissance de la réalité ? C'est l'approche suivie par la plupart des précurseurs du réalisme structural.

L'approche descendante, qui consiste à partir d'une position réaliste qu'on amènera pour répondre aux arguments anti-réalistes, en particulier la méta-induction pessimiste. La question est alors :

qu'est-ce qui survit aux changements théoriques? C'est l'approche généralement suivie dans la littérature contemporaine, y compris pour motiver RSO.

Ces approches peuvent aboutir à des versions de RSE qui diffèrent quant à l'endroit où elles placent la frontière entre ce qui est, ou non, épistémiquement accessible. Suivant certaines approches ascendantes qui adoptent un phénoménisme, on considérera que nos perceptions constituent la seule base épistémiquement accessible, en quel cas RSE s'applique à tout contenu non mental. Frigg et Votsis (2011) appellent cette position RSE indirect (RSE fort chez Ainsworth (2009)). Nous avons vu au chapitre 1 les difficultés de ce type de fondationnalisme.

Suivant une approche descendante, il est possible de considérer que les objets courants directement observables sans l'aide d'appareillages (les tables, les chaises...) ne sont pas sujets aux arguments anti-réalistes comme la méta-induction pessimiste, et constituent donc la base accessible de la connaissance. RSE ne s'applique alors qu'aux entités non directement observables postulées par les théories, et on parle de RSE direct (ou faible). Tout comme avec l'empirisme constructif, la distinction entre observable et inobservable concerne alors les objets du monde plutôt que les prédicats du langage. Nous utiliserons « observable » de manière indifférenciée dans la suite, sans distinguer ces deux types de position.

Nous allons détailler dans cette section les arguments de chacune de ces deux approches. Nous commençons par présenter les arguments de Poincaré et de Russell suivant une approche ascendante. Nous nous intéressons ensuite au neutralisme de Carnap afin d'introduire les phrases de Ramsey qui permettent de formaliser RSE. Pour finir nous présentons l'approche descendante, et la façon dont RSE a été réintroduit dans le débat contemporain.

3.1.1 L'approche ascendante de Poincaré et Russell

L'approche ascendante vers RSE consiste donc à partir de prémisses empiristes pour justifier une attitude réaliste à l'égard de la structure de nos représentations scientifiques.

Poincaré (1905) a proposé l'un des tous premiers arguments en faveur de RSE. L'argument part du principe que nous avons un accès épistémique direct à nos perceptions seules. Or nos perceptions sont privées et non communicables. La seule chose que nous sommes capables de transmettre, ce sont les relations entre nos perceptions. Ainsi deux personnes ne peuvent être certaines qu'elles perçoivent les teintes de couleur de la même façon,

et cependant s'accorder sur le fait que deux objets sont de la même teinte, ou qu'un objet est plus sombre qu'un autre. Poincaré en conclut :

« Les sensations sont donc intransmissibles, ou plutôt tout ce qui est de qualité pure en elles est intransmissible et à jamais impénétrable. Mais il n'en est pas de même des relations entre ces sensations. » (Poincaré, 1905, p. 263)

Dans la mesure où une connaissance objective doit être publique et ne peut donc reposer que sur ce qui est transmissible, il s'ensuit que seules les relations entre les observations ont une valeur objective et peuvent être source de connaissance. Si l'on admet qu'une connaissance est possible, il doit s'agir d'une connaissance qui porte sur la structure de la réalité. Dans le même esprit, Schlick (1932) défendra un peu plus tard l'idée que seule la forme de l'expérience, par opposition à son contenu, est exprimable par le langage, et que seule la forme de l'expérience constitue une connaissance du monde.

La conclusion de l'argument de Poincaré est que si une connaissance de la réalité est possible, celle-ci ne peut porter que sur sa structure. Mais l'argument lui-même ne nous dit pas qu'une telle connaissance est possible, et ceci requiert donc une justification supplémentaire. La justification de Poincaré à cet égard s'apparente sous certains aspects à l'argument du miracle présenté section 2.2. Ainsi Poincaré affirme :

« On dira que la science n'est qu'une classification et qu'une classification ne peut être vraie, mais commode. Mais il est vrai qu'elle est commode [...] ; il est vrai enfin que cela ne peut pas être par hasard. » (Poincaré, 1905, p. 270)

On pourrait y lire l'idée que la commodité de nos classifications serait un miracle si ces classifications n'étaient pas vraies... Poincaré (1902) a proposé une autre ligne d'argumentation en faveur de RSE, qui suit une approche descendante, sur laquelle nous reviendrons ensuite (section 3.1.3).

Russell (1912, 1927) a également proposé un argument en faveur de RSE, légèrement distinct de celui de Poincaré, en ce qu'il ne porte pas sur l'aspect transmissible de la connaissance, mais adopte un point de vue individuel. L'argument de Russell s'appuie sur une théorie causale de la perception : à cette époque, il considérait que la connaissance était fondée sur des unités de base de la perception, ou *sense-data* (section 1.1.3). Nous avons une connaissance directe de la nature des *sense-data*, de leurs caractéristiques intrinsèques ou de leurs aspects qualitatifs. Nous avons également de bonnes raisons de croire que nos perceptions sont causées par

des objets physiques externes (des stimuli). Cependant il n'y a aucune raison de penser que les caractéristiques intrinsèques des *sense-data* reflètent la nature intrinsèque des objets qui les causent.

Comment alors justifier que nous possédons une connaissance du monde ? Russell postule que si les caractéristiques intrinsèques de la perception ne reflètent pas nécessairement la nature d'objets externes, les relations entre nos perceptions peuvent, elles, refléter les relations entre les objets de la réalité qui causent nos perceptions. Ainsi nous pourrions, par inférence, connaître la structure de la réalité à partir de la structure de nos perceptions.

L'argument est basé sur les deux principes suivants :

- les *sense-data* surviennent sur leurs causes réelles : toute différence de perception provient d'une différence des causes sous-jacentes (ce que Psillos (2001) appelle le principe de « Helmholtz-Weyl »);
- les propriétés logico-mathématiques des relations entre les causes sont préservées dans les relations entre les perceptions.

Ces principes, issus d'une théorie causale de la perception, sont simplement postulés chez Russell. Ainsi il affirme :

« Il n'y a pas moyen d'échapper au solipsisme sans avoir recours à l'induction et à la causalité, qui font toujours l'objet des doutes qui résultent de la critique sceptique de Hume. Toutefois, comme toute science repose sur l'induction et la causalité, il semble que l'on puisse justifier, d'une manière pragmatique au moins, l'hypothèse que, lorsqu'on en fait un usage approprié, elles peuvent nous donner au moins des résultats probables. »
(Russell, 1927, p.398)

La position de Russell visait donc apparemment à établir un compromis entre l'empirisme et le réalisme à l'aide de postulats minimaux permettant d'échapper au solipsisme. Toutefois, la justification qu'il propose semble pragmatique plutôt qu'abductive, et prétend ne reposer que sur « l'induction et la causalité » (il reste à voir en quelle mesure la causalité y jouerait un rôle explicatif).

3.1.2 *Le neutralisme de Carnap et les phrases de Ramsey*

Carnap (1958) a proposé une position qu'il a surnommée neutralisme, et qu'il est possible d'assimiler au réalisme structural (voir Psillos, 1999, ch. 3). Cette position va nous permettre d'introduire une formalisation de RSE à l'aide des phrases de Ramsey.

Rappelons que Carnap proposait de formaliser les théories à l'aide de règles de correspondance, qui constituent des définitions implicites des termes théoriques en termes d'observation (section 1.1.1). À l'aide des règles de correspondance, on peut en principe formuler une théorie scientifique axiomatisable au moyen d'un énoncé logique complexe exprimé dans un vocabulaire composé de termes d'observation et de termes théoriques, qui combinerait les axiomes de la théorie et les règles de correspondance :

$$T = \prod (O_1, O_2, \dots, O_n, T_1, T_2, \dots, T_m)$$

Ici, les termes O_i et T_j correspondent respectivement au vocabulaire d'observation et au vocabulaire théorique, et \prod est une formulation de la théorie combinée aux règles de correspondance dans ce vocabulaire.

Si une telle formulation était possible, il s'avérerait cependant que la signification que l'on attribue aux termes théoriques, et donc l'interprétation que l'on fait de la théorie, ne jouerait aucun rôle quant aux prédictions observables qu'on pourrait dériver de la théorie. Les termes T_i pourraient jouer le rôle de simples « labels », c'est-à-dire de noms apposés sur la structure logico-mathématique de la théorie, qui nous aident à décrire cette structure mais sans être requis pour faire des prédictions. Ces prédictions seraient en fait constituées de l'ensemble des théorèmes exprimables dans un vocabulaire d'observation uniquement que l'on peut déduire à partir de la théorie, et une fois les règles de correspondance fixées, ces théorèmes ne dépendent pas de l'interprétation qui est faite des termes théoriques, mais uniquement de la structure mathématique de la théorie. Nous ne devrions donc pas nous prononcer sur l'interprétation de ces termes (au-delà de ce que nous en disent les règles de correspondance) puisque celle-ci n'est jamais confirmée ou infirmée par l'expérience. Par exemple, nous ne devrions pas affirmer que les termes théoriques font référence à des propriétés naturelles.

Une manière de rester neutre quant à l'interprétation de la théorie consiste, en logique du second ordre, à remplacer les termes théoriques par des variables de prédicats sur lesquelles on quantifie existentiellement (Carnap, 1958) :

$$(\exists t_1, t_2, \dots, t_m) \prod (O_1, O_2, \dots, O_n, t_1, t_2, \dots, t_m)$$

C'est ce qu'on appelle une phrase de Ramsey. Cela revient simplement à refuser de nommer les propriétés théoriques : celles-ci ne sont plus interprétées, mais jouent seulement le rôle de nœuds, d'emplacements dans la structure théorique, dont nous nous contentons d'affirmer l'existence.

Si l'on assimile les conséquences empiriques d'une théorie à l'ensemble des théorèmes exprimés uniquement dans un vocabulaire d'observation qu'il est possible de déduire de cette théorie et des règles de correspondance, on peut montrer que la phrase de Ramsey construite à partir de la théorie (la théorie « ramseyfiée ») a exactement les mêmes conséquences empiriques que la théorie dans sa formulation originale. Ces conséquences empiriques peuvent éventuellement être en nombre infini, mais la phrase de Ramsey permet de les déduire de manière synthétique à partir d'un énoncé fini (Leroux, 1989) : elle conserve donc le rôle systématique que peuvent jouer les termes théoriques, unifiant des phénomènes divers de manière synthétique, sans pour autant nous engager sur le plan métaphysique.

Carnap interprétait les variables t_i d'une phrase de Ramsey comme représentant des relations mathématiques abstraites. Il n'est donc pas certain qu'on puisse qualifier sa position de réalisme (le terme de « neutralisme » marquant précisément sa prétention à rester neutre sur cette question). Toutefois, il est possible de concevoir que ces variables représentent des propriétés ou relations instanciées entre des objets inaccessibles de la réalité qui réalisent la structure de la théorie, et cette approche est alors une manière de formaliser le réalisme structural de Russell ou de Poincaré. L'idée est d'extraire du contenu des théories leurs structures, c'est-à-dire ce qui exprime des rapports entre objets, et de postuler, dans la lignée du réalisme structural de Russell, que cette structure est isomorphe à la structure de la réalité, mais sans toutefois prétendre que nous puissions connaître la nature fondamentale des objets de la réalité, et donc sans associer de signification aux éléments (propriétés et relations) de cette structure. C'est ce type de formulation de RSE qui sera proposé par Maxwell (1970).

3.1.3 *L'approche descendante*

On voit donc à partir de ces différentes positions historiques quelles sont les motivations de RSE. D'un côté, il s'agit de rendre justice au réalisme en postulant qu'une connaissance de la réalité est possible, en remarquant l'indispensabilité des termes théoriques chez Carnap, ou en postulant une théorie causale de la perception chez Russell pour « sortir du solipsisme ». D'un autre côté, il s'agit de garder à l'esprit que la connaissance scientifique est ultimement basée sur nos observations, qui constituent notre seul accès épistémique à la réalité, ce qui limite les prétentions du réalisme : nous n'avons pas directement accès à la nature de la réalité, mais seulement à des rapports exprimables sous forme d'une structure logico-mathématique.

Nous avons évoqué au chapitre 1 les difficultés de l'empirisme logique,

qui ont mené à un certain regain d'intérêt envers le réalisme scientifique et une suspicion à l'égard du fondationnalisme. Il est donc peu surprenant que les approches ascendantes ne soient pas largement reprises dans le débat contemporain. Cependant le réalisme structural y a été réintroduit dans une optique différente : celle de répondre à la méta-induction pessimiste qui menace le réalisme scientifique. C'est cette approche que nous qualifions, à la suite de Psillos, d'approche descendante.

Worrall (1989), constatant que l'argument du miracle et celui de l'induction pessimiste sont deux arguments forts, mais tirant dans des directions opposées, pense pouvoir trouver une solution de compromis dans le réalisme structural. Un réalisme à propos de la structure des théories serait suffisant pour expliquer le succès empirique de ces théories, et donc rendre justice à l'argument du miracle, et la structure des théories serait conservée lors des changements théoriques, ce qui permettrait de répondre à la méta-induction pessimiste.

Pour défendre l'idée que le réalisme structural permet de répondre à la méta-induction pessimiste, Worrall reprend à son compte un argument de Poincaré à cet effet. Poincaré anticipe en effet la méta-induction pessimiste à travers l'observation, qu'il attribue aux « gens du monde », que les théories scientifiques sont éphémères :

« Après quelques années de prospérité, [les gens du monde] les voient successivement abandonnées; [...] ils prévoient que les théories aujourd'hui à la mode devront succomber à leur tour à bref délai » (Poincaré, 1902, p.173)

Cependant, Poincaré observe que certaines équations des théories abandonnées survivent dans les nouvelles théories. C'est le cas par exemple des équations de la théorie optique de Fresnel, qui apparaissent également dans la théorie de l'électromagnétisme de Maxwell qui lui succède. Ces deux théories sont différentes quant à ce qu'elles postulent : la théorie de Fresnel applique ces équations à l'éther, contrairement à la théorie de Maxwell. Cependant si ces équations sont conservées d'une théorie à l'autre, c'est, pour Poincaré, parce qu'elles décrivent correctement des rapports entre objets réels, en l'occurrence les rapports entre les différentes composantes de la lumière, ces rapports étant la seule réalité que nous puissions atteindre.

Worrall s'inspire de Poincaré pour proposer une solution de compromis entre l'argument du miracle et celui de la méta-induction pessimiste. En effet, s'il n'y a pas continuité dans la référence, on peut, à l'instar de Poincaré, mettre en avant une certaine continuité de structure entre les théories successives afin de restaurer l'idée que les anciennes théories étaient, sous

certain aspects (les aspects structuraux), au moins approximativement vraies. Certes, il n'existe pas de calorique ni de phlogiston, mais ce n'est que l'interprétation de ces théories, et en particulier le fait de postuler l'existence de telles entités, qui a été abandonnée. Les rapports entre les phénomènes qu'elles expriment (les flux de chaleur...) ont été en partie préservés et ont servi de base à l'élaboration des théories qui leur ont succédé (Ladyman, 1998). À ce titre, on peut considérer que ces théories étaient au moins approximativement vraies quant à leurs structures, restaurant ainsi l'idée que la science procède par accumulation de connaissances théoriques, et non seulement par accumulation de connaissances empiriques.

L'argument peut s'appuyer sur le principe de correspondance (Post, 1971, p.228). On peut observer par exemple que la plupart des équations de la mécanique classique ont été explicitement reportées dans le cadre de la théorie de la relativité et de la mécanique quantique qui l'ont supplantée, et de ce fait les anciennes théories peuvent généralement s'exprimer comme cas limite des nouvelles théories (on retrouve par exemple une formulation de la mécanique classique, hors gravitation, à partir de la relativité restreinte en faisant tendre la vitesse de la lumière vers l'infini). Ce principe de correspondance serait l'indication d'une continuité de structure entre les théories successives.

Nous avons donc une deuxième motivation envers RSE qui est la suivante : les structures sont ce qui persiste d'une théorie à l'autre, et donc nous pouvons être réalistes à propos de ces structures.

3.2 Les objections au réalisme structural épistémique

Quand on tente de maintenir une position de compromis entre deux positions opposées, le risque est de ne pas parvenir à différencier suffisamment cette position de l'une ou l'autre de ses concurrentes, ou d'échouer à résoudre les problèmes associés. Le réalisme structural, se voulant un compromis entre réalisme et empirisme, n'échappe pas à la règle. Ainsi, on peut ranger les critiques du RSE en deux catégories : d'une part les objections qui cherchent à montrer que RSE n'est pas vraiment différent d'un réalisme standard, notamment parce que la distinction entre nature et structure est infondée, ou qu'il ne permet pas réellement de répondre à la méta-induction pessimiste parce qu'il n'y aurait pas de véritable continuité de structure entre les théories successives, et d'autre part les objections qui affirment que RSE n'est rien d'autre qu'un empirisme anti-réaliste, en ce sens qu'il réduirait le contenu pertinent des théories à la description de ré-

gularités dans nos observations et donc ne rendrait pas justice à l'argument du miracle. C'est dans cette seconde catégorie qu'on trouve l'objection la plus influente à RSE, surnommée objection de Newman.

Nous examinons dans cette section ces deux types d'objection tour à tour. L'objection de Newman et les réponses qui lui sont apportées seront particulièrement instructives et nous permettront de motiver l'empirisme modal.

3.2.1 *La distinction entre nature et structure*

RSE, en affirmant que seule la structure de la réalité est connaissable, suppose qu'il existe une distinction entre nature et structure (à propos des objets de la réalité) ou, de manière équivalente, entre interprétation et structure (à propos du contenu des théories).

Psillos (1995) développe plusieurs objections à l'encontre de RSE qui ont trait à cette distinction. Selon lui, la structure mathématique d'une théorie à elle seule n'est pas suffisante pour établir des prédictions : les équations doivent être interprétées. Ainsi, le réalisme structural pris à la lettre ne permettrait pas de réellement soutenir l'argument du miracle. Psillos ajoute que la distinction entre nature et structure est mal fondée, qu'il s'agit en fait d'un continuum dans la mesure où la signification des termes théoriques ne peut être comprise sans prendre en compte la structure à laquelle ils prennent part. Le terme « masse », par exemple, a d'abord été interprété comme quantité de substance avant de voir son interprétation s'affiner en physique classique, par la définition de ses relations aux autres termes théoriques comme la force et l'accélération. La structure relationnelle à laquelle participe une propriété fait donc partie intégrante de sa nature, de la manière dont elle est interprétée. Enfin pour Psillos (1999, ch. 7), il est faux de penser que seule la structure des théories est préservée lors des changements théoriques : lors du passage de la théorie de Fresnel à celle de Maxwell, certaines représentations mécaniques, ou encore le principe de conservation de l'énergie seraient également conservés.

Cependant pour Frigg et Votsis (2011) la distinction entre nature et structure peut être explicitée en termes d'intension et d'extension. Spécifier l'extension d'une théorie revient simplement à en fournir un modèle (au sens de Tarski, voir la section 1.3). On pourrait donc parler de nature, à l'instar de Russell, à propos du contenu du monde qui n'est pas isomorphe à la structure des théories, et il est alors douteux qu'il existe un réel continuum entre nature et structure. De plus il n'est pas évident, suivant cette compréhension, que les aspects conservés lors des changements théoriques

invoqués par Psillos soient réellement non structuraux (Votsis, 2004, p. 76–78). Remarquons toutefois que cette proposition revient à adopter une compréhension plus restrictive de ce qu’est la nature d’une entité que celle qu’envisage Psillos, de manière à en exclure tous les aspects structuraux.

Concernant le rôle de l’interprétation pour les prédictions, on peut faire valoir que les réalistes structuraux n’affirment pas qu’une structure mathématique non interprétée permet à elle seule d’établir des prédictions. Les équations théoriques sont interprétées *empiriquement*, c’est-à-dire par la manière dont elles se rapportent aux observations (ce qui s’exprime, dans le formalisme des phrases de Ramsey, par le fait que les termes d’observation sont toujours interprétés). On peut juger que cette interprétation est suffisante pour faire des prédictions (Votsis, 2004).

Une autre objection à RSE est suggérée par Ladyman (1998), qui affirme qu’un réalisme structural exprimé suivant le formalisme des phrases de Ramsey n’est pas suffisant pour répondre au problème de la méta-induction pessimiste, dans la mesure où les phrases de Ramsey font toujours référence à des entités inobservables. Certes, on remplace les termes interprétés par des variables quantifiées, mais on suppose toujours que certaines entités inobservables auxquelles on fait référence par ces variables quantifiées t_i existent et réalisent la structure exprimée par la théorie (voir la section 3.1.2). Or une nouvelle théorie pourrait ne pas postuler l’existence de ces entités.

Cependant, ceci n’est pas forcément un problème quand il s’agit de répondre à la méta-induction pessimiste. Cette dernière pose problème si l’on pense que les termes théoriques font directement référence à des propriétés ou à des sortes naturelles (par exemple, le calorique, qui serait une substance particulière), par opposition à des propriétés fictionnelles qui seraient de purs artefacts de nos représentations. Ce que l’on pensait être une propriété naturelle peut s’avérer ne pas en être une à la lumière d’une nouvelle théorie (en l’occurrence, quand on conçoit que les gradients de chaleur peuvent être convertis en travail mécanique), mais quantifier existentiellement sur des propriétés n’implique pas d’en faire des propriétés naturelles. Les t_i peuvent faire référence à des entités fictionnelles. On peut invoquer à cet effet le concept de réalisation multiple : il existe plusieurs façons différentes dont la structure de la théorie pourrait être réalisée par des entités inobservables, et peut-être qu’elle n’est pas toujours réalisée de la même façon en toutes circonstances, ou qu’elle est réalisée par des entités hétérogènes. En refusant d’interpréter les termes théoriques t_i comme correspondant à des propriétés naturelles, le réalisme structural peut donc bien répondre à la méta-induction pessimiste (French, 2014, ch.

5.9).

Reste que pour convaincre, RSE doit pouvoir montrer en quoi les structures sont en effet conservées lors des changements théoriques. À ce titre l'exemple de Poincaré est un cas particulier puisque les équations de Fresnel et celles de Maxwell sont strictement identiques, mais la plupart du temps, le principe de correspondance n'implique pas que les équations des anciennes théories apparaissent à l'identique dans les nouvelles théories. Or les défenseurs du réalisme structural n'explicitent jamais précisément (par exemple de manière formelle) ce qu'ils entendent par continuité de structure. Une analyse des relations inter-théoriques proposée par Rosaler (2015) semble indiquer qu'il existe une correspondance de structure locale plutôt que globale entre théories successives (c'est-à-dire de modèle à modèle plutôt que de théorie à théorie, et pour certains modèles théoriques uniquement). On peut se demander si ceci est suffisant pour soutenir un réalisme structural.

D'après Redhead (2001), les transformations lors des changements théoriques sont trop profondes pour qu'on puisse réellement parler de continuité entre les structures des théories successives, dans la mesure où des caractéristiques formelles importantes ne sont pas conservées (par exemple la commutativité des observables dans le passage de la mécanique classique à la mécanique quantique). Bueno (2008) met en avant différents exemples de perte de structure lors de changements théoriques. Plus récemment, Pashby (2012) prend l'exemple de la découverte du positron pour montrer comment un changement d'ordre métaphysique peut se traduire en termes de changement structural, appuyant ainsi l'idée, exprimée par Psillos, qu'il n'y aurait pas de dichotomie tranchée entre nature et structure.

Stanford (2003) donne également l'exemple en génétique de la loi de Galton, qui donne des prédictions correctes en moyenne, mais dont on considère aujourd'hui, à la lumière de la théorie de Mendel, qu'elle ne décrit pas correctement les relations entre entités réelles (ici entre les caractéristiques génétiques des ancêtres d'un organisme). Dans ce cas il y a bien continuité empirique, et la nouvelle théorie permet de comprendre pourquoi l'ancienne faisait des prédictions correctes, mais il n'y a pas de continuité dans la structure entre des entités de la réalité qui est postulée.

On peut certes répondre à ce type d'objections que les nouvelles théories préservent généralement les relations entre phénomènes quand celles-ci ont été amplement confirmées par l'expérience. Elles font les mêmes prédictions que les anciennes théories dans les cas limites, du moins dans certains domaines d'expérience. Mais à trop mettre l'emphasis sur le contenu empirique et sur les prédictions face aux objections, on peut en venir à se

demander en quoi le réalisme structural se différencierait toujours d'un empirisme.

3.2.2 *L'objection de Newman*

Il se pourrait qu'en évacuant nos engagements ontologiques envers l'interprétation des théories, RSE ne parvienne plus à se différencier d'un simple empirisme qui se contenterait d'affirmer que nos théories sont empiriquement adéquates, c'est-à-dire qu'elles décrivent correctement les régularités des phénomènes observables, plutôt que de proposer une explication à ces régularités comme le demande l'argument du miracle. Une fois l'adéquation empirique de nos théories acquise, RSE se ramènerait alors à une position triviale insuffisante pour constituer un véritable réalisme. La principale objection envers RSE en ce sens a d'abord été formulée par Newman (1928) à l'encontre de Russell, et a été remise au goût du jour par Demopoulos et Friedman (1985).

Si en effet les relations portées par les équations théoriques ne sont pas interprétées mais identifiées à leur extension, c'est-à-dire aux ensembles d'objets qu'elles relient, il suffit qu'il existe un nombre suffisant d'objets réels pour que toutes les relations possibles sur ces objets existent, en un sens purement mathématique. Il suffit en effet, pour qu'une relation existe au sens mathématique, qu'elle puisse être définie, et donc que les objets qu'elle relie existent. En conséquence, RSE qui affirme que la structure de nos théories correspond à la structure de la réalité n'affirmerait rien de plus que l'existence d'un nombre suffisant d'objets dans le monde pour réaliser la structure de nos théories.

Pour que RSE ne soit pas une position triviale, il faudrait spécifier de quelles relations on parle : il ne doit pas s'agir de n'importe quelles relations mathématiquement définissables, mais de relations « importantes ». Mais spécifier la nature de ces relations, ou simplement dire qu'elles sont « importantes », risque de nous faire sortir d'un réalisme structural pur s'il s'agit d'apporter une qualification non structurale à ces relations.

Il est bien sûr possible de remarquer que la structure réelle postulée par une théorie a un ancrage empirique : elle se rapporte à des observations. Il ne s'agit donc pas de n'importe quelle structure. Dans une phrase de Ramsey, il existe en effet des termes d'observation qui sont interprétés. Cependant tenant compte de cet ancrage empirique, l'objection de Newman revient à dire que RSE ne fait presque rien de plus qu'affirmer que nos théories sont empiriquement adéquates, c'est-à-dire qu'elles ordonnent correctement les phénomènes observables par des généralisations.

Il est possible d'appliquer cette remarque au formalisme des phrases de Ramsey : elle prend alors la forme d'un théorème de logique du second ordre qui affirme qu'une phrase de Ramsey correspondant à une théorie est nécessairement vraie si toutes les conséquences empiriques de la théorie sont vraies, et s'il existe un nombre suffisant d'objets quelconques dans le monde (Demopoulos et Friedman, 1985). Autrement dit, tout ce qu'affirme RSE, c'est que nos théories sont empiriquement adéquates et qu'il existe au moins un certain nombre d'objets inaccessibles dans le monde (suffisamment pour porter la structure de la théorie). Il va de soi que les défenseurs de RSE voudraient pouvoir affirmer plus.

Remarquons ceci dit que l'adéquation empirique d'une théorie en ce sens est déjà une thèse assez forte, puisqu'il s'agit d'affirmer que la théorie prédit correctement non seulement l'ensemble des phénomènes observables passés, qu'ils aient été observés ou non (et même s'ils ne sont pas *pratiquement* observables parce que par exemple trop lointains), mais aussi l'ensemble des phénomènes futurs qui seront observés ou non. Pour certains auteurs, par exemple Zahar (2004), ce type de généralisation suffit à être réaliste, et on ne peut de toute façon espérer en savoir plus (voir aussi Zahar, 2000). Une théorie scientifique ramseyfiée nous fournirait la formulation la plus compacte possible de l'ensemble des phénomènes de l'univers et son contenu informatif ne serait donc pas nul.

Le problème de cette position est de savoir en quoi consiste ce contenu informatif, et si ça ne revient pas à qualifier les relations dont il est question, celles qui permettent la formulation la plus compacte, d'« importantes », comme le suggérait Newman. En particulier, si l'on pense qu'il s'agit d'un indice pour pouvoir affirmer que les variables quantifiées dans une phrase de Ramsey (les t_i , voir section 3.1.2) font référence à des propriétés naturelles, on s'éloigne alors de RSE et on risque de ne plus pouvoir répondre à l'argument de la méta-induction pessimiste (nous revenons sur cet aspect plus bas).

Mais en l'absence d'un tel contenu informatif qui pourrait *expliquer* le succès empirique des théories plutôt que de simplement l'affirmer, la position ne se différencie pas fondamentalement de l'empirisme constructif de van Fraassen (1980), qui se veut une position anti-réaliste affirmant que nous devons seulement croire que nos théories sont empiriquement adéquates, l'adéquation empirique étant alors également comprise comme l'adéquation à tous les phénomènes observables passés, présents et futurs, observés ou non.

3.2.3 Comment échapper à l'objection de Newman ?

L'objection de Newman semble inévitable si l'on s'en tient au formalisme des phrases de Ramsey : il s'agit alors d'un théorème de logique du second ordre. Cependant on peut juger que l'utilisation des phrases de Ramsey attribue injustement certaines thèses aux réalistes structuraux, qui seraient implicitement assumées par ce formalisme : par exemple, l'idée d'une distinction stricte entre langage d'observation et langage théorique.

Pour savoir comment échapper à cette objection, on peut, comme le proposent Melia et Saatsi (2006), analyser les différentes façons possibles de s'éloigner du formalisme des phrases de Ramsey en amendant certains de ses présupposés, sans retomber dans un réalisme standard. L'enjeu est le suivant : faire en sorte que le réalisme structural affirme plus que l'existence de régularités dans nos observations, pour en faire une thèse véritablement réaliste, mais sans pour autant être victime de la méta-induction pessimiste.

Melia et Saatsi identifient les présupposés implicites suivants dans le formalisme des phrases de Ramsey :

La séparation vocabulaire d'observation / vocabulaire théorique

qui suppose qu'il n'existe pas de prédicats mixtes, ce qui semble douteux (« être plus petit que » s'applique aussi bien à des objets observables qu'à des atomes et des molécules).

La quantification universelle qui suppose qu'on ne restreint pas le domaine des objets sur lesquels les prédicats théoriques portent, ni le domaine des prédicats et relations théoriques eux-mêmes (mais on pourrait dire qu'une théorie ne porte, par exemple, que sur les objets et propriétés *concrets*, pas sur des objets abstraits)

La logique extensionnelle qui suppose que notre théorie est dénuée d'aspect modal, c'est-à-dire qu'elle n'exprime pas des rapports de causalité ou de nécessité physique qui gouverneraient les phénomènes, mais se contente de décrire une mosaïque de faits actuels³

Avant d'examiner les différentes options consistant à rejeter l'un ou l'autre de ces présupposés, commençons par écarter une option plus radicale, qui consisterait à rejeter le formalisme des phrases de Ramsey dans son ensemble en faisant valoir que la meilleure façon de concevoir les théories est de les considérer non pas comme un ensemble d'énoncés interprétés

3. Nous employons « actuel » au sens du mot anglais « actual », c'est-à-dire par opposition à « seulement possible » (on pourrait aussi dire « effectif »), et non pas au sens de « présent » comme en français courant. Le monde actuel comprend éventuellement les faits passés et futurs.

sur le monde combinés à des règles de correspondance, mais plutôt comme un ensemble de modèles, suivant la conception sémantique des théories (voir la section 1.3). French et Ladyman (2003) suggèrent que l'objection de Newman ne s'applique pas à la conception sémantique des théories, mais serait un artefact de la conception traditionnelle. Ils proposent d'exprimer le réalisme structural dans le cadre de la conception sémantique : celui-ci consisterait alors à affirmer l'existence d'une correspondance (de type isomorphisme) entre les modèles mathématiques de la théorie et la structure du domaine de la réalité qu'ils représentent.

Cependant nous avons vu que selon certains auteurs, la différence entre la conception traditionnelle et la conception sémantique des théories est surévaluée : les deux approches sont équivalentes à certains égards. Par ailleurs l'idée que l'objection de Newman ne s'appliquerait pas à la conception sémantique des théories est critiquée par Ainsworth (2009). Dans le cadre d'une conception sémantique, RSE consisterait à affirmer qu'il existe un modèle de la théorie isomorphe à (une partie de) la structure de la réalité. Mais il est toujours possible de sélectionner les propriétés et relations d'un domaine contenant suffisamment d'objets pour satisfaire cette condition (il s'agit en fait d'une transposition de l'argument modèle-théorique de Putnam (1980) à l'encontre du réalisme métaphysique : voir la section 1.2.4). En tenant compte de la contrainte d'adéquation empirique des théories, on peut montrer que RSE ainsi formulé est équivalent à l'affirmation suivant laquelle il existe une structure empiriquement adéquate (c'est-à-dire qui correspond aux modèles de données issus de l'expérimentation) et un nombre suffisant d'objets réels inobservables pour réaliser cette structure, ce qui n'est qu'une nouvelle formulation de l'objection de Newman et, de nouveau, trivialisent RSE.

Si l'on s'en tient au formalisme des phrases de Ramsey, échapper à l'objection de Newman exige donc d'amender un ou plusieurs des trois pré-supposés cités plus haut. Il s'agit soit d'affirmer que certaines propriétés ou relations s'appliquant à des objets inobservables sont en fait interprétées (celles qui correspondent aux prédicats mixtes), c'est-à-dire, en quelque sorte, d'étendre à l'inobservable le langage de l'observable, soit de qualifier de manière générale les objets, propriétés et relations dont on parle (par exemple, qualifier les relations « d'importantes » comme le proposait Newman), de manière à cibler le domaine visé par la théorie, soit enfin d'interpréter la structure que nos théories représentent comme une structure nomologique, exprimant des rapports de nécessité dans le monde.

Il semble qu'on puisse assimiler la réponse de Russell (1968) à Newman à la première de ces propositions. Russell affirme en effet dans sa réponse à

Newman qu'il défend une forme impure de réalisme structural, en postulant par exemple que les perceptions et leurs causes ont certaines relations de contiguïté spatio-temporelles. Les relations de contiguïté ou de succession temporelle sont pour Russell des relations directement observables, et il s'agirait donc d'affirmer que les relations observables s'appliquent également à des objets inobservables. On pourrait les formaliser par des prédicats mixtes, s'appliquant indifféremment à des objets observables et inobservables. C'est l'approche également proposée par Cruse (2005). Ceci pourrait être rapproché de la transduction, qui, selon certains auteurs, a joué un rôle important dans l'atomisme de Newton (McGuire, 1970) : il s'agit d'étendre à l'inobservable certaines caractéristiques que l'on attribue aux objets de notre expérience.

Il y a certainement un gain par rapport à la formulation standard de RSE à enrichir le vocabulaire de prédicats mixtes. Cependant Melia et Saatsi observent que le gain est assez maigre, puisque l'objection de Newman s'applique toujours au contenu entièrement inobservable des théories. Selon RSE, les affirmations de nos théories qui s'expriment dans un vocabulaire purement théorique se ramènent toujours à un contenu trivial.

La seconde proposition peut prendre deux formes : il peut s'agir de restreindre le domaine des objets auxquels s'appliquent la théorie, ou de restreindre le domaine des propriétés et relations sur lesquels on quantifie. Concernant la première option, Melia et Saatsi observent que restreindre le domaine des objets de la théorie (par exemple aux objets physiques, ou concrets) revient formellement à appliquer systématiquement un prédicat particulier aux objets sur lesquels on quantifie. Ceci est équivalent à enrichir notre théorie d'une nouvelle propriété (celle d'être un objet physique, concret) qui s'applique à tous ses objets, et alors l'objection de Newman s'applique aussi bien à cette nouvelle théorie une fois ramseyfiée.

Concernant la seconde option, ils observent que restreindre le domaine des propriétés et relations t_i revient à qualifier ces propriétés et relation (par exemple de naturelles, d'importantes) par un prédicat de second ordre. Il s'agit de la solution envisagée par Newman. La question est alors de savoir si l'on peut qualifier les relations et propriétés dont on parle de manière suffisamment forte pour que le réalisme structural ne soit plus une position triviale, sans être victime d'une méta-induction pessimiste.

Melia et Saatsi répondent par la négative. Qualifier les propriétés et relations de naturelles ne fonctionne pas : les propriétés naturelles ne survivent pas toutes aux changements théoriques (par exemple « phlogiston »). Mais concevoir ces propriétés comme des combinaisons logiques quelconques de propriétés naturelles s'avère insuffisant pour rendre le réalisme structural

non trivial, puisqu'il sera possible de réaliser mathématiquement à peu près n'importe quelle structure sur la base de telles propriétés.

La troisième voie s'avère plus prometteuse : il s'agirait d'incorporer aux phrases de Ramsey des opérateurs modaux exprimant des relations de nécessité physique ou des rapports contrefactuels entre les phénomènes, ce qui permettrait de bloquer l'objection de Newman exprimée sous la forme de théorème logique.

3.2.4 *Les modalités sont-elles suffisantes ?*

Il semble a priori raisonnable de penser qu'un engagement envers l'existence de rapports de nécessité physique nous éloigne d'un pur empirisme : l'idée d'une nécessité dans la nature (qu'elle prenne la forme de lois naturelles, de dispositions...) est traditionnellement entretenue par les réalistes. En l'acceptant, nous faisons apparemment plus que décrire des régularités dans nos observations. Parler de nécessité physique ou de situations contrefactuelles pourrait jouer un rôle explicatif, par exemple vis-à-vis des nouvelles prédictions, ce qui rendrait justice à l'argument du miracle. Ceci pourrait également permettre de rendre compte de l'indispensabilité des termes théoriques, notamment les termes dispositionnels qui ne se réduisent pas à leurs manifestations (voir section 1.1.1). En effet, il est fréquent d'associer les termes dispositionnels à des énoncés contrefactuels. Enfin il est probable que les rapports contrefactuels entre phénomènes survivent aux changements théoriques.

On peut se demander cependant si cette solution nous permet réellement d'obtenir autre chose qu'un empirisme. En effet, la logique modale peut être formalisée de manière extensionnelle en quantifiant sur les mondes possibles. On pourrait donc en principe formuler une phrase de Ramsey correspondant à la théorie, et quantifiant sur des mondes possibles w_i :

$$(\exists t_1, t_2, \dots, t_m)(\forall w_1, w_2, \dots, w_p) \prod (O_1, O_2, \dots, O_n, t_1, t_2, \dots, t_m, \dots, w_1, w_2, \dots, w_p)$$

Il est possible que la théorie incorpore également des quantificateurs existentiels, pour exprimer des possibilités, et que les quantificateurs sur les mondes possibles, plutôt que d'apparaître en début de formule, soient intégrés dans sa formulation, mais ça n'a pas d'importance pour notre argument. Le point important est que cette formulation n'est pas foncièrement différente d'une phrase de Ramsey classique, et il n'y a donc aucune raison

que le théorème à l'origine de l'objection de Newman ne s'y applique pas aussi bien : étant donné qu'une théorie est empiriquement adéquate, le contenu purement inobservable postulé par le réaliste structural serait trivial. La seule différence avec le réalisme structural traditionnel est que les mondes possibles sont des objets interprétés, et que la façon dont ces objets sont interprétés ne doit pas être éliminée par le procédé de ramseyfication. La conclusion du théorème serait alors la suivante : la phrase de Ramsey modale d'une théorie est vraie si et seulement si la théorie est empiriquement adéquate dans tous les mondes possibles, et s'il existe suffisamment d'objets dans les mondes possibles⁴ pour porter cette structure. Autrement dit, l'adéquation empirique ne concernerait pas seulement les observations actuelles, mais également les observations possibles. Nous aboutissons alors à un empirisme modal, qui est la position que nous défendrons dans ce travail.

Est-ce suffisant pour aboutir à une position plus forte qu'un empirisme, qu'on pourrait qualifier de réalisme structural ? Des relations modales sont-elles forcément « réelles » ? Ladyman (2004) affirme qu'un empirisme qui accepterait les modalités naturelles serait un réalisme structural. Mais il ne justifie pas cette affirmation, et nous ne pensons pas que ce soit le cas.

Il faut en effet savoir ce qu'on entend par « relation réelle ». Le réel est généralement conçu en termes d'indépendance de nos conceptions et observations. Une première option, qui est celle traditionnellement adoptée par les réalistes structuraux épistémiques, est de considérer qu'une relation est réelle s'il s'agit d'une relation entre des objets réels (c'est-à-dire existant indépendamment de la façon dont on les conçoit). Or ce n'est pas le cas ici : nous avons toujours affaire à des relations entre nos observations, et d'hypothétiques objets inaccessibles de la réalité ne jouent aucun rôle particulier : ils ont seulement besoin d'être en nombre suffisant pour porter la structure de la théorie. Certes, les observations possibles ne font pas partie de notre expérience effective, mais c'est insuffisant pour les qualifier de réelles, puisqu'elles sont toujours conçues comme des observations, et ne sont donc pas conceptuellement indépendantes de notre position épistémique. Dans le cas contraire, l'empirisme constructif qui étend l'adéquation empirique à ce qui est seulement observable (mais pas effectivement observé) pourrait aussi bien être qualifié de réalisme.

Une seconde option est de considérer que des relations modales sont réelles non pas en vertu du fait qu'elles relieraient des objets réels, mais en

4. Nous ne nous prononcerons pas à ce stade sur la question de l'actualisme et du possibilisme, à savoir si l'on quantifie sur les mêmes objets ou sur des objets différents dans les mondes possibles.

elles-mêmes. On pourrait arguer que les rapports de nécessité physique ne sont pas directement observables ou testables empiriquement. Le concept de nécessité naturelle dépasserait l'expérience, et demanderait donc à être interprétée métaphysiquement.

Cependant, pour réellement parler de réalisme, il faut pouvoir postuler une correspondance entre ces relations de nécessité postulées par la théorie et des relations de nécessité dans le monde. C'est bien la notion de vérité-correspondance qui permet de différencier le réalisme d'autres positions. Mais si le contenu des théories est toujours interprété en rapport à nos observations, même si ceci inclut les observations possibles, les relations modales dont il est question ne sont pas forcément des entités auto-subsistantes dans le monde : elles peuvent être appréhendées sous un angle pragmatique, en termes d'attentes justifiées vis-à-vis d'observations possibles, plutôt que comme correspondant à des « relations réelles ». Ceci nous demande seulement de croire qu'il existe quelque chose comme des observations possibles dans la nature.

Nous revenons sur cet aspect section 3.4. De plus, nous défendrons, dans la partie II de cette étude, que les rapports de nécessité physique sont en fait testables empiriquement et ne relèvent pas de l'abduction si l'on part du principe qu'il y a du possible dans la nature. Il ne s'agit donc pas de postuler des entités réelles à des fins explicatives : selon nous, parler de relations modales entre nos observations n'est pas en soi une explication aux régularités observables, mais leur extension aux possibles, et il n'y a pas lieu de voir dans l'empirisme modal une forme de réalisme structural.

Il faut donc faire un « pas métaphysique » supplémentaire pour passer d'un empirisme modal à un réalisme structural, et postuler, comme le proposent les partisans de RSO, que la structure à propos de laquelle nous sommes réalistes n'est pas simplement un ensemble de relations entre nos observations définies par leurs extensions (même étendue aux mondes possibles), mais qu'il s'agit d'une structure ontologiquement primitive. Reste cependant, pour répondre à l'objection de Newman, à qualifier cette structure pour la différencier d'une simple structure mathématique (ce qui peut passer par une interprétation métaphysique de la nécessité). Les partisans de RSO proposent de parler de relations modales pour échapper à cette difficulté. Mais on pourrait craindre que cette solution ne se différencie pas vraiment de celles examinées plus haut, consistant à introduire un prédicat de second ordre, ici « ontologiquement primitif » et « modal », pour qualifier les relations dont on parle. Or nous avons vu que cette solution était problématique : si cette qualification est trop forte, notre position risque d'être de nouveau victime de l'argument de méta-induction pessimiste,

et si elle est trop faible, notre position est menacée par la trivialité. Nous examinons RSO dans la section suivante, et nous proposerons, section 3.3.3, un argument montrant que le fait de qualifier les relations de primitivement modales ne permet plus d'échapper au problème de méta-induction pessimiste. La seule option envisageable est alors d'adopter une interprétation pragmatique plutôt que réaliste des modalités, en relativisant les relations modales à notre position épistémique.

Un RSE modal n'est donc pas selon nous autre chose qu'un empirisme étendu au possible s'il entend répondre au problème de méta-induction pessimiste. Si la question est de savoir si l'on peut répondre à l'argument du miracle, pourtant, il est possible que le fait de parler de relations modales plutôt que simplement extensionnelles soit une réponse satisfaisante. En effet, l'extension de la théorie à de nouveaux domaines d'expérience est couronnée de succès, ce qui peut sembler un miracle pour un empiriste traditionnel. Mais si ces nouveaux domaines font déjà partie des conséquences empiriques *possibles* de la théorie, alors le succès de cette extension à de nouveaux domaines n'aurait rien de mystérieux et ne demanderait aucune explication réaliste, puisqu'il dérive en fait déjà de l'adéquation empirique de la théorie (et ne demande pas à ce que la théorie soit vraie). Nous en restons pour l'instant à un niveau intuitif, mais proposerons dans la suite de ce travail (section 6.2.1) des arguments à cet effet.

3.3 Le réalisme structural ontique

RSE est une position épistémique portant sur les limites de la connaissance. Cependant la position a été récupérée par différents auteurs à des fins métaphysiques (French, 1998; Ladyman, 1998). Selon ces auteurs, il faut comprendre le réalisme structural comme portant sur la nature de la réalité : celle-ci serait essentiellement une structure de relations, conçues comme ontologiquement primitives, plutôt qu'un ensemble d'objets ou de propriétés. On parle alors de réalisme structural ontique (RSO). Autrement dit il s'agit de remplacer la métaphysique traditionnelle d'objets et de propriétés, au sein de laquelle les relations surviennent sur les propriétés intrinsèques et éventuellement sur l'arrangement spatio-temporel des objets, par une métaphysique au sein de laquelle la structure relationnelle est tenue pour primitive, et les objets dérivent de cette structure.

RSO met l'accent sur la dichotomie objet / relation plutôt que sur la dichotomie nature / structure : il ne s'agit plus d'affirmer que seule la structure est connaissable, par opposition à la nature intrinsèque des objets qui

la composent, mais que seule la structure existe au niveau fondamental, par opposition aux objets eux-mêmes (ou suivant certaines versions dites modérées, si ces objets existent comme relata de la structure, leurs propriétés intrinsèques et leur identité dérivent entièrement de la structure). Tout comme RSE, RSO affirme que nous ne pouvons connaître que la structure de la réalité, mais la raison en est, pour RSO, qu'elle est tout ce qui existe au niveau fondamental. Cette position permettrait, entre autre, d'éclairer le contenu de la physique contemporaine.

Nous exposons dans cette section les motivations et difficultés de cette position. Nous expliquons en particulier pourquoi, selon nous, RSO ne permet pas de répondre au problème de méta-induction pessimiste : les relations primitivement modales ne survivent pas aux changements théoriques.

3.3.1 *Les motivations de RSO*

Nous avons donc une position qui se distingue de RSE en ce qu'elle nie l'existence d'objets autonomes au-delà des relations dévoilées par les sciences. Ses partisans s'inspirent de certains philosophes néo-kantien, comme Cassirer (1923), selon qui la notion d'objet devrait être conçue à partir de celle de relation plutôt que l'inverse : Cassirer remarque que les progrès de la science consistent à abandonner certains référents absolus, comme l'espace chez Newton, au profit de quantités relationnelles. Les lois physiques, qu'on pouvait penser s'appliquer à des quantités absolues, ne sont plus alors que des lois s'appliquant à des quantités relatives à un choix de référentiel arbitraire (un système de coordonnées associé à un point de référence), et ces lois sont invariantes par les transformations qui permettent de passer d'un référentiel à un autre. Si les quantités dynamiques sont toujours relatives à un référentiel choisi arbitrairement, il est alors possible de concevoir l'objectivité comme invariance par transformation : l'objet n'est pas un référent absolu, mais ce qui, dans nos représentations, reste invariant par changement de perspective (on retrouve une telle conception de l'objet chez différents auteurs, y compris dans une perspective phénoménologique, par exemple chez Husserl). Ce sont donc les lois, en tant qu'invariants, qui fondent les objets et leurs propriétés. On passe d'une conception substantialiste à une conception structurale de l'objet.

Cassirer (1937) propose donc d'inverser la relation entre loi et objet : au lieu de partir d'objets déterminés ayant des propriétés intrinsèques et qui entrent en relation les uns avec les autres en respectant certaines lois, il faudrait concevoir que ce sont les lois qui constituent ces objets

en exprimant certaines relations, les objets n'existant finalement qu'en vertu des lois qui leur donnent lieu, ou comme points d'intersection de ces relations. Cassirer considère notamment les implications de la mécanique quantique sur la notion d'objet individuel, et en conclut que les objets quantiques ne devraient être conçus que comme les points d'intersection de certaines relations.

On retrouve une position similaire, également inspirée de la physique moderne, chez Eddington (1955), qui affirme :

« Les relations unifient les relata ; les relata sont les points de rencontre des relations. L'un ne peut être pensé sans l'autre. »

Il s'agit de concevoir que relations et objets reliés sont en rapport de co-détermination.

Une façon de formaliser l'idée d'invariance par transformation consiste à recourir à la théorie mathématique des groupes de symétrie. Or les groupes de symétrie jouent un rôle central en physique contemporaine. Les propriétés des différents types de particules fondamentales (quark, électron, photon...) et la façon dont ces particules interagissent peuvent être caractérisées par de tels groupes (Weyl, 1931). La notion de groupe de symétrie permet ainsi de caractériser les types et propriétés de la physique de manière structurale, sans référence à des objets particuliers : on caractérise une structure non pas en spécifiant les propriétés et relations qu'elle attribue à des objets, mais de manière abstraite, en spécifiant l'ensemble des transformations qui la laissent invariante.

Si la philosophie néo-kantienne de Cassirer ne peut vraiment être qualifiée de réalisme, puisqu'il conçoit les lois comme des aspects de nos représentations plutôt que comme des aspects du monde, il est possible d'envisager que les groupes de symétrie utilisés en physique ainsi que les lois physiques qui les respectent décrivent ou correspondent à la structure de la réalité, et qu'ils fondent les objets de la réalité. On adopte alors un RSO.

C'est la manière dont certains auteurs se sont approprié les arguments de Worrall. Rappelons que ce dernier justifie une attitude réaliste envers la structure des théories scientifiques dans la mesure où celle-ci serait conservée lors des changements théoriques (voir la section 3.1.3). Mais plutôt que de penser que cette structure décrit les relations entre des objets dont la nature nous est inconnue, on pourrait aussi bien abandonner l'idée qu'il existe de tels objets, et penser cette structure comme primitive : la structure est tout ce qui existe, et la connaissance scientifique porte essentiellement sur cette structure (French, 1998; Ladyman, 1998).

On peut justifier cette proposition par un argument de parcimonie : l'existence d'objets inaccessibles supportant cette structure serait finalement une hypothèse superflue dont il faudrait se passer, en concevant que les noms que nous donnons aux propriétés physiques ou aux objets que nous postulons ne sont que des supports heuristiques pour dévoiler la structure fondamentale de la réalité.

Ce type d'argument est notamment appliqué à la mécanique quantique, et au problème d'identité des particules. Ce problème est en effet issu d'un principe de symétrie particulier de la mécanique quantique, qui concerne non pas les propriétés physiques, mais les objets fondamentaux eux-mêmes : l'invariance par permutation, qui affirme que l'état d'un système à plusieurs particules doit être invariant quant à l'ensemble de ses prédictions expérimentales par permutation de deux ou plusieurs particules du même type. Il découle de ce principe certaines statistiques dans les prédictions qui sont propres à la mécanique quantique : les statistiques de Fermi-Dirac (pour les fermions) et de Bose-Einstein (pour les bosons). Suivant l'invariance par permutation et le principe d'identité des indiscernables de Leibniz, les particules fondamentales n'auraient pas réellement d'identité (puisque un arrangement et le même arrangement au sein duquel les particules ont été permutées seraient indiscernables, donc identiques), et ces particules devraient être reconçues comme états d'excitation d'un champ (French et Redhead, 1988; Teller, 1995). Les particules classiques et les objets courants, qui semblent être dotés d'une identité, seraient émergents.

Il est toujours possible, pour rejeter ces thèses, de postuler une identité primitive de type *eccēditē*, et de réinterpréter la statistique prédite par la mécanique quantique en termes d'états accessibles à ces particules. Mais on perd alors le lien entre l'identité et la façon dont les particules sont localisées en pratique, puisque les particules localisées par nos instruments de mesure seraient en fait des mélanges statistiques des véritables individus (Dieks et Lubberdink, 2012). Enfin la théorie quantique des champs aggrave encore le problème, puisque un même système peut théoriquement être vu comme possédant un nombre différent de particules suivant l'observateur (Earman, 2011).

Pour les réalistes structuraux, tout ceci indique qu'il n'y a pas réellement d'objets dans le monde, mais seulement des structures de relations auto-subsistantes (French, 2014), et que la notion d'objet devrait être conçue comme dérivée plutôt que primitive (on parle de RSO éliminatif), ou, à minima, que l'identité et les propriétés des objets sont déterminées unique-

ment par leurs relations aux autres objets (on parle de RSO modéré).⁵

Outre ces motivations, comme nous l'avons vu (section 3.2.3), les défenseurs de RSO pensent qu'une telle position permettrait d'éviter l'objection de Newman envers RSE puisqu'elle se distingue d'un empirisme par un engagement ontologique supplémentaire envers les relations. Enfin certains auteurs proposent d'étendre RSO aux autres disciplines que la physique, en envisageant que ces disciplines mettent au jour des motifs (« *pattern* ») structuraux propres à certains domaines de la réalité (Ladyman et Ross, 2007, ch. 4).

3.3.2 *Les difficultés de RSO*

RSO se voulant une position métaphysique plutôt qu'épistémique, il suit d'autres motivations que RSE et donne lieu à des débats d'une nature différente, qui portent par exemple sur le statut ontologique des relations. Une objection immédiate envers RSO est que la notion de relation sans relata n'a pas de sens, et différentes réponses à cette objection ont été proposées : concevoir les relations comme des universaux ou des tropes et les objets comme des agrégats de propriétés (Morganti, 2004), concevoir que les relata sont eux-mêmes des relations et qu'il n'existe pas de niveau fondamental à la réalité (Ladyman et Ross, 2007, p. 155), concevoir les éléments reliés comme des entités non individualisables, des « quasi-objets » (French et Krause, 1995), ou comme ayant leur identité déterminée par la structure. Ces solutions amènent elles-mêmes certains débats, par exemple sur la possibilité de rendre compte de la causalité sans individus (Chakravartty, 2003) (voir aussi Arenhart et Bueno (2015) pour des critiques variées).

Ces débats métaphysiques ne nous intéressent pas directement ici (voir French (2014) pour une revue), mais nous souhaitons mettre l'accent sur le fait que RSO ne permet pas mieux que RSE de répondre à l'objection de Newman. En effet, un problème pour RSO est qu'il semble brouiller la distinction entre structure physique et structure mathématique. Selon Cao (2003), si une structure mathématique peut être comprise comme pure structure, il en va autrement d'une structure physique : celle-ci doit être interprétée, doit s'appliquer à des éléments constituants, et enfin ne peut permettre des prédictions qu'en tant qu'elle revêt un aspect causal et qu'elle

5. On peut concevoir que la proposition de Saunders (2003) d'affaiblir le principe d'identité des indiscernables pour répondre au problème de l'identité des particules se situe dans cette lignée, puisque selon son principe, les individus sont identifiés non pas par leurs propriétés intrinsèques, mais par leurs relations respectives, en l'occurrence le fait d'entrer dans une relation irreflexive.

s'applique à des entrées physiques (« *physical inputs* ») décrites de manière qualitative. En éliminant les objets auxquels la structure se rapporte, ou en réduisant leur nature intrinsèque à des aspects structuraux, RSO brouillerait la distinction entre structure physique et mathématique et ne permettrait pas de retrouver les aspects qualitatifs de la réalité. On trouve des critiques semblables chez Tiercelin (2011). Ne pas faire cette distinction entre structure physique et mathématique risque de nous ramener à un platonisme mathématique qui pourrait trivialisier l'existence de cette structure.

Cette objection est en fait exactement le pendant de l'objection de Newman envers RSE : une structure mathématique abstraite existe, en tant qu'elle est définissable, et le réaliste structural doit dire plus, et qualifier cette structure, s'il veut obtenir une position substantielle, sans pour autant tomber dans un problème de méta-induction pessimiste. Après tout, parler de relations « primitives » n'est pas foncièrement différent de parler de relations « importantes », comme le proposait Newman, et on peut se demander, à la suite des analyses de la section 3.2.3 en quoi ceci pourrait constituer une solution. Le problème étant analogue, les réponses qu'il est possible d'y apporter sont les mêmes. On peut proposer d'interpréter qualitativement certaines relations, mais s'il s'agit d'interpréter la structure en relation à notre expérience uniquement, nous obtenons un empirisme plutôt qu'un réalisme, et s'il s'agit d'en faire des relations naturelles, nous risquons de rencontrer un problème d'induction pessimiste.

La solution souvent adoptée par les réalistes structuraux consiste à parler de relations modales (ou causales), afin de les différencier de relations purement mathématiques, ou extensionnelles. Il ne s'agit pas de pures relations mathématiques mais de relations nomologiques, de rapports de nécessité dans le monde. Reste à interpréter cet aspect modal, et on retrouve ici les principales options concernant l'interprétation des lois de la nature :

Huméanisme la structure de la réalité consiste en certaines régularités décrites par les lois, qui, comme dans la théorie du meilleur système de Lewis (1973), ne sont que la manière la plus simple et informative de décrire ces régularités. Si l'on conçoit suivant un RSO modéré qu'il existe des objets possédant des propriétés intrinsèques, bien que celles-ci dérivent d'aspects structuraux, on peut alors dire que la structure correspond aux régularités dans la distribution de ces propriétés en même temps qu'elle les détermine (Lyre, 2011).

Dispositionnalisme La structure est causale, elle décrit un réseau de pouvoirs causaux conditionnels instanciés, ou dispositions. Les

propriétés physiques sont identifiées à leurs pouvoirs causaux les unes relativement aux autres (la charge est la disposition à attirer d'autres charges, etc.) et les lois sont une manière de décrire le profil causal de ces propriétés (Esfeld, 2009; Chakravartty, 2007; Bird, 2007).

Primitivisme La structure qui correspond aux lois de la nature est primitivement modale. Elle exprime des relations de nécessité dans le monde, la notion de nécessité n'étant pas analysable (French, 2014).

Le huméanisme nie qu'il existe des relations modales dans la nature, et ne résout donc pas le problème de la distinction entre structure mathématique et physique, à moins de postuler que les propriétés et relations sont interprétées, ce qui constitue un écart à RSO. Lyre (2011) postule que nous ayons directement accès par l'expérience à certaines propriétés intrinsèques dérivées de la structure, mais nous avons vu que ce type de solution, qui consisterait, dans le cadre de RSE, à introduire des prédicats mixtes, était insuffisant pour répondre à l'objection de Newman, et on peut douter que cela suffise dans ce cas également à différencier la position d'un empirisme (voir également French (2014, ch. 9.2) sur les questions relatives à la notion de meilleur système dans un cadre structuraliste).

Un structuralisme dispositionnaliste affirme que l'essence d'une propriété tient uniquement à ses relations causales aux autres propriétés. De plus il envisage, comme le huméanisme, que la structure est concrète : il s'agit de relations causales instanciées dans la réalité. Cependant il est avancé qu'une analyse dispositionnaliste n'offre pas le même degré de généralité que les lois scientifiques (par exemple, des charges électriques différentes impliquent des dispositions différentes pourtant décrites par une seule loi (Vetter, 2009)) et ne permet pas de rendre compte de méta-lois comme les principes de symétrie ou les lois de conservation qui jouent pourtant un rôle explicatif majeur en physique contemporaine et servent habituellement à motiver RSO (French, 2014, ch. 9.4).

Par ailleurs, si la manifestation d'une disposition est une autre disposition, on peut craindre une régression à l'infini, et demander à ce que, de manière ultime, il existe des manifestations qualitatives qui permettent de réellement identifier les propriétés de la structure (Psillos, 2012).

Si l'on adopte le primitivisme, il existe une certaine tension entre deux conceptions des structures : comme lois abstraites générales ou comme structure concrète instanciée, et toutes les structures ne peuvent être forcément qualifiées de modales. Pour Psillos (2012), ce n'est pas le cas par exemple des relations spatiales. Par ailleurs il semble qu'une structure ne peut être modale que si elle s'applique à des instances concrètes, et

alors des objets indépendants au-delà de la structure pourraient être requis (Psillos, 2015). Les lois scientifiques ne fixent pas les conditions initiales de l'univers, par exemple. De manière similaire, on peut remarquer que parler de modalité suppose de faire référence à des phénomènes actuels⁶, et les relations modales ne suffisent pas à les spécifier. Dans le cas de lois probabilistes notamment, le fait qu'un événement parmi plusieurs possibles soit finalement instancié n'est pas spécifié par la loi (Ruyant, 2016b). Dans ce cadre il faudrait revenir sur le principe suivant lequel la structure est « tout ce qui existe ». On pourrait y répondre en adoptant un réalisme modal à la Lewis, mais alors l'aspect modal de la structure est réduit à un aspect indexical, et on voit mal en quoi il permettrait de distinguer celle-ci d'une pure structure mathématique.

French (2014, ch. 10) utilise la distinction entre « déterminable » (par exemple la charge électrique) et « déterminé » (une valeur spécifique de charge) pour répondre à ce problème. Il assimile la structure modale aux déterminables et les déterminés à des « témoins existentiels » dans le monde actuel et affirme que les deux font partie du niveau fondamental de la réalité. Il reste à voir si ça ne revient pas à réintroduire des objets indépendants gouvernés par les lois en plus de la structure, c'est-à-dire si on ne revient pas tout simplement à une métaphysique traditionnelle d'objets (à moins d'avoir une conception également structurale des déterminés).

3.3.3 *Les relations modales survivent-elles aux changements théoriques ?*

Les problèmes rencontrés par le dispositionnalisme et par le primitivisme sont somme toute assez similaires : il s'agit de remarquer qu'une structure modale ne peut pas être « tout ce qui existe ». Il nous faut spécifier certains relata de la structure (dans le cas du dispositionnalisme, des manifestations qualitatives, dans le cas du primitivisme, des déterminés actuels). Mais alors on retombe dans les problèmes relevés précédemment : soit ces relata sont interprétés qualitativement en rapport à notre expérience, et nous nous ramenons à une forme d'empirisme spécifiant des relations entre observations (éventuellement possibles) sans que le fait de qualifier ces relations de « primitives » ne semble jouer de rôle particulier, soit ils sont interprétés en termes de sortes naturelles, et alors on se rapproche d'un réalisme traditionnel et la méta-induction pessimiste menace de nouveau.

Selon nous, le simple fait de qualifier les relations de primitivement

6. au sens de l'anglais « actual », voir la note 3

modales est trop fort pour permettre à ces relations de survivre aux changements théoriques. Il est vrai que ce que Duhem (1906) appelait les « lois expérimentales » survivent généralement à ces changements théoriques : nos théories de la lumière ont changé à de nombreuses reprises depuis le 17^e siècle, mais elles rendent toujours compte des phénomènes de réflexion et de réfraction. On peut penser, intuitivement, que le fait d’y voir des contraintes de nécessité plutôt que de simples régularités n’altère en rien cette continuité : les nouvelles théories ne feraient que restreindre le domaine d’application des anciennes à certains contextes particuliers (par exemple, les anciennes théories négligent les effets magnétiques sur la lumière), mais il s’agirait toujours de contraintes de nécessité. Pourtant c’est loin d’être évident.

En effet, partons du postulat qu’une contrainte sur les phénomènes impliqués par une théorie est physiquement nécessaire, et qu’on peut en déduire que dans un contexte restreint C , il existe une certaine relation entre A et B , qui correspond précisément à une relation postulée par une ancienne théorie (A pourrait être le fait qu’il y a un rayon incident sur une surface réfléchissante, B que le rayon est réfléchi selon un certain angle, et C qu’il n’y a aucun champ magnétique). On peut exprimer ceci comme suit :

$$\Box(C \rightarrow (A \rightarrow B))$$

Le problème est qu’il est *impossible* de déduire de cette prémisse la conclusion suivante :

$$C \rightarrow \Box(A \rightarrow B)$$

On ne pourrait faire cette déduction que si C était lui-même nécessaire, mais le fait qu’il n’y ait pas de champ magnétique en un certain endroit de l’univers ne peut être considéré comme nécessaire (sauf à trivialisier notre position en faisant de tous les faits des nécessités). Si donc une théorie affirme qu’il est nécessairement vrai qu’il y a une relation entre A et B dans un contexte C , ça n’implique aucunement qu’il y ait une relation de nécessité entre A et B dans le contexte C .

Ceci n’est pas forcément un problème pour un empiriste modal, qui pourra continuer d’affirmer qu’une ancienne théorie est modalement adéquate dans son domaine d’application. L’empiriste modal relativise alors les rapports de nécessité à un contexte épistémique, à un certain domaine de possibles, à la manière dont, par exemple, on peut parler de nécessité technique (ce qui est possible ou impossible relativement à nos capacités

techniques). Nous revenons plus loin sur la manière d'interpréter ces rapports modaux. Mais ce type de rapports de nécessité ne peut être qualifié de « primitivement modal » puisqu'ils sont relatifs à un contexte épistémique contingent.

Nous pouvons illustrer ceci par un exemple. Prenons une théorie de la chute libre suivant laquelle les corps en chute libre sont accélérés à $9,8 \text{ m/s}^2$. Cette loi est toujours une conséquence de nos théories actuelles, mais il n'y a pas de sens à affirmer qu'il s'agit d'une loi primitivement modale, qui appartiendrait à la structure fondamentale du monde : à la lumière des théories contemporaines, on y verra plutôt une conséquence empirique dépendante du fait que nous nous situons à la surface de la terre, et que la terre a telle masse et telle taille. L'accélération serait différente si nous nous trouvions à la surface de la lune ou si la terre perdait subitement une partie de sa masse. Ces aspects contextuels, et la façon dont ils sont impliqués, ne nous sont accessibles qu'à la lumière des nouvelles théories. Cette relation est bien modale si l'on restreint pragmatiquement son application à certains contextes (si l'on tient conventionnellement pour fixe le fait que nous nous trouvions à la surface de la terre), mais il s'agit alors d'une modalité relative plutôt que primitive, c'est-à-dire qu'elle ne concerne qu'un certain domaine limité de possibilités. Si donc les relations modales survivent aux changements théoriques, c'est au sens de modalités relatives à un contexte, mais en aucun cas des relations conçues comme primitivement modales ne peuvent survivre aux changements théoriques.

3.4 Esquisse d'un empirisme modal

Le réalisme structural, dans ses versions ontique ou épistémique, prétend offrir un compromis entre réalisme et empirisme et, dans le cas de RSO, éclairer le contenu de la physique contemporaine. Mais ces positions rencontrent des difficultés quand il s'agit de qualifier cette structure et ses relata sans la ramener à l'expérience uniquement, ni revenir à une position réaliste traditionnelle.

Toutes les versions ne rencontrent pas ces difficultés de la même manière. Si l'on veut résumer les différences importantes entre RSO et RSE (ou au moins les versions principales de ces positions), on pourra relever les aspects suivant :

1. Pour RSO, les relations sont modales. Elles sont donc « plus » que le simple arrangement des relata de ces relations dans le monde actuel. Pour RSE, ces relations sont extensionnelles : elles ne sont qu'une

manière d'exprimer l'arrangement de relata actuels, qui peuvent être des entités inaccessibles de la réalité.

2. Pour RSO, les relations épuisent la réalité. Les relata ne sont donc pas « plus » que les relations, mais sont déterminés par ces relations. Pour RSE, elles constituent seulement ce qui est connaissable de la réalité, et les relata peuvent avoir une nature non déterminée par la structure à laquelle ils appartiennent.

On pourrait traduire ces aspects en termes de survenance : la question serait de savoir si la structure survient sur les relata du monde actuel, et si ces relata (leur identité, leur nature) surviennent sur la structure.

Le premier point, ou l'idée que les relations sont modales, consiste à incorporer un aspect qu'on trouve traditionnellement dans le camp réaliste : l'idée qu'il y ait de la nécessité dans la nature (qu'on comprenne cette nécessité en termes de lois naturelles, de dispositions...). Elle permet, selon les défenseurs de RSO, d'échapper à l'objection de Newman. Nous avons défendu sections 3.2.4 et 3.3.3 que ce n'est pas le cas s'il s'agit de différencier le réalisme structural d'une position empiriste qui porterait sur nos observations : les relations modales ne peuvent survivre aux changements théoriques que si elles sont relativisées à un contexte épistémique, et alors on ne peut plus vraiment parler de correspondance à la réalité : parler de relations modales revient seulement à étendre l'empirisme aux observations possibles. Mais il se pourrait au moins que ceci constitue une réponse à l'argument du miracle, en rendant compte des nouvelles prédictions des théories : non pas en les expliquant, mais en n'en faisant pas un miracle.

Nous avons vu que RSO était également motivé par certains aspects de la physique contemporaine, comme le problème de l'identité des particules. On peut penser que c'est le fait de ramener la représentation scientifique à des relations modales ou nomologiques (et non seulement extensionnelles) qui permet de s'attaquer efficacement à ces problèmes. Les modèles de la mécanique quantique décrivent bien des relations non survenantes (en particulier les relations d'intrication) qu'il est difficile d'interpréter comme un simple arrangement d'entités du monde actuel⁷.

Pour ces raisons, nous pensons qu'il est légitime de se ranger du côté de RSO sur cet aspect modal des relations, et que le fait de concevoir les relations de manière purement extensionnelle est bien une source de difficulté pour RSE.

7. Une analyse plus poussée serait nécessaire ici, mais elle dépasse le cadre de ce travail. On trouvera des éléments dans Ruyant (2016b).

À l'inverse, le second point, ou l'idée que la structure serait « tout ce qui existe », est une source de difficulté pour RSO. À aucun moment cette idée ne joue de rôle particulier dans les motivations de RSO, que ce soit à propos de la physique contemporaine ou pour répondre à l'objection de Newman. Quand il est question d'éclairer la physique contemporaine, affirmer que les relations sont tout ce qui existe revient peu ou prou à considérer que notre physique est complète, ou pourrait l'être en principe, mais il n'est pas nécessaire d'adopter un tel postulat pour prétendre mieux interpréter son contenu. D'une part, le principe d'indiscernabilité des particules stipule qu'une permutation de particules de même type est indifférente *vis-à-vis des prédictions*, et donc il semble judicieux de ramener la structure modale invoquée pour éclairer cette question à nos prédictions. D'autre part, l'idée que la mécanique quantique est complète doit se confronter au problème de la mesure, qui semble justement indiquer l'inverse (Maudlin, 1995), et il est de bonnes raisons de penser que ce problème, établi par un certain nombre de « no-go theorems » méta-théoriques bien confirmés expérimentalement, comme le théorème de Bell, survivra à la mécanique quantique. Ce problème fait directement écho aux principales objections envers RSO : parler de structure modale suppose des relata actuels, si bien que la structure ne peut être une représentation complète de la réalité⁸. Enfin, nous avons vu que l'idée même de relations primitives risquait de poser problème face à la méta-induction pessimiste (section 3.3.3).

Le fait de concevoir que les relata de cette structure sont des observations (possibles ou actuelles) permet de résoudre ces difficultés : on offre ainsi un ancrage empirique à nos théories qui permet de les différencier de pures structures mathématiques. C'est cet ancrage empirique qui joue un rôle dans les arguments épistémologiques qui ont initialement motivé RSE chez Russell ou Poincaré : selon ces auteurs, nous n'avons aucune raison de penser que notre connaissance du monde est complète, ou qu'elle va au-delà de ce qu'une induction sur la base de nos observations peut fournir. Les relations dont il est question peuvent être modales relativement à notre position épistémique, et ainsi survivre aux changements théoriques. Ces arguments ne suffisent pas à différencier RSE d'un empirisme, au sens où on obtiendrait une relation de correspondance plutôt qu'une adéquation

8. Les solutions réalistes au problème de la mesure proposent de compléter le formalisme de la théorie, à l'exception des interprétations de type mondes multiples. Ces dernières rencontrent des problèmes dans l'interprétation des probabilités. En particulier, la notion ne semble plus avoir de sens si toutes les possibilités sont en fait actuelles. On peut rapprocher cette difficulté de celles de RSO évoquées plus haut (voir Ruyant, 2016b). Nous revenons brièvement sur le problème de la mesure au chapitre 10.

empirique (au contraire), mais ils permettent au moins de délimiter ce qui, pour un empiriste, peut constituer une connaissance objective du monde : nous sommes en position de savoir que nos théories sont empiriquement adéquates.

Une solution de compromis qui permettrait de prendre les avantages de chaque position en évitant les inconvénients consisterait donc à se ranger du côté de RSO quand il s'agit de faire de la structure des théories une structure modale plutôt qu'extensionnelle, mais à se ranger du côté de RSE quand il s'agit de ramener cette structure à l'expérience uniquement, plutôt que de la concevoir comme « tout ce qui existe ». Que faire de l'objection de Newman dans ce cadre ? Selon nous, elle est inévitable : une telle position n'est pas un réalisme, mais simplement un empirisme qui étend l'adéquation empirique des théories à l'expérience *possible*. Mais elle n'est pas victime d'une méta-induction pessimiste, puisqu'elle ne se prononce pas sur la nature des objets et propriétés du monde, et si, comme nous le défendrons dans la partie suivante, le recours aux modalités suffit pour rejeter l'argument du miracle, alors l'objection de Newman ne devrait plus être une source d'inquiétude particulière. L'empirisme modal pourrait réellement constituer le « meilleur des deux mondes » que Worrall appelle de ses vœux.

Si la structure envers laquelle nous nous engageons se rapporte à des observations actuelles et possibles, ou, plus généralement, à des aspects de l'expérience, une notion de vérité-correspondance ne s'impose pas à nous. Elle n'est pas nécessaire pour répondre à l'argument du miracle, dans la mesure où la réponse apportée ne consiste pas à vouloir expliquer les nouvelles prédictions des théories en postulant une ontologie particulière, mais seulement à rendre compte de ces nouvelles prédictions comme d'un aspect de leur adéquation empirique, c'est-à-dire comme des régularités empiriques étendues aux possibles. Elle n'est pas non plus nécessaire pour éclairer le contenu de la physique contemporaine : après tout, les arguments employés par RSO s'inspirent de Cassirer, qui n'était pas réaliste. Enfin le fait de parler de relations modales n'implique aucunement que ces relations correspondent à des « relations réelles » dans le monde, si elles se rapportent toujours à des observations plutôt qu'à des objets qui nous seraient conceptuellement indépendants.

Nous avons vu, en particulier, que si des relations modales doivent survivre aux changements théoriques, il doit s'agir de relations modales relativement à un contexte épistémique tenu pour fixe (section 3.3.3). Ces relations ne sont pas primitives, mais *relativement* modales, à la manière dont les modalités techniques sont relatives à nos capacités techniques

contingentes. Elles concernent un certain domaine limité de possibilités qui nous sont accessibles, sans que nous soyons forcément en mesure d'appréhender ce domaine d'un point de vue extérieur. Dans ce cadre, c'est plutôt une interprétation pragmatique des modalités qui s'impose à nous : nous devrions interpréter la nécessité en termes d'attentes vis-à-vis d'observations possibles, tenant pour fixe notre contexte épistémique⁹. Il faudrait plutôt voir ces relations modales comme celles qui seraient couronnées de succès pratique si on les utilisait pour mettre en œuvre différentes interventions expérimentales.

Le fait que certaines relations modales seraient couronnées de succès dans notre situation épistémique suppose qu'il existe quelque chose comme du possible dans la nature : la « nécessité relative » prendra alors la forme de régularités parmi les possibles qui nous sont accessibles. Il nous faut en effet distinguer l'idée générale (que nous acceptons) qu'il existe du possible dans la nature de l'idée (que nous rejetons) que certaines relations modales particulières seraient des « relations réelles » plutôt que relatives à notre position épistémique et à nos attentes. Nous partageons l'idée générale qu'il existe du possible dans la nature, et qu'il existe des contraintes sur les possibles, avec certaines versions de réalisme scientifique, en opposition aux versions traditionnelles d'empirisme. Mais après tout, aucune position épistémologique ne peut se passer d'un minimum de bagage métaphysique, et si notre position est un peu plus aventureuse sur ce point que, par exemple, l'empirisme constructif, nous ne sommes pas pour autant tenus de nous prononcer sur la nature métaphysique de ces contraintes de nécessité, ni sur le fait que les relations modales particulières impliquées par nos théories correspondraient à des relations réelles, c'est-à-dire à des contraintes de nécessité absolues plutôt que relatives à un contexte. Nous justifierons cet engagement envers les modalités naturelles dans la partie II de cette étude.

Dans le cadre d'un empirisme modal, les arguments de l'approche ascendante de Poincaré prennent leur importance : les relations modales expriment le contenu envers lequel nous pouvons être engagés sur la base de l'expérience. Il s'agit d'un contenu transmissible à même de constituer une connaissance objective, ou a minima inter-subjective du monde, quand les relata de cette structure ne constituent que des éléments d'expérience que nous partageons en raison de notre appartenance à la même communauté

9. cette relativité au contexte serait mieux exprimée en termes de situations possibles plutôt que de mondes possibles : il est ainsi possible de tenir pour fixe des aspects contextuels, en faisant référence à une situation actuelle, sans forcément en avoir une connaissance exhaustive. Nous développerons ce cadre dans la suite de ce travail.

épistémique.

Conclusion

On peut distinguer deux aspects dans le contenu des théories : le vocabulaire et la structure mathématique. Le réalisme structural prend le parti de ne s'engager qu'envers la structure de nos théories. Pour certains, les relations seraient le seul aspect réellement transmissible et objectivables de nos représentations. Pour d'autres, c'est le seul aspect sujet à continuité lors des changements théoriques. Enfin, plus récemment, certains y ont vu une manière d'éclairer le contenu de la physique contemporaine. Le principal problème de ces thèses est qu'il n'est pas certain qu'elles parviennent à maintenir une position de compromis entre réalisme et empirisme. Le trilemme est le suivant : si la structure se rapporte à l'expérience, alors la position n'est finalement qu'un empirisme ; si elle ne se rapporte à rien, alors il s'agit d'un platonisme mathématique menacé par la trivialité ; si enfin elle est interprétée métaphysiquement, on retombe dans un réalisme traditionnel.

La solution que nous proposons à ce problème est l'empirisme modal. Elle consiste à assumer un empirisme, en ramenant la structure des théories à notre expérience, mais à penser cette structure comme une structure modale, de manière à conserver certains bénéfices du réalisme structural. En particulier, nous pensons que les modalités pourraient permettre de répondre à l'argument du miracle et éclairer le contenu de la physique. Cependant il ne faut pas y voir un réalisme : bien que l'empirisme modal partage avec certaines versions de réalisme l'idée générale qu'il existe du possible dans la nature, et des contraintes sur ce qui est possible, les relations modales particulières postulées par nos théories devraient être interprétées dans un cadre pragmatiste, en termes d'attentes justifiées vis-à-vis d'expériences possibles, relatives à un contexte, plutôt que comme correspondant à la structure du monde.

Tout ceci n'est qu'une esquisse de l'empirisme modal. Nous avons exprimé ici de manière intuitive les quelques motivations qu'on pourrait avoir envers cette position, à la lumière des avantages et difficultés des autres positions. Nous en développerons une justification plus systématique dans les chapitres qui suivent.

Conclusion de la partie I

La question du réalisme scientifique est centrale en épistémologie des sciences. Il s'agit de la question de savoir si nous sommes en position d'affirmer que nos théories sont vraies, ou approximativement vraies, au sens où elles correspondraient à une réalité indépendante de nos concepts, valeurs et observations. On peut la dériver en deux principaux aspects : une question sémantique, qui concerne le rapport général entre théorie et réalité et la manière d'interpréter le contenu des théories, et une question épistémique qui concerne nos possibilités de savoir si nos théories sont vraies.

C'est la question sémantique qui a le plus préoccupé les philosophes au début du 20^e siècle, à travers les tentatives d'analyser le contenu des théories scientifiques en les ramenant à nos observations. Cette approche a rencontré de nombreuses difficultés, dont les plus notables sont le holisme de la signification, le holisme de la confirmation et la charge théorique de l'observation. Face à ces difficultés, plusieurs attitudes sont possibles : incorporer des aspects cohérentistes et pragmatistes, vers un relativisme ou un réalisme interne, ou au contraire postuler un réalisme sémantique, suivant lequel nos théories ont vocation à correspondre à la réalité.

Cette dernière approche introduit un fossé apparent entre le contenu sémantique des théories et nos possibilités d'acquérir une connaissance, donc de savoir si nos théories sont vraies. Nos théories sont sous-déterminées par l'expérience. C'est ce qui a amené les philosophes à se tourner vers des questions épistémiques. Les réalistes invoquent typiquement des critères de justification non empiriques, comme la simplicité, l'unification théorique ou le pouvoir explicatif des théories, qui, selon eux, seraient des indicateurs de vérité : nos théories constituent, suivant ces critères, la meilleure explication aux phénomènes, et le réalisme est lui-même la meilleure explication au succès des sciences en général. Mais ce type d'argument rencontre un problème : la plupart des théories passées, y compris celles couronnées de succès, sont aujourd'hui considérées fausses, et il n'existe pas de réelle

continuité d'ordre ontologique entre théories successives.

Le réalisme structural prétend restaurer une continuité entre les théories, qui serait une continuité de structure. Il reste à qualifier ce qu'est cette structure. Or, si celle-ci n'est interprétée qu'en rapport à nos observations, le réalisme structural n'est rien d'autre qu'un empirisme qui ordonne nos observations en régularités de manière synthétique. Une solution consiste à parler de relations modales, ou nomologiques. Nous avons défendu que cette solution ne permettait pas de réellement obtenir un réalisme : il s'agit simplement d'affirmer que nos théories sont empiriquement adéquates, tout en étendant cette adéquation aux observations possibles. Autrement dit, nous obtenons un empirisme modal.

Selon nous ces difficultés sur le plan épistémique sont inévitables si l'on adopte un réalisme sémantique. Pour autant, l'empirisme modal pourrait être la meilleure solution de compromis : il est en phase avec nos possibilités épistémiques d'acquérir de la connaissance, en ancrant nos représentations dans l'expérience, et l'engagement envers les modalités, qu'il partage avec le réalisme scientifique (au moins certaines versions), pourrait éviter de faire du succès empirique des sciences un miracle et permettre de dépasser les difficultés de l'empirisme logique en adoptant une conception moins restrictive de l'expérience, sans pour autant croire que nos théories sont vraies au sens d'une vérité-correspondance.

C'est cette position que nous allons tenter de développer de manière systématique dans la suite de cette étude. Nous tenterons de lui donner une forme précise, en nous intéressant de manière plus approfondie au contenu des théories scientifiques, à leur confrontation expérimentale et à la notion d'adéquation empirique. Nous verrons alors comment cette position répond aux différents arguments du débat épistémique : la sous-détermination, l'argument du miracle et la méta-induction pessimiste, et qu'elle permet de donner sens à la pratique scientifique. Nous expliquerons au passage en quoi il s'agit bien d'une position empiriste, et comment, si l'on part du principe qu'il existe du possible dans la nature, les rapports de nécessité particuliers peuvent être connus par induction. Puis nous reviendrons, à partir de cette position, sur les questions d'interprétation sémantiques ou métaphysiques, en défendant qu'une interprétation pragmatiste des théories est plus appropriée pour l'empirisme modal, et qu'elle ouvre la voie à une métaphysique empiriste. Nous nous demanderons alors comment interpréter métaphysiquement les modalités. Enfin, nous appliquerons de manière plus concrète ces considérations au contenu des théories physiques, et en particulier de la mécanique quantique, pour en démontrer la fructuosité.

Deuxième partie
L'empirisme modal

Dans la première partie de cette étude, nous avons passé en revue les débats sur la question du statut de la représentation scientifique du monde. Nous avons vu de quelle manière le réalisme scientifique, qui est l'attitude de sens commun face aux théories scientifiques, entre en tension avec l'idée empiriste suivant laquelle toute connaissance provient, ou est justifiée par l'expérience. Le réalisme structural se présente comme une solution de compromis dans le débat, mais comme tout moyen terme, il doit parvenir à montrer comment il est possible de se démarquer suffisamment d'une position sans pour autant se ramener à l'autre.

Cette première partie s'est achevée par une proposition : l'empirisme modal, qui promet d'obtenir ce moyen terme en partageant avec le réaliste un engagement envers les modalités naturelles tout en conservant l'ancrage de la représentation scientifique dans l'expérience. L'empirisme modal peut se définir, en première approche, comme la position suivant laquelle nos théories scientifiques décrivent correctement les relations modales entre nos observations. L'objet de cette seconde partie est d'élaborer cette solution et de la confronter aux arguments du débat épistémologique.

À cette fin, nous commencerons par mettre au clair le cadre dans lequel ce travail se situe. Il s'agira notamment de spécifier ce que l'on considère être une théorie scientifique, en prenant comme cas paradigmatique les théories de la physique (chapitre 4). L'objet de ce chapitre est d'abord de décrire de manière relativement neutre la façon dont les théories scientifiques sont généralement présentées et utilisées. Toutefois nous proposerons à l'issue de ce chapitre une synthèse plus personnelle de cette présentation, qui marquera la direction prise dans la suite de notre travail : il s'agira essentiellement de concevoir les théories scientifiques comme des systèmes conceptuels abstraits, confrontés à l'expérience par l'intermédiaire de modèles, plutôt que comme des descriptions du monde.

Une fois ce cadre établi, nous tenterons de spécifier ce qu'il faut entendre par adéquation empirique d'une théorie (chapitre 5) : que veut-on dire quand on dit qu'une théorie est « bien vérifiée empiriquement » ? Ou encore qu'elle « sauve les phénomènes » ? Nous argumenterons à l'encontre des conceptions traditionnelles de l'adéquation empirique en faveur d'une conception plus modeste et plus directement connectée à la pratique scientifique : il s'agira de comprendre l'adéquation empirique en termes de succès prédictif des modèles lors de leur application à des situations concrètes. Nous préciserons ce qu'il faut entendre par situation et par applicabilité des modèles. Cette façon de concevoir l'adéquation empirique peut cependant se décliner en plusieurs versions, suivant ce qu'on considère être le domaine de quantification des situations. À l'issue de ce chapitre

nous serons à même de définir précisément ce qu'est l'empirisme modal, qui adhère à l'adéquation empirique des théories pour toutes les situations *possibles*, et qui est la position que nous comptons défendre.

Cette défense sera déployée sur les deux chapitres suivants. Nous commencerons par examiner en quelle mesure la notion d'adéquation empirique que nous proposons, et l'empirisme modal en particulier, permettent de renouveler le débat sur le réalisme scientifique. Nous verrons qu'elle permet de répondre à l'argument du miracle ou de rendre compte du rôle explicatif des théories. Pour autant l'empirisme se distingue nettement d'un réalisme dans la manière dont il se justifie, en refusant le recours au raisonnement abductif, et c'est le cas y compris de l'empirisme modal. Enfin nous défendrons l'empirisme modal contre les autres versions d'empirisme, en arguant d'une part que l'idée générale qu'il existe du possible et du nécessaire dans la nature permet de mieux rendre compte de la pratique scientifique, notamment si celle-ci est conçue comme une pratique active d'intervention, et d'autre part que si on accepte cette idée générale, les relations modales impliquées par les théories ne sont pas sous-déterminées par l'expérience.

En conclusion nous dirons quelques mots de la façon dont l'empirisme modal se situe dans le débat épistémologique vis-à-vis des autres positions. Anticipant sur les thèmes de la partie suivante consacrée à l'interprétation métaphysique des théories, nous ferons valoir que la tension entre empirisme et réalisme scientifique est amoindrie dans le cadre d'un empirisme modal, et qu'elle est mieux comprise sur un plan sémantique, en termes de conception de la vérité, plutôt qu'épistémologique : l'empirisme modal peut être reformulé comme un réalisme interne qui adhérerait à une conception pragmatiste de la vérité.

Chapitre 4

Qu'est-ce qu'une théorie scientifique ?

English abstract

This chapter presents our framework. We clarify our conception of scientific theories and of the way they are confronted to experience. The conception proposed is the following : a scientific theory is constituted of a theoretical vocabulary and axioms. These are used to build models in the model-theoretic sense, that aim at representing concrete situation types. The constituents of these models, in particular their degrees of freedom and initial states in a particular system of coordinate, are then mapped to particular concrete situations (reference frames, measuring apparatus, etc.). Finally their predictions are compared to the data extracted from the situation. We acknowledge that complications occur at each stage, where actual practice departs from this ideal scheme, but justify neglecting them from an empiricist stance. We examine the role played by the linguistic interpretation of the theoretical vocabulary, in particular for fixing the domain of application of models. We put emphasis on the fact that the models of theories of fundamental physics are indexical : neither the theoretical content nor the models refer to particular places, instants or concrete objects. A model is associated with a singular content only when confronted to experience. Thus theories can be viewed as abstract conceptual systems rather than descriptions of the world.

Ce chapitre a pour but de spécifier notre cadre de travail : qu'entend-on par théorie scientifique ? Comment conçoit-on la confrontation des théories à l'expérience ? Il s'agit principalement de se donner les outils pour pouvoir ensuite s'attaquer à notre tâche principale, qui concerne la question du statut de la représentation scientifique.

Les théories scientifiques sont diverses, mais nous restreindrons ici notre analyse aux théories fondamentales de la physique¹. Les trois premières sections de ce chapitre visent à décrire la façon dont les théories physiques sont généralement présentées et utilisées en science. La manière dont on concevra une théorie physique est, à gros traits, la suivante (voir figure 4.1) :

Contenu théorique : une théorie physique est constituée d'un vocabulaire théorique, d'un formalisme mathématique et d'axiomes et de règles (section 4.1).

Construction de modèles : ces éléments permettent de construire des modèles mathématiques exprimés dans le vocabulaire de la théorie et destinés à représenter les situations d'un certain type (section 4.2).

Confrontation empirique : ces modèles sont mis en correspondance avec des situations concrètes et comparés aux modèles de données construits à partir des données extraites de ces situations (section 4.3).

Il existe cependant des complications à chaque étape, et nous détaillons chacun de ces trois niveaux tour à tour².

1. Il s'agit peut-être d'une tradition regrettable en épistémologie des sciences de se concentrer presque exclusivement sur les théories physiques (même si c'est sans doute moins le cas aujourd'hui). Cette approche peut se justifier au moins dans une optique physicaliste (réductionniste ou non), où l'on considère que la physique s'intéresse au niveau fondamental de la réalité et a donc un domaine d'application universel. De manière plus métaphysiquement neutre il est possible d'invoquer, suivant Ladyman et Ross (2007, ch. 1.4), l'asymétrie des contraintes qu'exercent les différentes théories entre elles : le contenu de la physique s'impose aux autres disciplines (un organisme biologique peut subir des contraintes physiques, sans pour autant que le contenu de la biologie ne soit entièrement déterminé par celui de la physique) tandis que l'inverse n'est pas vrai. Il s'agit donc en quelque sorte d'appliquer une stratégie de division des tâches : s'intéresser d'abord aux représentations physiques s'appliquant de manière plus universelle, puis à la manière dont les autres représentations s'articulent à elles. Il reste malgré tout légitime, même si cela dépasse notre cadre, de se demander en quelle mesure les aspects présentés ici peuvent ou non être étendus à d'autres disciplines que la physique.

2. Parmi les nombreuses références ayant servi à réaliser ce chapitre, notons les suivantes : Cartwright (1999), Giere (1991), van Fraassen (1980), Bailer-Jones (2013), Leroux

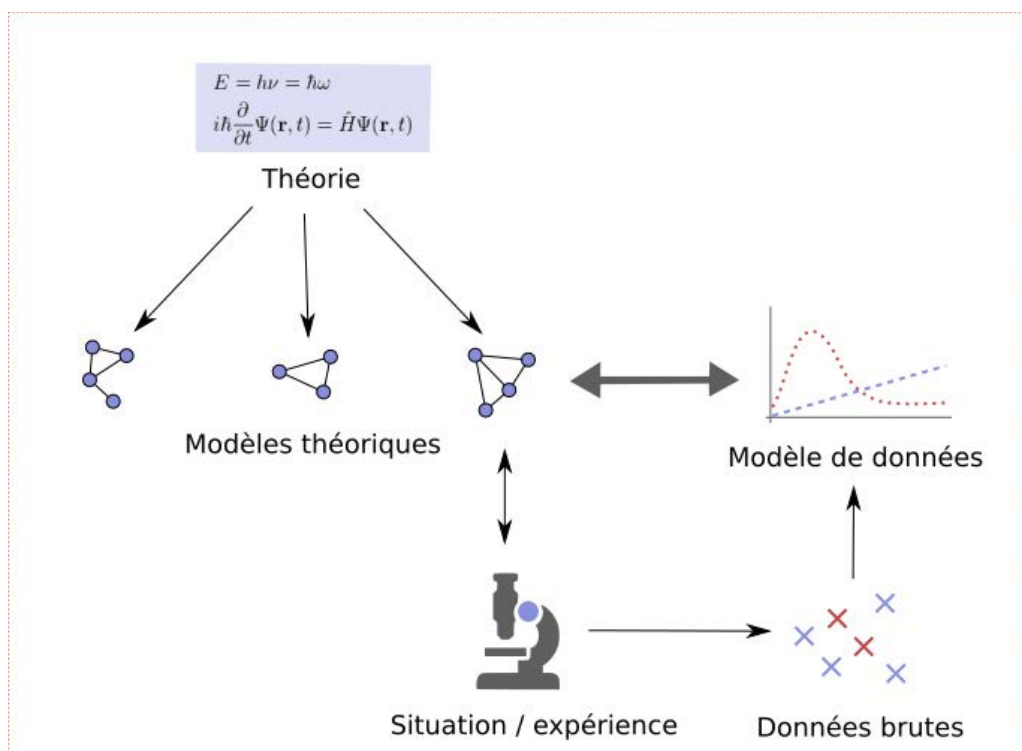


FIGURE 4.1 – La structure d’une théorie et sa confrontation à l’expérience

Si cette présentation se veut globalement neutre, se contentant la plupart du temps de synthétiser des éléments issus de la littérature, elle contient cependant certains partis pris qui marquent la direction prise dans le reste de notre travail. Le plus consensuel est sans doute l’accent mis sur le rôle central des modèles mathématiques dans la confrontation expérimentale. La principale conséquence à en tirer en est, selon nous, qu’une théorie physique ne doit pas être conçue comme ayant une unique application cosmique (l’univers dans son ensemble), mais comme s’appliquant à différentes situations par l’intermédiaire de différents modèles destinés à les représenter. Rien n’interdit d’imaginer qu’en principe une théorie puisse fournir un modèle de l’univers dans son ensemble, mais cette idée n’est pas requise pour comprendre comment les théories sont construites et utilisées, et nous défendrons dans le prochain chapitre qu’elle devrait être abandonnée. Nous mettrons également l’accent sur le rôle du langage, com-

(1989), ainsi que les entrées suivantes de la Stanford Encyclopedia of Philosophy : « The Structure of Scientific Theories », « Theoretical Terms in Science », « Models in Science », « Theory and Observation in Science », « Experiment in Physics ».

plémentaire selon nous vis-à-vis des modèles mathématiques, pour fixer le domaine d'application des théories et peut-être restreindre implicitement les modèles acceptables ou réguler la pratique expérimentale.³

En outre, notre objectif étant de nous intéresser à la représentation scientifique de manière abstraite, nous opterons pour une conception relativement idéalisée des théories scientifiques. On peut dire que ce chapitre est l'occasion de présenter en détail toutes les complications que nous choisirons d'ignorer ensuite (la multiplicité des formalismes, les idéalisations ...). Nous justifions dans la section 4.4 ce parti pris par une attitude empiriste, estimant que les écarts au schéma idéal n'ont lieu que quand les scientifiques sont assurés qu'ils ne font pas ou peu de différences sur le plan des prédictions empirique.

Enfin dans la section 4.5, nous proposons, sous un angle plus sémantique, une synthèse de la façon dont on concevra les théories scientifiques dans le reste de ce travail. Nous proposerons en particulier un principe d'indexicalité des théories scientifiques, suivant lequel les modèles d'une théorie ne font pas référence à des objets concrets, lieux ou instants particuliers du monde, mais acquièrent une référence uniquement en contexte, au moment de leur confrontation à l'expérience. Ce principe s'avérera essentiel dans l'argumentation des chapitres suivants. Il s'agit non pas de nier qu'une discipline comme la physique propose un certain nombre d'explications à des phénomènes particuliers, ou s'accompagne d'un certain nombre de faits relatifs à des objets concrets du monde, mais plutôt d'identifier la théorie elle-même (et l'ensemble de ses modèles) au cadre qui permet d'exprimer ces faits plutôt qu'à l'ensemble de ces faits. Nous terminerons par une analogie entre le fonctionnement du langage et celui des théories scientifiques.

En somme, nous proposons de concevoir les théories scientifiques comme des systèmes conceptuels abstraits confrontés à des situations concrètes par l'intermédiaire de modèles.

4.1 Le contenu théorique

Nous disions en introduction que nous concevrons les théories physiques à gros traits de la manière suivante : une théorie est constituée d'un contenu théorique permettant de construire des modèles destinés à

3. Pour une revue des débats concernant la nature des théories, et notamment la controverse entre conceptions syntaxiques et sémantiques, voir la section 1.3. Nous suivons ici dans les grandes lignes une conception pragmatiste qui intègre des éléments de chacune des deux autres approches.

représenter les situations d'un certain type, ces modèles pouvant ensuite être mis en correspondance avec des situations particulières en vue d'une confrontation empirique. Nous nous intéresserons dans cette première section au contenu théorique en lui-même.

Nous entendons par contenu théorique la façon dont une théorie peut être présentée de la manière la plus générale possible, c'est-à-dire sans avoir recours à des exemples particuliers d'application. On peut par exemple présenter la mécanique de Newton, dans un manuel de physique, sous la forme des trois lois de Newton. Si l'on veut aller un peu plus dans les détails (en ayant recours à des formulations plus modernes de cette théorie), on pourra faire appel à une présentation formelle de l'espace-temps newtonien et introduire les notions de corps solide et de position, puis de vitesse et d'accélération en utilisant le calcul différentiel. Ensuite on introduira la notion de masse, de vecteur de force, et on exposera les lois associées. Enfin on pourra donner quelques exemples de forces (comme la force gravitationnelle ou les forces de frottement) et éventuellement introduire d'autres notions utiles (l'énergie cinétique, la quantité de mouvement ...) ou certaines lois ou concepts spécifiques à des domaines d'application (par exemple l'équation de Navier-Stokes en mécanique des fluides⁴). Ce sont tous ces éléments qui nous permettront de construire des modèles. S'ils sont souvent introduits à travers des applications particulières, réelles ou idéalisées, qui permettent au novice de se familiariser avec eux, ils en sont conceptuellement indépendants, et nous pouvons considérer que ces éléments constituent le contenu proprement théorique de la théorie.

Nous pouvons donc identifier de manière schématique les éléments suivants dans la présentation générale d'une théorie :

Un vocabulaire théorique qui correspondra typiquement à des types d'objets ou de systèmes (« électron », « champ électromagnétique ») parfois caractérisés par des propriétés intrinsèques (« masse au repos », « charge électrique ») et des propriétés dynamiques correspondant à leurs degrés de liberté (« position », « moment cinétique »). Nous pouvons y ajouter des types d'interaction (« force ») et des propriétés relationnelles.

Un formalisme mathématique destiné à représenter certaines structures cadre, comme les variétés destinées à représenter l'espace-

4. L'existence de lois spécifiques à des domaines pose la question de la finesse de grain dans l'identification des théories : la mécanique des fluides est-elle une théorie à part entière ou une branche de la mécanique classique ? Certains auteurs proposent d'organiser les théories de manière hiérarchique (Sneed, 1971, par exemple). Nous éludons ici cette question étant donné qu'elle a relativement peu d'impact sur notre travail.

temps, ou les espaces de phase destinés à représenter l'état et les degrés de liberté de certains objets ou de systèmes physiques, ou encore des opérations sur ces objets mathématiques.

Des lois et règles que nous considérerons assimilables à des axiomes, qui associent les deux éléments précédents. Il s'agit typiquement des lois de la théorie : par exemple, l'équation de Schrödinger, les lois de Newton, la règle de Born. Elles sont exprimées dans le vocabulaire théorique (qui leur fournissent donc une interprétation) et utilisent le formalisme de la théorie. Elles font le lien entre vocabulaire et formalisme.

Nous le disions, il s'agit ici d'une taxonomie quelque peu schématique, et il est important de faire plusieurs remarques.

La première est qu'il peut exister plusieurs formalismes distincts pour une même théorie que les scientifiques jugent équivalents. C'est le cas par exemple de la théorie quantique, qui peut être formulée suivant le formalisme de Heisenberg sous forme de calcul matriciel, ou celui de Schrödinger par des fonctions d'onde évoluant dans un espace de configuration, ou encore de la mécanique newtonienne dans ses formulations lagrangienne ou hamiltonienne. Il existe des débats pour savoir en quoi consiste l'équivalence entre plusieurs formulations d'une même théorie⁵.

La seconde remarque est que les théories scientifiques ne sont généralement pas présentées et utilisées sous forme d'axiomes logiques, mais en utilisant directement un formalisme mathématique. Il est utile, à des fins d'analyse sémantique, d'imaginer que les théories peuvent en principe être logiquement axiomatisées (sans forcément se restreindre à la logique du premier ordre si l'on pense que la logique du second ordre est plus appropriée pour exprimer directement les concepts mathématiques) mais pour certaines d'entre elles, comme la théorie quantique des champs, il n'est pas certain qu'elles le soient⁶.

Cependant nous laisserons de côté ces aspects ici (nous fournissons quelques raisons de les ignorer en section 4.4 et renvoyons à la section 1.3 sur le débat entre conception sémantique et syntaxique des théories pour

5. Pour un exemple récent, voir Teh et Tsementzis (2016)

6. En effet les physiciens peuvent s'autoriser une utilisation du formalisme qui n'est pas parfaitement rigoureuse sur le plan logico-mathématique, et utilisent des techniques d'approximation de manière systématique dans la construction des modèles, en particulier les techniques de renormalisation en théorie quantique des champs. Les tentatives pour rendre cette théorie axiomatisable rencontrent des difficultés, et en tout cas le résultat se distingue de la théorie utilisée par les physiciens (les versions axiomatiques de la théorie des champs ne permettent pas de reproduire les théories appliquées empiriquement).

plus d'arguments). Nous considérerons que, dans les grandes lignes, une théorie physique s'apparente à un système axiomatique exprimé dans un langage théorique. Cette façon de concevoir les théories, bien que relativement schématique, sera suffisante pour nos besoins et n'aura pas d'impact important sur l'argumentation des chapitres qui vont suivre.

Nous pouvons ici faire quelques remarques supplémentaires sur le rôle que joue le vocabulaire théorique. C'est typiquement sur le plan du vocabulaire que se joue l'interprétation d'une théorie. C'est ce vocabulaire que les métaphysiciens réalistes pourront chercher à interpréter en termes de correspondance à la réalité : par exemple, en affirmant que la charge est une propriété naturelle, ou l'électron une classe naturelle d'objets individuels. Plusieurs ontologies pourront s'affronter (universaux, tropes, faisceaux, dispositions...). Les réalistes structuraux ontique pourront n'y voir que des outils heuristiques, servant d'ancrage aux scientifiques pour dévoiler la structure de la réalité. Les empiristes constructifs pourront n'y voir qu'une façon de parler hypothétique dans le but de construire des modèles empiriquement adéquats, et les instrumentalistes des « tickets d'inférence ».

Sans entrer dans ces débats, la question qu'on peut se poser est de savoir si l'interprétation que l'on fait du vocabulaire joue un rôle ou non quand il s'agit de construire des modèles et de les confronter à l'expérience. On pourrait penser que les termes théoriques jouent le rôle de simples labels, c'est-à-dire des noms dont le seul but est de désigner un emplacement reconnaissable de la structure théorique (dans la lignée de Ramsey ou de Carnap : voir la section 3.1). Ainsi certains auteurs proposent d'assimiler les axiomes de la théorie à des définitions implicites de ces termes théoriques⁷. S'il est possible, par exemple, d'affirmer que la masse newtonienne est une résistance à l'accélération, on peut y voir une simple explicitation intuitive du rôle que joue la masse vis-à-vis des autres propriétés de la théorie de Newton, ce rôle étant en fait exprimé de manière plus rigoureuse par les axiomes mathématiques de la théorie. Mais peut-être qu'une fois les axiomes de la théorie présentés, il n'y aurait rien de plus à dire à propos de la masse : utiliser un label quelconque pour dénoter cette propriété aurait aussi bien fait l'affaire. Autrement dit, seule la structure axiomatique de la théorie déterminerait la signification de son vocabulaire.

Remarquons cependant que si l'ensemble du vocabulaire d'une théorie physique était défini implicitement par les axiomes de cette théorie, alors une théorie physique serait assimilable à une théorie mathématique. Ses

7. Par exemple Giere (1991). Voir la section 1.1.1.

axiomes devraient être conçus comme étant analytiques : ils expriment des conventions linguistiques concernant l'utilisation des termes théoriques. Si l'on accepte la notion d'analyticité, ceci est contre-intuitif dans la mesure où l'on considère généralement qu'une théorie physique exprime un contenu synthétique (par exemple nomologique), c'est-à-dire qu'elle parle du monde. Par ailleurs on peut faire valoir que certains des termes théoriques au moins sont compris assez directement en relation à notre expérience quotidienne, ou au langage naturel. C'est par exemple le cas de la position qu'on associe à l'observation des objets dans l'espace. Si ce n'est pas le cas de la majeure partie des termes théoriques, nous pouvons au moins supposer qu'un lien à l'expérience est requis de manière ultime si ces concepts sont destinés à être appliqués empiriquement (nous y revenons section 4.4).

La question est en fait de savoir si la signification « remonte » de l'expérience vers la théorie (c'est-à-dire que les termes théoriques verraient leur signification fixée en vertu de la manière dont ils sont appliqués) ou si au contraire elle « descend » de la théorie vers l'expérience. Remarquons à ce sujet que la façon dont ces termes sont utilisés au sein de la théorie, notamment dans la construction de modèles, n'épuise pas leur signification ou leur rôle : ils servent aussi à identifier un domaine de l'expérience, et donc participent à fixer le domaine d'application de la théorie. Le terme d'électron, par exemple, n'est pas entièrement compris si l'on ne sait pas que l'électron est une particule microscopique qui constitue nos objets courants, et qu'on peut détecter de telle ou telle manière, par exemple si l'on pense qu'il faut utiliser un télescope pour en voir un. Or c'est bien le fait qu'elle s'applique à des domaines de l'expérience qui fait qu'une théorie physique est plus qu'une simple construction mathématique. Nous reviendrons sur cet aspect quand il sera question de la confrontation des modèles à la réalité, et de manière plus approfondie au chapitre 8.

Le vocabulaire, le formalisme et les lois de la théorie sont ce qui permet de construire des modèles théoriques. Nous nous tournons maintenant vers cet aspect.

4.2 La construction de modèles

Si une théorie est assimilable à un ensemble d'axiomes exprimés dans un vocabulaire théorique, il reste à savoir comment ces axiomes sont confrontés à la réalité expérimentale. Il est coutume aujourd'hui de considérer que les modèles jouent un rôle central en science, en particulier dans la confrontation empirique. C'est ce qui motive notamment ce qu'on appelle

la conception sémantique des théories (section 1.3).

Il existe plusieurs formes de modèles utilisés en science : par exemple des modèles d'échelle (une reproduction de l'ADN avec des boules en plastique), des modèles métaphoriques (le modèle de l'esprit comme ordinateur) ou encore des modèles de données, auxquels nous nous intéresserons plus tard. Tous ces modèles peuvent jouer un rôle, par exemple heuristique, dans l'activité scientifique. Ici cependant nous parlons de modèles théoriques, au sens de structures mathématiques construites à partir du contenu théorique, et destinées à représenter les systèmes ou situations physiques d'un certain type. Il s'agira par exemple d'un modèle mathématique de notre système solaire, représentant la trajectoire du soleil et des planètes dans l'espace, construit à partir des lois de la physique de Newton.

Ces modèles peuvent avoir plusieurs usages : ils peuvent être utilisés par exemple pour enseigner la théorie (l'étudiant construit des modèles pour se familiariser avec les concepts de la théorie). Ils peuvent servir à des expériences de pensée, ou à simplement imaginer d'hypothétiques conséquences d'une théorie en cours d'élaboration. Enfin, et c'est ce qui va nous intéresser ici, ils peuvent servir à représenter un système concret, par exemple un dispositif expérimental, en vue d'une confrontation empirique de la théorie.

Nous allons commencer par nous intéresser à ces modèles d'un point de vue mathématique abstrait, comme structures vérifiant les axiomes de la théorie. Ensuite nous nous intéresserons à leur mise en œuvre en physique de manière plus concrète, et notamment au fait qu'ils sont destinés à représenter les situations du monde d'un certain type, ce qui nous permettra d'identifier leurs principaux ingrédients.

4.2.1 *La théorie des modèles*

De manière schématique (nous adressons les complications un peu plus loin), si l'on part de l'idéalisation suivant laquelle une théorie scientifique peut être assimilée à un ensemble d'axiomes formulés dans un langage théorique, on peut alors adopter une définition précise de modèle développée par Tarski (voir la section 1.3 pour une présentation détaillée) : un modèle est une structure mathématique, c'est-à-dire un ensemble d'objets, de propriétés et relations, décrit généralement dans le langage de la théorie des ensembles. Ces éléments ne sont pas interprétés : les objets sont de pures entités mathématiques, et les propriétés et relations sont définies par leurs extensions : l'ensemble des objets auxquelles elles s'appliquent ou qu'elles relient. Cependant on peut leur associer un langage. Il s'agit

d'associer aux noms propres et prédicats du langage des objets et relations du modèle, c'est-à-dire de fixer l'extension, au sein du modèle, des termes de ce langage, ou encore de nommer certains éléments du modèle. Il est alors possible de formaliser une notion de satisfaction d'une théorie axiomatique : un modèle satisfait une théorie exprimée dans un langage formel s'il rend vrai l'ensemble des énoncés de cette théorie ; il est un « vérificateur de la théorie ».⁸

Cette façon abstraite de concevoir les modèles peut très bien s'appliquer de manière idéalisée aux théories scientifiques, et aux modèles construits par les physiciens. Pensons par exemple à un modèle du système solaire. On y trouvera des objets (les corps célestes, les points de l'espace-temps, les nombres réels...) et des propriétés et relations (la métrique de l'espace-temps, l'association d'une position à chaque corps en chaque instant...). Le modèle est associé à un langage théorique simplement parce que nous avons attribué des labels (« corps céleste », « position ») à ses objets et relations. De plus on peut dire qu'il s'agit d'un modèle de la théorie gravitationnelle de Newton dans la mesure où chacun de ses éléments, une fois interprété dans le langage théorique, vérifie les axiomes de la théorie : on pourrait vérifier, par exemple, que le vecteur d'accélération d'un corps multiplié par sa masse est égale à la somme des vecteurs de force appliqués à ce corps, ce en chaque instant, c'est-à-dire que la planète de notre modèle du système solaire vérifie la loi de Newton.

Cette façon de concevoir les modèles permet, en résumé, de formaliser mathématiquement la notion de vérité comme rapport de correspondance entre les énoncés d'un langage formel (notamment les axiomes et théorèmes) et une structure mathématique qui « rend ces énoncés vrais », et qu'on pourra penser, intuitivement, représenter directement un domaine de la réalité.

Appliquer cette conception des modèles aux théories scientifiques relève cependant de l'idéalisation, quand bien même on accepterait que les théories sont identifiables à des systèmes d'axiomes (c'est-à-dire même si l'on ignore les complications relevées dans la section précédente). La raison principale en est que les physiciens utilisent des techniques d'approximation, des idéalizations, ou parfois même combinent des théories

8. Dans un cadre mathématique, on dira qu'un modèle fournit une interprétation à la théorie : il spécifie le domaine visé, c'est-à-dire la structure mathématique dont parle la théorie. Cependant nous n'emploierons pas ce vocabulaire ici puisque nous nous intéressons aux théories physiques, et nous considérons que celles-ci n'ont pas pour objet de spécifier une unique structure mathématique, mais un ensemble de structures correspondant à des applications possibles.

différentes et formellement incompatibles au sein d'un même modèle. Par exemple, un modèle du système solaire pourra ignorer les influences gravitationnelles des planètes entre elles, jugées négligeables, ou encore certains modèles utilisent la théorie de Newton pour représenter l'environnement d'un système, mais le système lui-même sera décrit à l'aide de la mécanique quantique. De même certains modèles en cosmologie combinent physique de Newton et physique relativiste. De ce fait les modèles utilisés en pratique ne sont généralement pas, à strictement parler, des modèles de la théorie. Un modèle du système solaire qui néglige l'influence gravitationnelle des planètes les unes sur les autres n'est pas à proprement parler un modèle de la théorie de Newton puisqu'il ne vérifie pas ses lois.

Reste que cette façon de concevoir les choses a son utilité, en ce qu'elle permet d'associer à une théorie un ensemble de modèles qui lui correspondent. Nous justifions dans la section 4.4 le choix d'ignorer ces complications.

Un intérêt supplémentaire de la théorie des modèles est qu'elle permet de formaliser les modalités : on pourra considérer qu'un énoncé du langage théorique est nécessaire s'il est « vrai dans tous les modèles », et qu'il est possible s'il est « vrai dans au moins un modèle ». Ceci revient à adopter une sémantique des mondes possibles pour les modalités, et à assimiler chaque modèle de la théorie à la description d'un monde possible⁹. Bien sûr cette formalisation ne nous engage pas sur l'interprétation qu'il convient de faire de ces modalités¹⁰.

Remarquons, pour finir, qu'il peut y avoir confusion sur le plan terminologique, car la plupart de ce que les scientifiques et certains philosophes appellent « modèle » (par exemple : le modèle de l'atome d'hydrogène, l'oscillateur harmonique, le modèle d'une expérience de type EPR) ne sont pas des modèles en ce sens logico-mathématique, mais plutôt des classes de modèles. Il s'agit en effet de modèles paramétrables, au sein desquels les conditions initiales des systèmes décrits, ou d'autres paramètres, ne seront pas spécifiées, mais remplacés par des variables. Il est également possible de faire abstraction de systèmes de coordonnées particuliers ou des variables

9. C'est le système S5 qui est utilisé : tous les mondes possibles sont accessibles les uns aux autres.

10. Si l'on est réaliste, on les interprétera assez naturellement comme des modalités physiques, puisqu'elles expriment ce qui est nécessairement le cas si la théorie physique est vraie. On peut aussi y voir des modalités conceptuelles si l'on pense que les axiomes sont des définitions implicites des termes théoriques (au moins certains d'entre eux) : elles exprimeraient l'intension de ces termes au sens de Carnap, c'est-à-dire une nécessité de l'ordre de la convention linguistique. Nous aurons l'occasion de revenir sur les questions relatives à l'interprétation des modalités dans la suite de ce travail.

de jauge (par exemple, le fait de fixer un point ayant un potentiel électrique nul) : considérant que le choix d'un système de coordonnées ou d'une jauge est arbitraire, on s'intéressera à la structure abstraite des modèles qui ne dépend pas de ce type de choix. On peut dire que les modèles abstraits ainsi obtenus correspondent à un ensemble de modèles (au sens de Tarski défini ici), chacun des modèles de cet ensemble instanciant des conditions initiales possible, des paramètres possibles pour le système et un système de coordonnées particulier ou une jauge particulière. Ce que les scientifiques appellent le modèle du pendule idéal, qui décrit le mouvement d'oscillation d'un corps massif attaché à un fil, correspondrait en fait à la classe de tous les modèles de pendules idéaux pour toutes les longueurs de fil et toutes les masses possibles.

Ce point terminologique n'est pas fortement problématique pour notre propos, dans la mesure où l'on peut penser qu'au moment d'une confrontation empirique, tous les paramètres d'un modèle doivent être spécifiés (au moins sous forme d'une répartition de probabilités), y compris le système de coordonnées ou la jauge (qui seront associés à des points de référence pour interpréter le résultat des appareils de mesure), et ce sont donc bien des modèles au sens de Tarski (ou une répartition de probabilités sur eux) qui seront confrontés à l'expérience.

Afin de lever cette ambiguïté, nous parlerons dans le reste de cette étude de « modèle » ou de « modèle théorique » à propos des modèles au sens de Tarski, et de « modèle abstrait » ou de « classe de modèles » à propos des modèles paramétrables dont parlent couramment les scientifiques, et que nous invoquerons plus en détail dans la partie III de notre travail consacrée à l'interprétation métaphysique des théories.

4.2.2 *Les ingrédients d'un modèle théorique*

Nous pouvons donc comprendre les modèles des théories, au sens logico-mathématique, comme des structures mathématiques décrites à l'aide du vocabulaire de la théorie, et qui vérifient les axiomes de la théorie (ignorant les complications relevées précédemment). Mais cette façon de voir les choses est sans doute insuffisante, car elle occulte un aspect essentiel des modèles, qui est que leur fonction est de représenter les systèmes ou les situations physiques concrètes d'un certain type. Les physiciens ne construisent pas leurs modèles dans le seul but qu'ils vérifient les axiomes de la théorie : ils construisent des modèles particuliers, qui ont pour intérêt principal d'être candidats à la représentation de certains domaines de la réalité. Il est fort possible qu'un grand nombre de modèles d'une théorie

au sens strict seraient jugés « non physiques » par les physiciens, parce qu'il s'agit de simples abstractions ne pouvant correspondre selon eux à rien de réel (on peut penser par exemple aux modèles d'univers de Gödel, qui vérifient les lois de la relativité mais ne sont pas des modèles de *notre* univers).

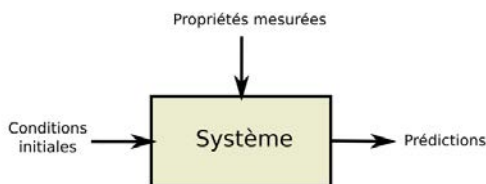


FIGURE 4.2 – Représentation des ingrédients d'un modèle théorique

Il nous faut donc en dire un peu plus. Nous prendrons comme cas paradigmatique les modèles dynamiques issus de la mécanique classique (newtonienne, lagrangienne ou hamiltonienne) et de la mécanique quantique. Il nous semble qu'on peut identifier les ingrédients suivants dans la construction d'un modèle qui vise à représenter les situations concrètes d'un certain type (voir figure 4.2) :

Le type de système par exemple, un électron dans un champ électromagnétique, ou un système composite de deux électrons en interaction. Il s'agira typiquement de spécifier les degrés de liberté du système (ses propriétés dynamiques, par exemple la position pour chaque électron, dans un système de coordonnées particulier), les valeurs de certains paramètres invariants qu'on associe à ce type de système (les valeurs de ses propriétés intrinsèques, par exemple celle de la charge de l'électron) et les différentes interactions, qu'elles soient internes au système (dans le cas de systèmes composites, l'interaction entre les différentes composantes du système) ou entre le système et son environnement (un champ électromagnétique, un potentiel de gravitation, ou l'indication qu'il s'agit d'un système isolé). Ces aspects permettent de spécifier un espace des phases et une dynamique pour le système. On peut également y inclure certaines hypothèses concernant les conditions aux bornes des états possibles du système.

Les conditions initiales du système ou une répartition de probabilités sur ses conditions initiales possibles, exprimés en termes des

degrés de liberté du système (une valeur pour la position de chaque électron à l'instant initial dans un système de coordonnées particulier).

Les propriétés mesurées qui correspondront typiquement à un ou plusieurs des degrés de liberté du système, ou à une propriété agrégeant plusieurs degrés de libertés (par exemple, la valeur moyenne de l'énergie cinétique en physique statistique). Elles sont éventuellement indexées dans le temps (le moment de la mesure). Cet ingrédient intervient de manière cruciale dans le cas de la mécanique quantique, mais joue un rôle moindre dans d'autres théories.

Ces éléments constituent les entrées d'un modèle. La sortie d'un modèle est constitué de ses prédictions :

Les prédictions correspondent à des valeurs pour les propriétés mesurées, ou à une répartition de probabilités sur des valeurs possibles.

De manière schématique, chacun des éléments en entrée pourra être formalisé dans la théorie par une structure mathématique qui sera une partie du modèle final. Ces structures sont les ingrédients de base du modèle. En appliquant ensuite les axiomes de la théorie à ces ingrédients de base, on est capable de construire un modèle complet : typiquement, les lois de la théorie permettent de dériver l'évolution de l'état du système au cours du temps à partir de ses conditions initiales, et l'état du système à un instant donné permet de connaître les valeurs pour les propriétés mesurées, c'est-à-dire les prédictions du modèle.

À titre d'exemple, en mécanique quantique non relativiste, le type de système sera formalisé par un espace de Hilbert et par un hamiltonien, les conditions initiales par un vecteur ou une matrice densité dans l'espace de Hilbert, et les propriétés mesurées par un opérateur ou une combinaison d'opérateurs sur l'espace de Hilbert. Les prédictions seront des probabilités pour les valeurs propres de ces opérateurs calculées à partir de la règle de Born.

Certains auteurs, comme Suppe (1972) ou van Fraassen (1989, ch. 9), conçoivent les modèles de manière assez précise comme la définition d'espaces de phases, de contraintes aux bornes et de trajectoires sur ces espaces de phases, ou encore comme des transitions entre états. Cette façon de voir les choses n'est pas incompatible avec ce qui est présenté ici, si ce n'est qu'elle n'intègre pas les propriétés mesurées (voir plus bas pour une justification). Notre présentation, moins spécifique, s'avérera plus souple pour intégrer certains modèles qui ne prennent pas cette forme, comme ceux des histoires consistantes en mécanique quantique.

De nouveau plusieurs observations s'imposent.

Premièrement, remarquons qu'il existe une certaine latitude dans ce que l'on considère ou non être un modèle de la théorie, et dans les ingrédients à prendre en compte. Différentes axiomatisations d'une même théorie donneront lieu à des modèles différents. Par ailleurs, si l'on est d'inclination réaliste, on pourrait être tenté de placer le troisième aspect, les propriétés mesurées, hors de nos modèles pour le reléguer à ce qui concerne la vérification expérimentale. On pourra arguer que le système décrit est indépendant de ce qu'on observe de lui. Il s'agit déjà d'une interprétation du rôle que jouent les modèles ou la représentation en général (une description de ce qui existe indépendamment de nos observations) qui ne va pas nécessairement de soi. Au contraire, on pourra faire valoir que la règle de Born en mécanique quantique (qui, rappelons-le, permet de dériver les probabilités de mesure à partir de cet ingrédient, les propriétés mesurées) joue un rôle suffisamment systématique pour être considérée comme un axiome de la théorie à appliquer dès la construction de modèles, ce qui nécessite de leur intégrer cet ingrédient supplémentaire que sont les propriétés mesurées. Ces questions joueront un rôle crucial quand il s'agira de se questionner sur l'interprétation métaphysique des théories, puisque les modèles sont des candidats naturels à la représentation de la réalité, mais nous pouvons mettre ces questions de côté pour l'instant en prenant pour parti d'intégrer le maximum d'éléments systématiques au sein des modèles, quitte à les abstraire dans un second temps pour s'intéresser à des classes de modèles.

Une deuxième remarque concerne la façon dont sont construits les modèles. Il est important de remarquer qu'en plus de ces ingrédients pourront intervenir des hypothèses auxiliaires propres au domaine représenté, qui peuvent être issues d'une connaissance préalable de ce domaine (des lois d'observation, la mesure de certains paramètres qui ne sont pas calculables théoriquement, des idéalizations raisonnables comme celles utilisées en mécanique statistique ...) ou encore des règles tacites générales à la théorie mais qui ne sont pas nécessairement rendues explicites par ses axiomes. Un exemple est l'exclusion des ondes avancées en mécanique quantique (du moins dans la plupart des interprétations) : on considère implicitement, lors de la construction du modèle, qu'il n'existe pas d'ondes « remontant le temps » (ou ondes avancées), et on exclut donc un ensemble de solutions possibles aux équations de la théorie (c'est-à-dire de modèles possibles).

Il n'est pas exclu que la signification attribuée aux termes théoriques ou l'interprétation de la théorie en général joue parfois le rôle de règle implicite dans la construction des modèles, ou du moins permette d'inférer ces règles,

et amène les scientifiques à considérer que certains modèles ne sont pas de véritables modèles physiques¹¹. Il s'agit donc, outre la fixation du domaine d'application de la théorie, d'un second rôle que peut potentiellement jouer le langage : celui de restreindre implicitement la classe des modèles acceptables. Examiner si l'interprétation du vocabulaire joue effectivement ce rôle de restriction implicite des modèles acceptables demanderait une analyse plus poussée qui dépasse notre cadre. Remarquons que si c'est le cas, on peut légitimement se demander si cette interprétation ne devrait pas être alors formalisée explicitement sous forme d'axiomes (qui, cette fois, joueraient clairement le rôle de définitions implicites de ces termes).¹²

En résumé, les modèles sont des structures qui représentent les situations expérimentales ou les systèmes d'un certain type en spécifiant leurs degrés de liberté, leurs conditions initiales et ce qui est mesuré sur ces systèmes. Les modèles acceptables et leurs prédictions sont contraints par le contenu théorique. Reste à associer chacun de ces éléments à des aspects concrets de l'expérience en vue d'une confrontation empirique : c'est ce qui va nous intéresser dans la section suivante.

4.3 La confrontation à l'expérience

Nous avons analysé le contenu des théories sur les deux premiers niveaux identifiés au début de cette section : le contenu théorique et les modèles de la théorie. Une théorie peut être assimilée à un système axiomatique permettant de construire des modèles, à savoir des structures exprimées dans le langage théorique et destinées à représenter les situations du monde d'un certain type. Il nous reste à analyser le troisième

11. Dans le cas des ondes avancées, ce serait l'interprétation de « temps » qui jouerait ce rôle, mais il paraîtra peut-être douteux à certains que la direction du temps en soit un aspect analytique, notamment si l'on tente de l'expliquer par une hypothèse du passé (la direction du temps s'expliquerait par une asymétrie dans les conditions aux bornes de l'univers). Dans ce cas, ce serait plutôt une hypothèse auxiliaire propre à notre situation dans l'univers qui nous permettrait d'éliminer les ondes avancées. Reste que le statut des hypothèses d'ordre factuel portant sur l'univers dans son ensemble, et la manière dont on les distingue des lois de la théorie, n'est pas si évident : nous aurons l'occasion d'y revenir dans les chapitres suivants.

12. Le problème semble analogue à celui, en mathématique, de l'exclusion des modèles non standards d'une théorie axiomatisée comme l'arithmétique. On pourrait alors se demander si une explicitation systématique sous forme d'axiomes est toujours possible. Cependant, dans un cadre mathématique, le problème se pose pour la logique du premier ordre, mais rien n'empêche d'envisager que les théories scientifiques sont mieux exprimées dans une logique du second ordre.

niveau, à savoir la façon dont les modèles de la théorie sont effectivement confrontés à l'expérience. Comme pour les niveaux précédents, nous commencerons par proposer une analyse relativement schématique avant de noter les complications qui peuvent avoir lieu.

La confrontation d'un modèle à l'expérience peut servir plusieurs buts : par exemple, développer une technique, chercher à expliquer des phénomènes particuliers ou tester une hypothèse générale. C'est le succès de cette confrontation (quel que soit son but) qui nous indique qu'une théorie est empiriquement adéquate.

4.3.1 *Mise en correspondance des modèles et comparaison aux données*

On peut résumer de manière schématique la confrontation d'un modèle à l'expérience à travers les étapes suivantes (de nouveau, nous évoquerons les complications ensuite) :

Mise en correspondance du modèle à une situation concrète particulière :

il s'agit de décrire, à la suite de manipulations et d'observations, que le modèle s'appliquera à une situation, par exemple à un dispositif expérimental, en identifiant les différents ingrédients du modèle spécifiés plus haut à certains aspects de la situation :

- reconnaître que la situation est du bon type (il s'agit bien, par exemple, d'un électron en interaction avec un champ électromagnétique, préparé dans telles conditions initiales, sur lequel on fera telles mesures).
- « orienter » le modèle, c'est-à-dire associer les degrés de liberté du système décrit dans un système de coordonnées particulier à un référentiel concret (une position et une orientation de référence dans le laboratoire, un instant initial indiqué par une horloge).
- associer les propriétés mesurées spécifiées dans le modèle aux appareils de mesure correspondants.

Construction d'un modèle de donnée : il s'agit de construire, à partir des observations faites en situation, un modèle (une structure mathématique) exprimé dans une partie du langage de la théorie, en particulier le vocabulaire qui correspond aux degrés de liberté mesurables.¹³

13. Notons que ce modèle de donnée, s'il utilise le même langage, n'est pas un modèle de la théorie au sens décrit section 4.2.1 : il ne spécifie que les propriétés mesurées et pas les propriétés intrinsèques ni l'ensemble du formalisme mathématique, et il n'est donc

- extraire d'une expérience ou d'une séquence d'expériences certaines données brutes mesurées
- sur la base de la mise en correspondance décrite ci-dessus, construire à partir de ces données brutes un modèle de données

Comparaison des modèles : on vérifie que le modèle de données correspond aux prédictions du modèle théorique.

Il s'agit en somme de s'assurer que le modèle se destine bien à représenter les situations du type que nous rencontrons, de l'« orienter » correctement par rapport à cette situation particulière, puis d'extraire de cette situation une structure qui soit directement comparable aux prédictions du modèle.

Notons au passage que l'expérimentation implique de gérer des mesures imparfaites, sur lesquelles il existe une marge d'erreur, ce qui implique d'utiliser des modèles probabilistes (qu'on pourrait assimiler à une répartition de probabilité sur plusieurs modèles ne différant, par exemple, que par leurs conditions initiales). De plus les théories peuvent elles-mêmes ne fournir que des prédictions probabilistes. Pour tester des prédictions probabilistes, on confronte généralement le modèle non pas à une expérience unique, mais à une séquence d'expériences identiques, et on procède à une analyse statistique sur les fréquences de résultats obtenus pour s'assurer que la probabilité que les prédictions du modèle soient bonnes est forte. C'est une des raisons pour laquelle le modèle de données se distingue des données brutes : le modèle de donnée peut être construit par un traitement statistique des données brutes.

4.3.2 *Aspects contextuels de l'expérimentation*

La présentation qui est faite pourrait laisser penser que modèles théoriques et situations concrètes sont simplement mis en relation quand on observe une correspondance entre les deux, mais remarquons que les choses sont plus intriquées. Cette mise en correspondance résulte plutôt d'un ajustement mutuel : il s'agit autant d'observer que de manipuler la situation. D'une part une situation expérimentale peut être créée spécifiquement dans le but de se voir appliquer un (type de) modèle d'intérêt (comme on a pu mettre en place des expériences de type EPR pour tester la mécanique quantique), ou au contraire le modèle peut être créé en vue de représenter une situation naturelle pré-existante. Mais même quand il s'agit d'étudier

pas tenu de vérifier les lois de la théorie (pas même de pouvoir être étendu en un modèle vérifiant les lois de la théorie : une expérience peut en principe réfuter la théorie).

un phénomène naturel que nous ne produisons pas délibérément en vue d'une expérience (par exemple les influx nerveux d'un organisme), on ne se contentera pas toujours d'observations : on pourra mettre en place un protocole d'intervention visant, par exemple, à contrôler certains paramètres. De manière générale, la mise en correspondance de nos instruments de mesures avec certains aspects d'un modèle est fonctionnelle : les instruments de mesure servent un but dans une expérience plutôt qu'ils ne sont simplement décrits ou observés (Radder, 2003, ch. 4). À l'inverse, même quand une expérience est créée de toute pièce en vue de tester un type de modèle particulier de la théorie, rien n'exclut que le modèle lui-même soit ajusté en fonction de mesures faites en situation, par exemple à l'issue d'un calibrage. Il n'est pas donc nécessaire, de notre point de vue, de penser qu'il existe une dichotomie stricte entre les phénomènes naturels (qui seraient ceux pour lesquels le modèle est ajusté à la situation) et les phénomènes créés artificiellement (où ce serait l'inverse). En bref, le modèle informe la situation et la situation informe le modèle, et leur mise en correspondance résulte d'un ajustement mutuel.

Par ailleurs, on remarquera que la mise en correspondance du modèle et de la situation expérimentale, puis la construction du modèle de données à partir de l'expérience, reposent sur diverses connaissances : des hypothèses et théories auxiliaires, concernant par exemple le fonctionnement des appareils (comme on peut avoir recours à la théorie de dilatation des liquides pour faire correspondre l'affichage sur un thermomètre à la température mesurée), un savoir tacite issu de la pratique expérimentale (on élimine un résultat aberrant en reconnaissant la marque d'un dysfonctionnement assez fréquent...), ou encore des techniques mathématiques de traitement des données (régression...) pour extraire une information pertinente et éliminer les interférences possibles (le « bruit »).

Ces aspects sont d'autant plus prégnants qu'une théorie s'intéresse à un domaine éloigné de l'expérience. Les tests empiriques des théories physiques contemporaines comme ceux effectués dans les accélérateurs de particule sont d'une complexité difficilement imaginable et nécessitent un appareillage et des traitements informatiques extrêmement importants, ce qui multiplie les étapes nécessaires pour parvenir à enfin comparer les résultats d'une expérience à un modèle. On est très loin de l'observation directe du phénomène.

Notons par ailleurs que l'identification du modèle et de la situation n'est pas forcément parfaite. Un modèle peut être idéalisé (même s'il respecte les lois de la théorie), la situation peut être « caricaturée », certains facteurs peuvent être ignorés (comme les frottements de l'air et l'élasticité du fil

pour le modèle d'un pendule). On peut considérer que les idéalizations jugées légitimes sont elles-mêmes issues d'une connaissance, tacite ou théorique, du domaine d'expérience auquel on applique le modèle.

Enfin tous ces aspects sont très contextuels. Les techniques expérimentales peuvent évoluer indépendamment de la théorie. Les facteurs pouvant impacter les données expérimentales brutes sont multiples, et parfois spécifiques aux instances particulières d'expériences (une autoroute à proximité du laboratoire pourra perturber certains appareils sensibles), ce qui rend les données brutes issues d'une expérience particulière généralement impropre à tester la théorie. Les données ne sont utilisables qu'à l'issue d'un traitement. Pour cette raison, les observations expérimentales à proprement parler sont mieux conçues comme indépendantes des procédures qui permettent de les acquérir si l'on veut leur faire jouer un rôle systématique dans la confrontation expérimentale. C'est le rôle du modèle de données que de synthétiser ces observations expérimentales en s'abstrayant du contexte. On parle parfois, dans la littérature, de « phénomène » à propos des observations expérimentales telles qu'elles apparaissent dans le modèle de données, par opposition aux « apparences », qui sont les données brutes ayant servi à construire ce modèle de données. Les prédictions empiriques de la théorie correspondent alors aux phénomènes, non aux apparences (Bogen et Woodward, 1988).

Tout ceci fait que la façon dont un modèle est associé à une situation, et la façon dont les données utilisables sont obtenues au cours d'une expérience, sont difficilement systématisables. Il n'est pas vraiment envisageable d'assimiler tous ces aspects à des règles de correspondance comme le proposaient les empiristes logiques (voir chapitre 1), qui traduiraient un langage d'observation théoriquement neutre en un langage théorique – ce d'autant plus que l'idée d'une distinction stricte entre deux langages peut paraître douteuse (il existe des termes mixtes, des observations exprimées en langage théorique...). Il faut donc plutôt y voir une transcription directe de l'expérience, c'est-à-dire des actions et observations réalisées, en langage théorique. Cette transcription de l'expérience dans un langage repose sur de nombreux éléments disparates : un savoir pratique (une certaine compétence de la part de l'expérimentateur), des connaissances théoriques d'arrière-plan, une interprétation du vocabulaire théorique, éventuellement en relation avec le langage naturel, des hypothèses auxiliaires, des croyances implicites, et bien évidemment de manière ultime des processus naturels comme la perception.

Nous ne nous intéresserons pas outre mesure dans ce travail à tous ces aspects pratiques. Nous considérerons simplement que tous les processus

hétérogènes qui participent à la transcription de l'expérience en langage théorique (que nous considérerons de manière indifférenciée comme une « boîte noire ») sont fiables : ils sont l'objet de consensus, y compris pour des scientifiques travaillant dans des « paradigmes différents », si bien que les observations expérimentales constituent une base robuste pour tester les théories ou comparer les théories entre elles (voir la section 4.4). Nous justifions brièvement ce parti pris dans la section qui suit par quelques références issues de la philosophie de l'expérimentation.

4.3.3 *Le rôle du langage*

Terminons par quelques remarques sur le rôle du langage. C'est à ce stade de la mise en correspondance du modèle avec une situation concrète, pourrait-on dire, que le vocabulaire théorique est véritablement interprété en relation avec le monde, et non seulement de par la structure interne de la théorie. Ceci demande d'associer plus au terme « électron » qu'un emplacement dans la structure de la théorie. On « sait » que des électrons composent la matière qui nous entoure, qu'ils sont impliqués dans les réactions chimiques ou les phénomènes électriques que nous observons à l'œil nu, qu'on peut en produire de telle ou telle façon (avec tel type d'appareil)... En bref, le vocabulaire de la théorie s'insère dans un schème conceptuel plus large. C'est ce qui nous permet de savoir qu'un modèle représente bien une situation expérimentale, et d'extraire un modèle de données comparable aux prédictions du modèle théorique à partir de cette situation. C'est donc à ce stade que l'interprétation du vocabulaire (savoir que les électrons constituent nos matériaux, interpréter la position...) vient fixer le domaine d'application de la théorie, même si, comme nous venons de le remarquer, l'interprétation du vocabulaire théorique n'est pas le seul élément à prendre en compte, et même si la façon dont il intervient dans la mise en correspondance de la théorie à l'expérience n'est pas forcément systématisable.

Il est possible qu'outre la simple fixation du domaine d'application, le langage joue un rôle de régulation de la manière dont une expérience est mise en œuvre à partir d'un modèle de l'expérience. Ce peut être le cas par exemple de l'interprétation commune qui est faite des probabilités et peut-être d'autres concepts de sens commun relativement abstraits, et non spécifiques à des domaines d'expérience particuliers, mais qui sont toutefois utilisés par la théorie, par exemple l'espace et le temps. En effet, on peut douter que la signification intuitive que nous attribuons aux termes d'espace, de temps et de probabilité nous servent à fixer le domaine d'ap-

plication de nos théories à la manière dont le terme « électron » indique qu'une expérience portera sur certains constituants microscopiques postulés par nos théories, et impliquera l'utilisation de tel ou tel appareil. Pour autant il s'agit bien dans les deux cas de transcription de notre expérience en langage théorique et inversement (la façon dont l'expérimentateur interprète « électron » l'amène à effectuer certaines manipulations, tout comme la façon dont il interprète les probabilités pourra l'amener à effectuer une séquence de plusieurs expériences), et puisque nous ne nous intéressons pas ici à l'interprétation de ces concepts particuliers, ni à la philosophie de l'expérimentation, nous ne pousserons pas plus loin notre analyse.

4.4 Peut-on ignorer les complications? L'attitude empiriste

L'image qui se dégage de ces analyses est la suivante : une théorie s'apparente à un système axiomatique qui permet de construire des modèles destinés à représenter les situations d'un certain type. Ces modèles sont mis en correspondance avec des situations concrètes, et leurs prédictions sont comparées aux données extraites de ces situations sous forme de modèles de données.

Toutefois nous avons repéré, au cours de cette présentation, différentes complications qui pourraient nous amener à penser que cette vision des théories scientifiques est trop schématique. À plusieurs reprises nous avons indiqué que nous ignorerons ces complications. Nous pouvons maintenant brièvement justifier ce parti pris. De manière générale, nous estimons que la vision schématique présentée ici constitue en quelque sorte un idéal régulateur, et que les différentes pratiques qui nous éloignent de cet idéal sont faites en connaissance de cause, c'est-à-dire avec la conviction que nous obtiendrions des résultats similaires en termes de prédictions si l'on pouvait s'approcher du cas idéal.

4.4.1 Multiplicité des formalismes et idéalizations

Une première complication au niveau du contenu théorique concernait le fait qu'une théorie peut recevoir plusieurs formalisations différentes jugées équivalentes. On peut se questionner sur cette notion d'équivalence sur le plan formel, mais une façon intuitive de l'exprimer est la suivante : nous avons de bonnes raisons de penser que deux formulations appliquées aux mêmes situations produiraient les mêmes prédictions concernant toutes

les mesures qu'on pourrait faire en principe sur cette situation, ce quelles que soient les situations concevables, et donc elles sont équivalentes¹⁴. On peut être peu satisfait que cette équivalence soit simplement empirique, puisqu'elle concerne ultimement les prédictions (ce qui risque de poser problème pour le réalisme), mais que deux systèmes conceptuels fassent les mêmes prédictions dans toutes les situations *concevables*¹⁵ indique une parenté de structure assez forte qui peut laisser penser qu'au final nous « parlons toujours de la même chose ». En effet il ne s'agit pas de constater à l'issue d'expériences que les deux formalismes font les mêmes prédictions : nous pouvons le savoir a priori. L'équivalence est donc analytique, quand bien même l'étalon de cette équivalence, ce sont les prédictions. On peut donc dire que de considérer un formalisme ou l'autre ne fait pas de différence, qu'il s'agit d'un choix conventionnel ou pratique, et que quelle que soit l'axiomatisation choisie, nous restons dans le cas idéal présenté ici. C'est le cas dans le cadre strict de la vérification expérimentale, qui est celui qui nous intéresse ici : il se peut que différents formalismes guident des inférences différentes pour la formulation de nouvelles hypothèses (Vorms, 2011, ch. 1), mais c'est uniquement la justification empirique de ces hypothèses qui nous intéresse ici. Tout au plus cela pose la question, dans une optique d'interprétation métaphysique, de savoir quel est le « bon » formalisme, celui qu'il faut interpréter.

Le même type d'argument peut être avancé pour répondre au problème de la latitude concernant ce qui constitue ou non le modèle d'une théorie, et les ingrédients à y intégrer. Dans la mesure où cela ne fait pas de différence au moment ultime de la confrontation des prédictions à l'expérience, il est légitime d'affirmer que cela relève d'un choix conventionnel, et les problèmes ne se posent qu'au moment d'interpréter métaphysiquement la théorie.

Une complication plus sérieuse pourrait être le fait que certaines théories ne sont pas du tout axiomatisées ni forcément axiomatisables, comme

14. À noter que cette notion d'équivalence suppose une forme de commensurabilité entre les formalismes qui ne doit pas reposer sur la façon dont les modèles sont associés en pratique aux situations concrètes (sinon elle ne serait pas a priori puisque cette pratique peut évoluer indépendamment des théories). Généralement les degrés de liberté comme la position sont identifiés d'une axiomatisation à l'autre. Autrement dit les formalismes partagent un vocabulaire commun. Notons par ailleurs que certaines formalisations ont un domaine d'application plus large que d'autres, par exemple la mécanique newtonienne, qui permet d'exprimer des forces de frottement, quand la mécanique lagrangienne ne le permet pas. Les formalisations sont empiriquement équivalentes sur leur domaine d'application commun.

15. au moins sur le domaine d'application commun

la théorie quantique des champs (en tout cas, la version que les physiciens utilisent). Toutefois on peut considérer que disposer d'une théorie axiomatisable reste un desiderata important dans la pratique scientifique, et remarquer qu'une théorie non axiomatisable est généralement considérée par les physiciens comme l'approximation d'une théorie axiomatisable qui reste à déterminer (la théorie quantique des champs est ainsi généralement qualifiée de « théorie effective ». Voir également les arguments section 1.3).

Quand bien même on ne serait pas convaincu qu'il s'agit là d'autre chose que d'un acte de foi, notons que l'exigence d'avoir une théorie strictement axiomatisable ne jouera pas de rôle important dans les développements de notre travail : tout au plus nous devons envisager que nos théories disposent de certains principes systématiques unificateurs permettant de délimiter assez clairement l'ensemble des modèles de la théorie, et la façon dont ces modèles sont liés les uns aux autres.

Outre la question de la multiplicité des formulations d'une théorie ou d'un modèle se pose la question des idéalizations, que ce soit au niveau des modèles (qui ne respectent pas toujours strictement les lois de la théorie) ou au niveau de la confrontation expérimentale (où la situation peut être « caricaturée »). On ignorera par exemple les influences gravitationnelles des planètes entre elles, les frottements, on utilisera des techniques mathématiques d'approximation, ou encore on mélangera plusieurs théories formellement incompatibles au sein d'un même modèle. En vertu de ces idéalizations, les modèles utilisés peuvent ne pas être des modèles de la théorie au sens de Tarski décrit plus haut, ou ils peuvent ne pas être parfaitement identifiables aux situations concrètes qu'ils représentent.

Cependant on peut envisager que ces modèles idéalisés sont destinés à « mimer » ce qui serait un véritable modèle de la théorie (ou de la situation), et que nous pouvons avoir confiance en le fait que les mêmes prédictions empiriques, ou des prédictions proches, seraient obtenues par de véritables modèles. Autrement dit, il s'agit d'un cas de substitution légitime (ou du moins jugé comme tel par les scientifiques) qui sert à simplifier la pratique, étant assurés qu'on pourrait en principe obtenir les mêmes résultats de manière plus rigoureuse si nous disposions de plus de ressources, voire de ressources illimitées.

Dans le cas où plusieurs théories sont utilisées, par exemple la mécanique de Newton et la mécanique quantique, l'idée serait que la mécanique de Newton fait de bonnes prédictions dans le domaine où on l'applique, donc des prédictions similaires à celles que feraient une théorie plus fondamentale trop complexe à appliquer. Elle constitue donc encore une fois un substitut légitime à une description plus complète si l'étalon reste les

prédictions (et dans ce cas la question du « bon formalisme » ne se pose pas : il s'agit de celui de la théorie la plus fondamentale).

Dans tous les cas, que ce soit à propos de la multiplicité des formalismes ou à propos des idéalizations, ce qui permet de considérer que ces complications peuvent être ignorées est une attitude empiriste consistant à faire des prédictions de la théorie l'étalon ultime de leur contenu (ce qui n'interdit pas forcément d'être réaliste *ensuite*). Dans la mesure où ce qui nous intéresse, ce sont les prédictions, il est possible d'ignorer les écarts au schéma idéal proposé ici dans la mesure où ces écarts ne mènent pas à des prédictions différentes. On considère alors ces écarts comme des cas de substitution légitime.

Nous souhaitons, dans ce travail, nous intéresser à la confrontation empirique sur un plan relativement abstrait et non aux aspects pratiques, aussi nous négligerons dans ce qui va suivre ces différentes complications sans plus d'arguments.

4.4.2 *La robustesse des observations*

L'attitude empiriste, qui nous permet d'ignorer la multiplicité des formalismes ou les idéalizations, peut poser problème si l'on pense que la façon dont une théorie est confrontée à l'expérience n'est pas indépendant de la théorie elle-même : par exemple si l'on pense que les observations sont elle-mêmes « chargées de théories » (voir la section 1.1.3).

Il existe plusieurs problèmes à l'idée qu'un modèle serait simplement confronté au tribunal de l'expérience, celle-ci nous permettant soit de le confirmer, soit de l'infirmer. Un premier type de complication est que la confrontation empirique repose sur un ensemble important de connaissances et hypothèses tacites ou théoriques, en particulier quand les théories en viennent à s'intéresser à des domaines éloignés de l'expérience commune. Ceci concerne également les idéalizations que nous avons évoquées plus haut. De ce fait lors d'un échec théorique, ces aspects pourront être remis en cause plutôt que la théorie qui est testée, et tout succès théorique devra être tempéré par ces aspects : nous pouvons, lors d'un échec expérimental, conclure que notre théorie est fautive, mais aussi que notre modèle était trop idéalisé, qu'une hypothèse auxiliaire est fautive, ou que nos appareils de mesure sont déficients. C'est le holisme de la confirmation, que nous avons évoquée au chapitre 1.

Ce qui peut sembler typiquement problématique dans la confrontation expérimentale est la circularité entre théorie et expérience, ou le fait pour nos observations d'être « chargées de théories ». On peut considérer que

cet aspect est omniprésent : du fait de leurs ajustements mutuels, la mise en correspondance d'un modèle et d'une situation, et en particulier la reconnaissance qu'il s'agit du bon type de situation, peut sembler circulaire.

Prenons l'exemple d'un modèle newtonien du système solaire : celui-ci décrit des planètes orbitant autour du soleil, chacune ayant une certaine masse. Pour que le type de situation décrit par le modèle corresponde, il faut que les valeurs des masses attribuées à ces objets soient correctes. Mais la masse est un concept de la théorie, et l'on ne mesure pas directement les masses des corps célestes : ce sont plutôt nos observations de leurs trajectoires qui nous permettent, à supposer que la théorie de Newton soit juste, de sélectionner le bon modèle. Autrement dit, le modèle est sélectionné en fonction de ses prédictions passées : c'est le modèle qui fait les bonnes prédictions concernant les orbites des planètes qu'on jugera être le modèle qui représente correctement la situation, celui dont les masses sont correctes. Bien sûr il reste vrai que la théorie aurait pu n'avoir aucun bon modèle, ou ne plus faire de bonnes prédictions une fois le modèle ajusté (il s'avère, en pratique, que c'est la masse du soleil qui est déterminante pour les orbites des planètes, ce qui limite le nombre de paramètres ajustables, donc le nombre de modèles envisageables) mais une certaine forme de circularité persiste.

De la même façon, reconnaître qu'un appareil donné qui envoie un rayon laser sur un matériau d'un certain type « fabrique » des photons corrélés, par exemple, suppose au préalable d'accepter un fond de connaissances théoriques justifié par des expériences passées. Il faut connaître la structure de l'atome. Cette connaissance est même requise pour comprendre le fonctionnement du laser. Le problème est que la théorie invoquée au moment de reconnaître qu'un modèle correspond à une situation (qu'il s'agit bien de deux photons corrélés) peut être la même que celle qui est testée par ce modèle.

Ceci vaut non seulement pour les propriétés intrinsèques comme la masse, ou pour les types d'entités théoriques, mais aussi en une certaine mesure pour les degrés de liberté mesurables d'un système, c'est-à-dire pour la mise en correspondance non plus des types de systèmes (et leurs propriétés intrinsèques), mais pour la mise en correspondance des propriétés dynamiques mesurables de ces systèmes avec des appareils de mesure. Un exemple est celui d'une expérience qui consisterait à vérifier les lois de la thermodynamique à l'aide d'un thermomètre à mercure : la thermodynamique est invoquée pour expliquer le fonctionnement du thermomètre lui-même, et le fait qu'il mesure correctement la température. En outre il est très fréquent que de nouveaux appareils de mesure soient calibrés

en fonction de la théorie, et qu'on juge de leur efficacité s'ils reproduisent les résultats théoriquement attendus (Collins, 1985, ch. 4). On jugera par exemple qu'un nouveau type de spectroscope est fiable s'il permet de retrouver les raies spectrales émises par différents composés chimiques tels que prédit par la théorie.

Il découle de cette circularité que la mise en correspondance d'un modèle et d'une situation est toujours hypothétique. Suite à un échec expérimental, il est toujours possible d'invoquer un défaut de correspondance entre modèle et situation (l'existence d'une planète supplémentaire pour expliquer la trajectoire des planètes connues) plutôt qu'un défaut de la théorie elle-même. Dans ce cas nos théories sont-elles vraiment testées?

Pour répondre à ce type d'inquiétude, on peut commencer par remarquer que la théorie est testée de manière multiple, non sur la base d'un unique modèle, et que cette diversité devrait tempérer nos inquiétudes. En outre la reconnaissance du fait qu'une situation est du bon type ne repose jamais uniquement sur la théorie; elle n'est pas entièrement circulaire. Si c'est le cas pour la détermination des masses des planètes du système solaire, on peut considérer que le fait de reconnaître qu'il y a huit planètes dans le système solaire et d'identifier ces planètes est relativement indépendant de la théorie de Newton (même si la taxinomie des planètes peut être révisée à l'aune de la théorie, elle a une base indépendante qui précède la théorie). Il faut bien, après tout, pour fixer la masse des planètes, se fier à des observations de position, et il faut bien à un moment donné que la théorie soit connectée à notre expérience. Dans le cas contraire il va de soi que la théorie ne pourrait pas vraiment être confrontée à l'expérience : il est nécessaire que des aspects objectifs, directement observables des situations nous renseignent.

Ceci vaut également pour les cas où un nouvel appareil de mesure est calibré à partir de la théorie : ce type de calibrage ne peut être considéré comme sûr que parce que la théorie a été bien éprouvée par ailleurs, par d'autres moyens, si bien qu'on considère légitime de l'utiliser pour mettre en œuvre de nouveaux moyens de mesure ou pour fixer la valeur de certains paramètres des modèles. La circularité n'est donc jamais complète (voir Franklin et al., 1989).

Nous avons également vu, section 1.2.1, qu'il existe des critiques de l'idée d'une incommensurabilité radicale liée à la charge théorique de l'observation. Il est légitime de considérer que les scientifiques savent s'assurer de la fiabilité de leurs tests expérimentaux en utilisant des techniques et méthodes éprouvées, et savent assurer un consensus concernant les observations expérimentales indépendamment de leurs croyances. L'insti-

tution scientifique est dotée à ce titre de nombreux mécanismes régulateurs, comme la reproduction d'expériences par des équipes différentes ou la variation des dispositifs. Les tests de significativité statistique sont une façon d'assurer la robustesse des observations expérimentales (Bogen et Woodward, 1988). S'il peut y avoir à l'occasion des controverses (par exemple sur le faible nombre de sujets de certaines expériences en psychologie, ou sur les différentes méthodes statistiques), ce sont ces régulations qui assurent la confiance en les résultats expérimentaux. Il serait naïf de croire que seuls les philosophes des sciences ont ce genre d'inquiétudes à propos de la confrontation des théories à l'expérience : ce type de problème est fréquemment débattu dans la littérature scientifique à propos de cas concrets, et la plupart du temps, un consensus émerge sur la robustesse ou non des résultats obtenus¹⁶. On peut donc considérer que les observations expérimentales jouissent d'une robustesse qui leur confère une autorité sur les théories (voir également Israel-Jost (2015)).

Tout ceci ne signifie pas que l'expérience nous permet de savoir qu'une théorie est vraie, mais au moins, elle permet de savoir, avec une certaine confiance, si elle est compatible ou non avec les expériences qui ont été jusqu'ici réalisées.

4.5 Aspects sémantiques

Nous nous sommes contenté jusqu'ici de décrire la façon dont les théories physiques peuvent être présentées et utilisées en science, en nous appuyant sur la littérature. Pour terminer ce chapitre, nous souhaitons proposer une synthèse de ces différentes observations.

En quelques mots, l'image qui, selon nous, se dégage de tout ceci est la suivante : une théorie scientifique n'est pas une description du monde. Elle s'apparente plutôt à un système conceptuel abstrait, c'est-à-dire à une *façon* de décrire le monde ou d'interagir. Une théorie est confrontée à l'expérience concrète par l'intermédiaire des modèles. S'il existe des candidats à la représentation de domaines de la réalité, ce sont les modèles plutôt que la théorie, mais ceux-ci sont généralement destinés à représenter des situations particulières plutôt que l'univers dans son ensemble. De plus, leur rôle peut être de tester la théorie, et en ce sens, le succès de la confrontation à l'expérience ne nous renseigne pas tant sur le fait qu'un modèle particulier représente correctement son domaine que sur le fait que la théorie, en tant que système conceptuel, est efficace.

16. voir par exemple Franklin (1994)

C'est donc une forme d'empirisme particulière, teintée de pragmatisme, qui se dégage de cette image. L'idée est bien de considérer que nos théories scientifiques sont empiriquement adéquates, mais par là il faut comprendre non pas l'idée que la théorie « sauve les phénomènes », mais comprendre l'adéquation à l'expérience en un sens plus large qui comprend nos interactions possibles (observations et interventions). L'objet des chapitres suivants sera de défendre cette forme d'empirisme.

Dans cette section nous proposons de mettre en avant certaines caractéristiques saillantes de la structure des théories scientifiques et de la façon dont elles sont confrontées à l'expérience, de manière à préparer le terrain pour les arguments à suivre. Nous explicitons notamment un principe d'indexicalité, qui veut que les modèles d'une théorie scientifique ne font pas référence à des objets concrets, lieux ou instants particuliers, mais acquièrent une référence uniquement en contexte au moment de leur confrontation à l'expérience.

4.5.1 *La généralité du contenu théorique*

Si le contenu d'une théorie scientifique, tel que nous l'avons présenté section 4.1, consiste en un vocabulaire de types et de propriétés, un formalisme et un ensemble de lois et de règles générales, nous pouvons considérer qu'une théorie est, à ce niveau, purement conceptuelle, en ce sens qu'elle ne fait pas référence à des objets concrets particuliers du monde, ni à des lieux ou instants particuliers, mais uniquement à des types d'objets et de propriétés, ou à l'espace-temps en général. Une autre façon de dire les choses est que son vocabulaire ne contient aucun nom propre qui ferait référence à un objet concret. Ce semble être le cas de nos théories physiques fondamentales.

Ce point n'est pas forcément trivial, et ce ne fut pas toujours le cas en science. La physique d'Aristote, par exemple (bien qu'il ne s'agisse pas d'une théorie mathématisée comme celles que nous décrivons ici), fait référence à un lieu particulier, le centre de l'univers. Le modèle héliocentrique de Copernic fait référence à un objet particulier, le soleil. Mais il s'agit d'une tendance remarquable de la physique que de s'affranchir de telles références à des particuliers en vue de voir leurs lois s'appliquer *en général*.

Ceci ne signifie pas, bien sûr, que la science en général ne s'intéresse pas à des systèmes physiques particuliers (*notre* système solaire, la terre...). Il est vrai qu'une théorie scientifique est souvent associée à un ensemble de faits, d'explications aux phénomènes. La physique, par exemple, ne se contente pas de nous fournir des théories générales. Elle nous dit également

de quelle façon la lune provoque les marées, ou que tel type de réaction a lieu au cœur du soleil. Ce contenu factuel fait référence à des objets particuliers du monde. Toutefois ceci n'a rien de contradictoire avec l'idée qu'il existe un contenu proprement théorique, entièrement général, qui sert de cadre au sein duquel ces faits peuvent être exprimés. On peut considérer que les descriptions que l'on peut faire d'un système particulier (à l'aide d'un modèle) sont de l'ordre de l'application de la théorie fondamentale. À ce titre, on peut considérer que le modèle héliocentrique de Copernic est bien, justement, un modèle abstrait plutôt qu'une théorie physique fondamentale. À l'appui de cette distinction, remarquons que le contenu théorique et les faits qui concernent l'application de la théorie au monde peuvent évoluer indépendamment l'un de l'autre. Certains faits (comme l'existence de Neptune) survivent aux changements théoriques. D'autres sont révisables sans que la théorie ne soit modifiée.

Nous pouvons donc distinguer le contenu (purement) théorique du contenu factuel, qu'on pourrait assimiler à un ensemble de propositions sur le monde exprimées dans le vocabulaire de la théorie (mais extérieures à elle), ces propositions portant sur l'application de la théorie à des domaines d'expérience.

Ce caractère d'indépendance du contenu théorique fondamental vis-à-vis de particuliers est fortement lié à la notion de symétrie. De manière générale, un principe de symétrie stipule que certains aspects d'une structure sont laissés invariants par certaines transformations (par exemple, un triangle équilatéral est invariant par rotation d'un angle de 60°). La physique contemporaine est construite autour de tels principes de symétrie : symétrie des *lois* par translation ou rotation dans l'espace, par translation dans le temps, par inversion de la valeur de certaines propriétés physiques comme la charge, ou encore symétrie des *états physiques* par permutation de particules du même type dans un système composite. On peut penser par exemple au principe d'équivalence de Galilée, suivant lequel les lois de la physique s'appliquent de la même manière à tout référentiel inertiel (donc peuvent être exprimées sans référence à un référentiel qui aurait pu être associé à un objet particulier comme la terre). On peut voir au moins certains de ces principes de symétrie comme une forme de principe d'indifférence : la théorie physique est valable de manière générale, quel que soit l'objet particulier, le lieu ou le moment où elle s'applique.

Les principes de symétries spatio-temporelles en particulier impliquent que les lois de la théorie s'appliquent de manière indifférente au lieu ou à l'instant particulier. Si l'on considère qu'un objet concret est un objet situé dans l'espace et le temps, une théorie ne peut faire référence dans sa

formulation générale à de tels objets sans violer ces principes. Ainsi quand bien même certains termes théoriques comme « champ électromagnétique » pourraient en principe être interprétés comme faisant référence à des objets particuliers du monde, il ne peut s'agir que d'objets assez spéciaux, infiniment étendus dans l'espace et le temps, et qu'il est difficile de qualifier d'objets concrets. Sur le plan sémantique, il est plus naturel de concevoir le champ électromagnétique comme un ensemble de propriétés que comme un objet (c'est d'ailleurs une manière de comprendre pourquoi les physiciens ne parlent plus d'éther).¹⁷

Puisque nos théories contemporaines respectent les principes de symétries spatio-temporelles, il est légitime de considérer qu'elles ne font pas référence dans leurs formulations à des objets particuliers concrets, au sens d'objet situé dans l'espace-temps.

On pourrait craindre que les prédicats théoriques faisant référence à des classes naturelles importent implicitement un contenu faisant référence à des objets particuliers. On interpréterait par exemple le terme « électron » comme étant équivalent à « la classe naturelle de tel exemplaire, à savoir la particule observée pour la première fois à telle date dans telles circonstances », s'inspirant (maladroitement) de la théorie sémantique de Kripke. Mais d'une part il n'est pas certain que cette théorie sémantique plutôt qu'une théorie descriptiviste convienne aux termes de la physique, et surtout d'autre part, ce serait faire un contre-sens sur la théorie sémantique de Kripke en confondant les conditions qui permettent de fixer la référence d'un terme et la signification de ce terme : pour Kripke, le baptême est ce qui fixe la référence d'un terme de sorte à partir d'un exemplaire, c'est-à-dire le mécanisme permettant au nom d'acquérir une signification, mais il n'est en aucun cas une explicitation de ce que recouvre cette signification (voir la section 1.2.2).

Nous considérerons que ce principe de généralité du contenu théorique, suivant lequel les théories ne font pas référence à des particuliers concrets, est valide pour les théories fondamentales de la physique¹⁸. Il s'agit, en

17. Au sein du modèle standard de la physique contemporaine on considère que le champ électromagnétique est apparu à un certain moment de l'histoire de l'univers suite à une brisure de symétrie. Cela permet certes de situer cet objet supposé au moins dans le temps, mais le fait même que le champ électromagnétique soit conçu comme résultat d'une brisure de symétrie implique que la théorie physique fondamentale offre un degré de généralité supplémentaire, et ne fait pas réellement référence à ce champ particulier dans sa formulation : il n'est qu'une instanciation possible des lois de la théorie.

18. Ceci vaut également, en une certaine mesure, pour les théories moins fondamentales comme la mécanique des fluides, ou pour le modèle standard des particules tant qu'on ne le situe pas dans une perspective historique.

somme, de voir les théories physiques comme des systèmes conceptuels abstraits s'appliquant au monde plutôt que comme des descriptions du monde.

4.5.2 *Le principe d'indexicalité*

Contrairement aux axiomes d'une théorie, un modèle affirme l'existence d'objets particuliers dotés de propriétés. Par exemple, un modèle de système solaire postule l'existence d'une étoile et d'un certain nombre de planètes ayant une certaine masse. Un modèle intègre également un référentiel spatio-temporel. Pour autant ceci n'implique pas que le modèle fasse référence à des objets concrets ou à des lieux ou instants particuliers du monde.

Ceci tient à la manière dont nous identifierons par la suite les modèles d'une théorie. On considérera que le modèle est identifié par sa structure mathématique, décrite dans le langage de la théorie. Or si ce langage théorique ne contient aucun nom propre faisant référence à des objets concrets du monde, il en va de même des modèles décrits dans ce langage. Quand bien même un modèle du système solaire serait destiné à s'appliquer à *notre* système solaire, il pourrait également en principe s'appliquer à un autre système solaire identique. (Ceci vaut également pour les référentiels spatio-temporels de ces modèles : l'instant initial du modèle pourra correspondre à n'importe quel instant.) Bien sûr ceci semble pratiquement peu probable dans le cas du système solaire, mais on peut penser par exemple au modèle d'un atome d'hydrogène, qui n'est pas destiné à s'appliquer à un unique atome du monde (même quand ses paramètres sont spécifiés), ou à des modèles correspondant à des expériences de pensées qui ne sont pas destinés à s'appliquer du tout, et nous pouvons donc conserver cette manière d'identifier les modèles de manière abstraite, en tant que structures théoriques indépendantes de ce à quoi elles s'appliquent, même si ces modèles se destinent in fine à représenter un unique système du monde. Une autre façon de dire les choses est qu'un modèle représente non pas une situation particulière mais toutes les situations d'un certain type, celles-ci pouvant en principe se présenter en différents endroits et à différents instants (ou pas du tout).¹⁹

19. Remarquons qu'il est essentiel, dans le cas des prédictions probabilistes, que le modèle ne fasse pas référence à un instant particulier du temps, puisque l'expérience doit être répétée pour pouvoir obtenir des résultats statistiques à même de confirmer les probabilités prédites.

Encore une fois, il ne s'agit pas de dire que l'ensemble de nos connaissances scientifiques est parfaitement général. Nous avons noté qu'une discipline scientifique procède par accumulation factuelle : elle produit des explications à certains phénomènes particuliers. On peut considérer que proposer une explication à un phénomène revient à affirmer qu'une certaine classe de modèles de la théorie s'applique à un objet ou à une situation particulière. On proposera, par exemple, un modèle physique abstrait de notre soleil, ou des flux océaniques sur terre.

Si les explications produites par la théorie concernent des types d'objets ou de situations, on peut considérer qu'elles sont également d'ordre général. Mais faire référence à un type de situation peut exiger d'utiliser des noms propres, ou de rapporter ce type de situation à des objets ou lieux particuliers du monde. Enfin il est des cas où nos explications concernent directement des objets particuliers. L'affirmation suivant laquelle un modèle ou une classe de modèles s'appliquent à un objet ou à une situation particulière n'est certainement pas une affirmation d'ordre général, mais de nouveau nous pouvons considérer que cette affirmation relève de l'application de la théorie au monde. Il va de soi que l'application de la théorie participe à son développement, mais si l'on s'intéresse non pas à l'ensemble de nos connaissances scientifiques, ni au développement historique de la science, mais au contenu d'une théorie fondamentale en lui-même, il est possible de s'intéresser aux modèles de cette théorie de manière abstraite, indépendamment du fait qu'ils s'appliquent ou non, et c'est ce que nous ferons dans la suite de ce travail.

Cette remarque est importante, dans la mesure où nous nous intéresserons ensuite aux prédictions empiriques. Or on peut considérer qu'un modèle scientifique fait les mêmes prédictions quel que soit le nom que portent ses objets, c'est-à-dire que ses prédictions sont a priori et ne dépendent pas du système concret auquel on l'applique. Nous pouvons considérer le modèle et ses prédictions *in abstracto*.

Si ni la théorie, ni les modèles ne font référence à des particuliers, nous pouvons donc reléguer toute référence aux particuliers à la confrontation de la théorie à l'expérience. Celle-ci, en effet, requiert de faire référence à des objets concrets (un dispositif, des appareils de mesure, un lieu et des directions de référence, l'instant initial de l'expérience) pour les associer à des éléments du modèle, et les lieux, les instants et les objets auxquels le modèle s'applique sont ultimement déterminés relativement à la position de l'agent qui compte vérifier la théorie, que ce soit par ostentation ou de manière indirecte par description à partir d'objets connus par accoutance. Il en va de même des résultats d'une expérience qui doivent faire l'objet

d'un constat empirique.

On peut donc considérer qu'un modèle théorique est indexical dans le sens suivant : exactement comme un terme indexical (comme « je » ou « ici ») ne voit sa référence fixée qu'en contexte à partir d'éléments objectifs de la situation dans laquelle le terme est utilisé (le locuteur, le lieu d'énonciation), l'ensemble des objets et degrés de liberté spécifiés dans un modèle théorique (y compris le référentiel spatio-temporel) ne voient leurs références fixées qu'en contexte, au moment de l'application du modèle à une situation expérimentale particulière, quand ils sont associés aux aspects objectifs de cette situation. Appelons ceci le principe d'indexicalité des modèles.

Principe d'indexicalité des modèles théoriques : un modèle d'une théorie physique fondamentale ne fait référence à des objets concrets, lieux ou instants particuliers du monde que dans le cadre d'un contexte expérimental où il est appliqué à une situation concrète particulière.

Il ne s'agit pas simplement de fixer certains paramètres pour obtenir un modèle théorique particulier qui correspondra à la situation à partir d'un modèle abstrait, mais aussi de fixer la référence du modèle, en associant notamment le référentiel, et les objets du modèle, à des objets concrets auxquels on fait référence en contexte.

Ce principe jouera un rôle important dans l'argumentation des chapitres suivants.

4.5.3 *Contenu théorique et contenu factuel*

Nous considérerons donc qu'un modèle est purement indexical, au sens où il ne fait référence à des particuliers qu'en contexte, une fois appliqué à une situation concrète.

Certains auteurs (entre autres Giere (2006) et van Fraassen (2008, ch. 3)) proposent une analogie entre modèle et carte : tout comme une carte, un modèle peut être destiné à représenter un aspect du monde envisagé sous une certaine perspective, dans un certain but. Utiliser une carte demande à mettre cette carte en correspondance avec le monde, à l'orienter en se situant soi-même sur cette carte, c'est-à-dire, finalement, en identifiant des composantes et des aspects du monde auxquels on fait directement référence par ostentation. Cette identification pourra avoir lieu sur la base des composantes indexicales de la carte (comme une mention « vous êtes ici »). Ici, de la même manière, nous situons une configuration expérimentale dans

le modèle en associant référentiels et appareils de mesures à des aspects du modèle, et l'on pourrait considérer un modèle comme une « carte » de cette situation. Enfin, tout comme nous nous attendons, si notre carte est fiable, à certaines observations suite à nos actions (un embranchement à un certain endroit si nous prenons telle direction), nous nous attendons, si notre modèle est fiable, à certaines prédictions.

Il existe cependant une différence importante entre un modèle et une carte, qui est qu'une carte fait bien référence à des objets particuliers du monde et est destinée à s'appliquer à un lieu particulier, tandis qu'un modèle, comme celui d'une expérience EPR, n'est pas forcément destiné à s'appliquer à un système particulier, mais plutôt à un type de système. Le modèle théorique possède un degré de généralité que n'a pas la carte. L'analogie fonctionne donc non pas à propos des modèles ou des classes de modèles, mais plutôt à propos des modèles au moment où on les applique à des situations particulières.

C'est le cas notamment quand la théorie est appliquée à des objets particuliers du monde en vue de produire des explications (au fonctionnement des marées, aux flux océaniques ...) qui viennent enrichir le contenu factuel associé à la théorie. Il s'agit alors généralement d'émettre l'hypothèse qu'une classe de modèles s'applique à un objet ou à une situation (on proposera par exemple un modèle abstrait du système solaire). On testera alors des modèles particuliers de cette classe, et si leurs prédictions sont correctes, notre hypothèse sera confirmée : on pourra dire que la théorie explique les phénomènes considérés. Nous aurons étendu le champ d'application de la théorie.

Nous pouvons donc assimiler le contenu factuel associé à la théorie à un ensemble de propositions consistant à affirmer (ou desquelles on peut déduire) que telle classe de modèle s'applique à tel domaine particulier de l'expérience, celui-ci étant spécifié non pas en termes généraux (« les électrons soumis à un champ électromagnétique ») mais en faisant référence à des objets particuliers. De manière schématique, la proposition « le soleil a une masse de M » permet de sélectionner une classe de modèles de la théorie, en l'occurrence tous les modèles contenant un corps de masse M , et de l'associer à un domaine d'expérience particulier, à savoir celui des situations qui concernent le soleil. Cette proposition a un contenu intensionnel (qu'on peut identifier, à la manière de Carnap, à l'ensemble des modèles qu'elle permet de sélectionner) et un contenu directement référentiel (une référence au soleil). Il s'agira typiquement d'un énoncé mixte, mêlant vocabulaire théorique et langage naturel.

On peut considérer que ce contenu factuel est indépendant de la théorie

elle-même : il est produit et mis à jour à l'issue de la confrontation de la théorie à l'expérience. Nous avons remarqué qu'il peut aussi survivre aux changements théoriques, ou être révisé sans que la théorie ne soit impactée. On peut penser qu'il participe à la fixation du domaine d'application de la théorie en enrichissant ce dernier de faits relatifs à la constitution du monde.

Bien que cela n'entre pas dans le cadre de notre travail, nous pourrions insérer ces remarques dans une vision dynamique du développement des sciences, en suivant la conception qu'en a Lakatos. On peut envisager que ce que Kuhn appelle période de « science normal » consiste à étendre ou réviser le contenu factuel associé à la théorie sans modifier cette dernière (les deux correspondant respectivement à ce que Lakatos appelle le « noyau dur » et la « ceinture protectrice »), et que les périodes de changement théorique consistent à comparer différentes théories entre elles, non à faire évoluer une théorie existante.

Il existe donc une distinction importante entre le contenu théorique, à savoir son vocabulaire, son formalisme, ses axiomes, et l'ensemble des modèles qu'on peut construire à partir d'eux, et le contenu factuel, qui consiste à affirmer qu'un modèle ou une classe de modèle s'appliquent à une situation expérimentale donnée, ou à un domaine d'expérience concernant un objet particulier. Cette distinction est essentiellement sémantique : elle tient au fait que ni la théorie, ni ses modèles, ne font référence à des objets concrets, lieux ou instants particuliers du monde. C'est cette distinction qui nous permet de délimiter un contenu proprement théorique (la théorie et ses modèles) que l'on considérera comme parfaitement général.

4.5.4 Les théories comme systèmes conceptuels

Une manière de synthétiser tous les aspects sur lesquels nous venons de mettre l'accent est de faire une analogie entre le fonctionnement d'une théorie et le fonctionnement du langage.

Disposer d'un vocabulaire associé à certaines significations conventionnelles et de règles de grammaire permet de construire des propositions bien formées. Ces propositions abstraites sont ensuite employées en contexte : c'est alors qu'elles acquièrent une signification, c'est-à-dire des conditions de vérité (notamment en fixant la référence des termes indexicaux comme « je » ou « ici », mais aussi en enrichissant la compréhension à partir des intentions du locuteur et du contexte d'énonciation).

On peut voir la théorie comme l'analogie d'un langage, ses modèles (ou classes de modèles) comme l'analogie de propositions formulées dans ce

langage et leur application comme l’analogie de l’énonciation en contexte de ces propositions (tableau 4.5.4).

| Langage | Théorie |
|--|---|
| Un vocabulaire, une grammaire, des conventions de signification | Un vocabulaire, un formalisme, des axiomes |
| Permettant de formuler des propositions qui respectent la grammaire et les conventions | Permettant de construire des modèles qui respectent les axiomes |
| Les termes indexicaux sont mis en correspondance avec des éléments objectifs du contexte d’énonciation | Le référentiel est mis en correspondance avec des éléments objectifs du contexte expérimental |
| Combinés à certaines inférences en contexte, les énoncés acquièrent alors des conditions de vérités | À l’aide d’un savoir faire pratique utilisé en contexte, les prédictions du modèle peuvent être vérifiées |

TABLE 4.1 – Comparaison entre langage et théorie

Il existe une différence importante entre langage et théorie, qui est qu’on ne considère généralement pas qu’un langage puisse être falsifié. La théorie embarque donc apparemment plus qu’un langage : elle embarque un contenu synthétique, un ensemble de croyances, tandis qu’un langage serait analytique. Cette différence est intimement liée à la distinction analytique / synthétique rejetée par Quine, et nous aurons l’occasion d’y revenir. Pour s’en tenir à quelques remarques générales, notons que nous avons pris soin de distinguer le contenu purement théorique, général, du contenu factuel associée à la théorie, et on pourrait juger que seul ce dernier est directement synthétique. Finalement de manière stricte, le contenu d’une théorie n’est pas plus falsifiable qu’un énoncé analytique quelconque, puisqu’on peut toujours « sauver la théorie » par des hypothèses ad-hoc.

Nous avons défendu cependant l’idée que les observations expérimentales sont suffisamment robustes pour faire autorité sur les théories. Il se peut que la théorie échoue à expliquer certains phénomènes, c’est-à-dire à faire de bonnes prédictions pour certaines expériences. On peut considérer ces cas comme des anomalies. Cependant l’histoire des sciences montre que les anomalies ne suffisent pas, en général, à nous faire abandonner une théorie : ce n’est que lors des périodes de changement théorique, quand une alternative crédible voit le jour, qu’une théorie pourra être remplacée par une autre.

Cette relative résistance de la théorie à la réfutation ne fait pas de son contenu un contenu purement analytique (par exemple un ensemble de définitions implicites : voir la section 4.1). Toutefois il n'est pas certain qu'un langage (ou une « façon de parler ») ne puisse être « falsifié », c'est-à-dire abandonné comme peut l'être une théorie. Une manière de le « falsifier » serait de constater qu'il est inadéquat, et de réviser en conséquence nos définitions ou notre usage. Après tout le fait même de parler en termes d'objets n'est pas dénué de certaines anticipations quant à notre expérience (on s'attend à ce que les objets persistent dans le temps).

De façon plus concrète, remarquons qu'il est fréquent de discuter dans la sphère publique du sens des mots (comment mieux comprendre « laïcité » ou « capitalisme » ?), et on peut y voir un parallèle avec la révision des théories et hypothèses face à l'expérience. Nous avons évoqué au chapitre 1 la possibilité que certains termes voient leur signification évoluer au fil des changements théoriques, comme celui d'espèce après Darwin, et qu'il pouvait exister un jeu pragmatique entre révision d'hypothèse sur le monde et révision du langage, mais que ces deux types de révision ne sont pas de nature totalement différente (section 1.1.2 – voir aussi la section 1.2.2). Il n'y a donc pas forcément de contradiction entre le fait de penser une théorie comme un système conceptuel analogue à un langage plutôt que comme une description du monde, et le fait de croire que son contenu n'est pas purement analytique.

Une autre différence possible tient à l'analogie entre conditions de vérité et vérification expérimentale, qui est peut-être douteuse, puisque ce sont seulement les prédictions des modèles qui sont vérifiées et non l'ensemble de leur contenu. Cependant cette différence est superficielle : un réaliste sera prêt à affirmer qu'un modèle qui est appliqué à une situation expérimentale particulière représente correctement cette situation, à la manière dont un énoncé du langage possède des conditions de vérité. Un philosophe du langage pragmatiste, ou de manière générale quelqu'un qui adhère à une conception pragmatiste de la vérité, pourra considérer que la signification d'un énoncé doit se comprendre en termes de succès de la fonction qu'il réalise, c'est-à-dire en termes d'usage plutôt que de correspondance à la réalité, exactement comme l'empiriste considère que la pertinence d'un modèle doit se juger à la qualité de ses prédictions. On voit qu'il existe un parallèle entre les positions sémantiques et les positions épistémiques, et si notre analogie entre théorie et langage doit être prise au sérieux, il se peut que tout ça ne fasse pas bien grande différence et qu'il serait plus cohérent d'adopter une théorie sémantique s'appliquant de la même manière aux modèles des théories et aux propositions du langage naturel. Il

se peut, par exemple, qu'être réaliste sémantique *mais* empiriste, comme van Fraassen, qui introduit une distinction entre « accepter » (sémantiquement) et « croire » (épistémiquement) une théorie, relève de la sophistication superficielle, dans la mesure où il y aurait une forme d'équivalence pratique entre le fait d'adopter une certaine théorie sémantique et le fait d'adopter une certaine position épistémique.

Enfin une différence plus notable est que contrairement à une théorie, un langage possède des noms propres et peut donc faire référence à des particuliers. C'est vrai du moins suivant l'idée, défendue plus haut, que le contenu théorique est parfaitement général. Notons toutefois que cette idée concerne uniquement les théories de la physique fondamentale. On peut y voir une spécificité du projet de la physique fondamentale : celui de nous doter d'un système conceptuel universel dans son application. Mais une théorie fondamentale s'accompagne généralement d'un contenu factuel, issu de sa confrontation au monde, qui peut faire usage de noms propres.

Un aspect important qui découle de cette façon de concevoir les théories est qu'à l'instar d'un langage, une théorie est destinée à recevoir plusieurs applications distinctes plutôt qu'à s'appliquer au monde dans son intégralité, et donc qu'elle n'est pas destinée à voir un seul modèle (celui du monde) la vérifier. Une théorie est destinée à être appliquée à de multiples situations distinctes à travers différents modèles, qui ne représentent donc pas des mondes possibles, mais des situations possibles (on trouve cette idée chez Sneed (1971)). Ceci peut avoir un impact sur la façon dont on conçoit les modalités : si ce qui est nécessaire (selon la théorie) est ce qui est vrai dans tous les modèles, la nécessité ne serait pas à comprendre en termes de mondes possibles mais plutôt de situations possibles *dans* le monde. Il s'agit d'une conception de la nécessité physique compatible avec l'actualisme, ou la thèse suivant laquelle seul le monde actuel²⁰ existe, qui évite certaines difficultés du possibilisme, comme le fait que les autres mondes possibles semblent non pertinents s'ils ne sont pas causalement connectés au nôtre. Les situations possibles du monde n'ont pas à être causalement déconnectées les unes des autres : bien au contraire, le langage des situations possibles pourrait être une manière d'exprimer les contraintes causales s'appliquant aux situations concrètes du monde. Nous n'affirmons pas (pour l'instant) qu'une telle nécessité existe, mais que c'est la bonne façon d'interpréter la nécessité physique qu'impliquent nos théories, si ces dernières sont vraies. Il s'agit d'un aspect important sur lequel nous reviendrons ensuite.

20. au sens de l'anglais « actual », voir la note 3 du chapitre 3

Nous prolongerons cette analogie entre théorie scientifique et langage dans la partie III qui sera consacrée à l'interprétation métaphysique des théories.

4.5.5 *L'unité de la représentation scientifique*

À la suite de ces remarques, nous pouvons aborder la question de la représentation scientifique en général. Le fait qu'en pratique les théories soient confrontées à de multiples situations plutôt qu'à une situation cosmique pose question quant au fait de savoir comment les théories représentent le monde (sans présumer que cette représentation est correcte sous tous ses aspects, ou seulement les aspects « observables » : la question est d'intérêt tout autant pour l'empiriste que pour le réaliste). On peut avoir pour objectif, en philosophie des sciences, d'obtenir une vision d'ensemble plutôt qu'un ensemble de représentations disparates du monde, et le fait que nos théories ne soient en pratique jamais appliquées à l'univers dans son ensemble et dans ses moindres détails semble à première vue entrer en conflit avec cet objectif.

Nous pouvons dégager trois options pour dépasser ce conflit. La première consisterait à oublier la vision d'ensemble (« big picture »), et à se contenter de représentations disparates de domaines particuliers, seulement partiellement unifiés. C'est la voie du « dappled world » choisie par Cartwright (1999). Cette solution pourrait être affinée en exigeant qu'il existe une certaine continuité, ou une certaine harmonie entre ces représentations disparates (Braillard et al., 2011).

La seconde option consiste à restaurer la vision d'ensemble en postulant un hypothétique modèle de l'univers. Il n'est pas certain que cette vision des choses relativement abstraite rende justice à l'unification qu'apporte le contenu proprement théorique (qui est une façon d'exprimer ce qui est commun entre les différents modèles), outre le fait que les axiomes constitueraient éventuellement une façon économique de décrire ce modèle de l'univers, ni aux aspects particuliers et situés de la confrontation expérimentale.

Les remarques de cette section nous permettent d'envisager une troisième option, qui est la voie que nous suivrons dans ce travail, et qui consiste à essayer d'obtenir une vision d'ensemble en procédant à une induction sur la base des différents modèles d'une théorie, mais sans chercher à les unifier en un unique modèle. L'axiomatique joue alors un rôle plus important, puisqu'elle exprime précisément ce que l'ensemble des modèles de la théorie partage. Il nous semble que c'est la meilleure manière de combiner l'objectif

d'une vision d'ensemble avec les aspects pragmatiques et contextuels que nous avons relevé dans ce chapitre. L'idée principale en est qu'une théorie n'est pas vraiment une description du monde : une théorie est plutôt assimilable à un système conceptuel déductif abstrait (c'est-à-dire un ensemble de concepts obéissant à des règles déductives plutôt qu'un ensemble de propositions), confronté au monde par l'intermédiaire de modèles mis en correspondance avec des situations concrètes.

Dans le chapitre suivant, nous procéderons à une critique de la seconde option ci-dessus, telle qu'implémentée par la définition de l'adéquation empirique proposée par van Fraassen, et à une proposition de définition pour l'adéquation empirique conforme à la troisième option. À l'issue de ce chapitre nous serons à même de proposer une définition précise de la position défendue dans cette étude, à savoir l'empirisme modal.

Conclusion

Nous avons présenté les théories scientifiques comme des systèmes d'axiomes exprimés dans un langage théorique à l'aide d'un formalisme mathématique. Ces éléments permettent de construire des modèles destinés à représenter des situations d'un certain type, en spécifiant le type de système physique, ses conditions initiales dans un système de coordonnées particulier, sa dynamique et les opérations de mesure effectuées sur lui. Ces éléments sont ensuite mis en correspondance avec des situations concrètes, desquelles sont extraites des données permettant de construire des modèles de données. Ces modèles de données peuvent être comparés aux modèles théoriques. Si la pratique peut s'éloigner un tant soit peu de ce schéma, il est légitime de considérer qu'il s'agit d'un idéal régulateur et que ces écarts ne sont faits qu'avec l'assurance d'obtenir des résultats empiriques similaires au cas idéal.

Cette présentation accorde une importance particulière aux aspects structuraux, à travers la notion de modèle. Toutefois nous avons noté plusieurs rôles que peut jouer le langage, c'est-à-dire l'interprétation qui est faite du vocabulaire de la théorie : il peut fixer le domaine d'application de la théorie en permettant la mise en correspondance des modèles et des situations concrètes, et peut-être réguler la pratique expérimentale à travers des concepts génériques comme les probabilités et le temps. Enfin il est possible que certaines interprétations associées aux termes théoriques prennent la forme de contraintes implicites sur les modèles acceptables pour représenter des situations concrètes.

Un autre aspect important sur lequel nous avons mis l'accent est l'aspect général des théories : celles-ci ne font pas référence, dans leur formulation, à des objets concrets, instants et lieux particuliers. Les modèles théoriques peuvent être considérés comme purement indexicaux : s'ils peuvent postuler l'existence d'objets, il faut encore associer le modèle à un référentiel spatio-temporel concret et désigner un système ou un dispositif expérimental particulier pour que la référence de ces objets se voit fixée, en contexte, lors d'une confrontation expérimentale. Il s'agit de voir une théorie comme un système conceptuel confronté à de multiples situations plutôt que comme une description du monde.

Ces aspects étant clarifiés, nous pouvons maintenant nous demander ce qu'est l'adéquation empirique d'une théorie : que veut-on dire quand on dit qu'une théorie (un système conceptuel) est empiriquement adéquate, que ses conséquences empiriques correspondent à l'expérience, ou encore qu'elle « sauve les phénomènes » ? C'est l'objet du chapitre suivant.

Chapitre 5

Qu'est-ce qu'une théorie empiriquement adéquate ?

English abstract

Empirical adequacy is construed by the constructive empiricist as meaning that a theory has at least one model that all observable phenomena fit inside. This construal can be criticized on several grounds : the notion of observable is problematic, it does not take into account the conditions of applications of models, which involve interventions as well as observations, and it presupposes that theories have one cosmic application rather than several distinct applications, which does not correspond to scientific practice. In this chapter we defend a conception of empirical adequacy in terms of predictive success of models when they apply to situations. A situation is a potential object of experience. What characterizes a situation is not that it is observable, but that it is occurrent and concrete rather than abstract. The notion of application of a model to a situation cannot be systematized, but we emphasize that it must allow non ambiguous theoretical predictions in front of a situation, and be independent from predictions. We argue that this construal does not face the difficulties of traditional accounts. From this definition of empirical adequacy, several versions of empiricism can be derived depending on the domain of situations considered. Modal empiricism quantifies over all possible situations.

Selon l'empirisme constructif proposé par van Fraassen, accepter une théorie scientifique (comme le font les scientifiques quand ils l'utilisent et la développent) n'exige pas de croire qu'elle est vraie : il suffit de croire qu'elle est empiriquement adéquate, ou encore qu'elle « sauve les phénomènes ». Être réaliste n'est donc pas irrationnel, mais croire en l'adéquation empirique d'une théorie est l'attitude minimale permettant de rendre compte de la pratique scientifique – celle qu'un empiriste sera naturellement enclin à adopter s'il veut se prémunir de toute inflation métaphysique.

On peut, comme van Fraassen, penser l'empirisme comme une attitude plutôt qu'une véritable position épistémologique, et chercher avant tout à caractériser le but de la science indépendamment des questions épistémologiques (celui-ci serait, pour van Fraassen, de construire des théories empiriquement adéquates). Ou bien on peut, de manière plus ambitieuse, défendre une position épistémologique particulière qui serait celle que l'attitude empiriste nous enjoindrait d'adopter. Dans tous les cas nous avons besoin de comprendre de manière précise ce qu'est l'adéquation empirique d'une théorie. C'est l'objet de ce chapitre. On s'appuiera pour ce faire sur les acquis du chapitre précédent (chapitre 4), au cours duquel nous avons proposé une conception des théories scientifiques comme systèmes conceptuels abstraits confrontés à des situations concrètes par l'intermédiaire de modèles. Nous proposerons une définition de l'adéquation empirique en termes de succès prédictif des modèles de la théorie.

L'enjeu n'est pas seulement de comprendre ce que recouvre l'attitude empiriste ou l'empirisme comme position épistémologique. C'est aussi d'éclairer les notions qui entrent en jeu dans les différents débats sur le réalisme. Nous pensons en particulier à la sous-détermination des théories par l'expérience, qui nous occupera particulièrement au chapitre 7. On peut en effet dire qu'une théorie est sous-déterminée par l'expérience si elle est empiriquement adéquate et s'il existe une autre théorie incompatible, mais également empiriquement adéquate. On ne peut alors départager ces théories par l'expérience.

Mais le principal enjeu d'une définition précise de l'adéquation empirique reste de définir l'empirisme, conçu comme la position suivant laquelle nous sommes seulement justifiés de croire que nos théories sont empiriquement adéquates. Nous verrons qu'il peut y avoir en fait plusieurs notions d'adéquation empirique, auxquelles correspondront différentes formes d'empirisme. Il s'agira donc plutôt à l'issue de ce chapitre de proposer une taxinomie des différentes positions empiristes. Parmi celles-ci, l'empirisme modal est celle que nous défendrons dans cette étude.

Le chapitre est organisé comme suit : nous commençons par examiner

de manière critique la conception traditionnelle de l'adéquation empirique, notamment telle qu'elle est formulée par van Fraassen (1980) (section 5.1). Nous proposons ensuite notre propre définition en termes de succès prédictif des modèles d'une théorie, qui se veut plus modeste et proche de la pratique scientifique (section 5.2). Celle-ci se décline en plusieurs versions, qui nous permettront d'articuler différentes positions empiristes, dont l'empirisme modal (section 5.3).

Quand il s'agira de parler de modalités, nous utiliserons dans ce chapitre, comme dans la suite de ce travail, le mot « actuel » par opposition à « seulement possible », suivant l'usage du mot anglais « actual » (voir la note 3 du chapitre 3).

5.1 La conception traditionnelle de l'adéquation empirique

Un empiriste est prêt à affirmer que nos théories sont empiriquement adéquates, sans pour autant croire qu'elles sont vraies. Une manière naturelle de comprendre l'adéquation empirique d'une théorie est de penser en termes de succès lors de la confrontation expérimentale de cette théorie (c'est celle que nous proposerons plus loin). Cependant les auteurs qui se sont traditionnellement intéressés à l'adéquation empirique envisageaient les choses d'une manière plus abstraite et moins directement connectée à la pratique scientifique. Il s'agissait notamment, dans le cadre de l'empirisme logique, de procéder à une reconstruction formelle des théories et de leur confrontation expérimentale. Dans ce cadre, l'adéquation empirique était plutôt conçue en termes de vérités de toutes les *conséquences observables* de la théorie. Les approches contemporaines, même quand elles envisagent la confrontation expérimentale de manière plus sophistiquée et moins formelle, héritent de cette façon de voir les choses : elles cherchent à identifier de manière générale ce qui, dans le contenu de la théorie, correspond à l'expérience pour exprimer l'adéquation empirique de la théorie.

Cette perspective a plusieurs travers : elle nous oblige à introduire une distinction théorique entre ce qui relève ou non de l'expérience ; elle tend à réduire l'expérience à l'observation, au constat empirique passif, au détriment d'une conception plus interactive (on peut comprendre l'expérience en un sens large comme des observations *et* des interventions) ; enfin, en négligeant l'aspect contextuel de la confrontation expérimentale, elle revient à envisager que la théorie s'applique de manière unifiée à l'univers dans son ensemble, quand en pratique une théorie est appliquée à des situations

particulières. L'objet de cette section est de critiquer cette approche, en prenant comme cible particulière la définition de l'adéquation empirique proposée par van Fraassen. Ceci nous permettra, dans la section suivante, de proposer une conception plus modeste et plus proche de la pratique expérimentale, qui devrait satisfaire l'empiriste.

Nous commençons par présenter cette définition de l'adéquation empirique, puis examinons tour à tour ses différents travers.

5.1.1 *Définitions traditionnelles de l'adéquation empirique*

Suivant l'approche traditionnelle, entretenue notamment par les empiristes logiques, une théorie est empiriquement adéquate si ses conséquences observables correspondent à ce qui peut être donné dans l'expérience. Si l'on exprime, à la suite de Carnap, le contenu d'une théorie axiomatique additionnée de règles de correspondances sous forme d'un énoncé logique contenant des termes d'observations et des termes théoriques (section 1.1), il est possible d'en déduire un ensemble de théorèmes qui ne contiennent que des termes d'observations. Ces théorèmes peuvent être en nombre infinis et ne sont pas forcément synthétisables en un nombre finis d'axiomes (on perd donc la systématisme de la théorie), mais ils représentent les conséquences observables de la théorie. Affirmer qu'une théorie est empiriquement adéquate, ce serait affirmer que tous ces théorèmes sont vrais du monde.

On peut comprendre cette notion de vérité des théorèmes en termes de théorie des modèles (voir section 4.2.1). En effet Carnap avait également usage de la théorie des modèles, qu'il voyait non pas comme une façon de formaliser les modèles scientifiques, comme le font les auteurs contemporains, mais comme une formalisation de la notion de vérité, appliquée à la théorie dans son ensemble : alors une théorie est vraie si le monde peut être décrit par un modèle qui vérifie cette théorie, et elle est empiriquement adéquate si le monde peut être décrit par un modèle exprimé uniquement dans un vocabulaire d'observation, pouvant être étendu en un modèle qui vérifie la théorie (c'est-à-dire que le modèle décrivant le monde est une sous-structure d'un modèle de la théorie, sa restriction au contenu observable).

Nous avons indiqué dans le chapitre précédent que la façon dont les théories se rapportent aux observations empiriques n'est pas forcément exprimable sous forme de règles de correspondance systématiques entre deux langages. Ce rapport entre théorie et expérience passe plutôt par la médiation de modèles théoriques destinés à représenter des situations

concrètes, et qui sont comparés à des modèles de données construits à partir des données brutes extraites de ces situations. Partant de là, il est clair qu'une théorie scientifique n'a pas vraiment de conséquences observables en elle-même, *in abstracto*. Elle n'en a de fait qu'une fois ses modèles mis en relation avec des situations concrètes. La notion même de « conséquences empiriques de la théorie » est donc à revoir, et il semble opportun, en conséquence, de faire intervenir la notion de modèle, et l'association de ces modèles à des situations concrètes, d'une manière plus centrale dans notre compréhension de ce qu'est l'adéquation empirique.

Une façon de faire qui ne s'éloigne pas trop de l'esprit des empiristes logiques est proposée par van Fraassen. Ce dernier affirme :

« [A theory is empirically adequate exactly if] such a theory has at least one model that all the actual phenomena fit inside. I must emphasize that this refers to all the phenomena; these are not exhausted by those actually observed, nor even by those observed at some time, whether past, present, or future. » (van Fraassen, 1980, p. 12)¹

Ce que van Fraassen entend par « fit inside » peut être précisé. Selon lui certaines parties des modèles d'une théorie qu'il appelle *sous-structures empiriques* (« empirical sub-structures ») sont candidates à la représentation directe des phénomènes observables. Les phénomènes observables trouvent leur place dans le modèle (« fit inside ») si la structure des modèles de données est isomorphe à celle des sous-structures empiriques (van Fraassen, 1980, p. 64). L'adéquation empirique doit donc se comprendre en termes d'une comparaison entre deux représentations : une représentation du monde sous forme de modèles théoriques, et une représentation des phénomènes observés sous forme de modèles de données. Une théorie est empiriquement adéquate si la seconde correspond à une sous-partie de la première. En outre un aspect caractéristique est que l'adéquation empirique concerne l'univers dans son ensemble : les phénomènes représentés sont *tous* les phénomènes, passés, présents et futurs. Le modèle pertinent est un modèle de l'univers, c'est-à-dire un modèle qui couvre l'ensemble des régions de l'espace-temps (ce modèle n'a pas à comprendre tous les *types* de phénomènes cependant).

1. « De manière précise, une théorie est empiriquement adéquate si cette théorie a au moins un modèle qui intègre tous les phénomènes actuels [tel que tous les phénomènes actuels y trouvent leur place]. Je dois souligner que ceci concerne tous les phénomènes, pas seulement ceux qui ont été effectivement observés, ni même ceux observés à un moment quelconque du temps, qu'il soit passé, présent ou futur. » (ma traduction)

L'idée que cette correspondance soit un isomorphisme a été critiquée par certains auteurs (Bueno, 1997; Suárez, 2005) mais toujours dans l'optique d'une relation d'ordre mathématique entre modèle de données et sous-structures empiriques. À notre connaissance, au-delà des détails de cette nature, la façon générale dont l'adéquation empirique est comprise dans la littérature contemporaine n'est généralement pas remise en cause. Il s'agit finalement de transposer la conception qu'en avaient les empiristes logiques à la nouvelle façon de concevoir les théories scientifiques (c'est-à-dire de la conception syntaxique à la conception sémantique).

En effet cette conception n'est pas si éloignée de celle des empiristes logiques dans la mesure où elle envisage une application cosmique de la théorie : l'univers dans son ensemble. Ici, on peut considérer que l'ensemble des phénomènes observables de l'univers dont le type appartient au domaine d'application de la théorie pourraient en principe être décrits par un modèle de données, et ce modèle serait isomorphe à la partie empirique d'au moins un modèle de la théorie. Il s'agit donc en quelque sorte de dire que ce modèle de données serait un vérificateur des conséquences observables de la théorie, ce qui rejoint la conception des empiristes logiques.

Selon nous cette façon de concevoir les choses rencontre des difficultés, que nous allons examiner maintenant.

5.1.2 *La notion d'observabilité*

Une première caractéristique de cette définition de l'adéquation empirique est son emphase sur la notion d'observable. La notion d'observable est requise s'il faut que la théorie ait des conséquences empiriques. Cette emphase sur ce qui est observable génère toutefois certaines critiques, puisqu'elle nous demande de réintroduire une distinction entre observable et inobservable, justement critiquée chez les empiristes logiques. Pour se démarquer du fondationnalisme problématique des empiristes logiques, van Fraassen (1980, p. 57) affirme que cette distinction entre observable et inobservable peut être l'objet des sciences empiriques (notamment quand il s'agit de savoir de types de phénomènes qui n'ont encore jamais été observés s'ils seraient observables) : ce sont elles qui nous renseignent sur ce qu'il nous est donné ou non d'observer. Autrement dit une théorie, combinée à d'autres théories auxiliaires, nous indique elle-même ce que sont ses sous-structures empiriques. L'observable n'est pas « donné » ; la distinction n'est pas a priori. Cependant, pour van Fraassen, le fait pour un phénomène d'être observable ou non reste indépendant de toute théorie. Il s'agit d'un fait objectif, sur lequel nos théories nous renseignent, peut-être

imparfaitement.

L'observabilité d'un phénomène est certes relative à notre position épistémique (nos organes sensoriels...), mais elle n'en est pas moins objective une fois notre communauté épistémique délimitée, et cette dépendance n'est pas en soi un problème si l'on pense que notre attitude épistémique doit dépendre d'une connaissance de notre propre position épistémique dans le monde.

Reste qu'on peut être peu convaincu qu'il existe une différence pertinente entre un objet observé directement et un objet observé à travers une vitre, des lunettes de vue ou un microscope. Les sciences empiriques ne nous fournissent pas vraiment une telle distinction tranchée. De plus nous avons vu au chapitre 1 que certaines de nos perceptions peuvent être affectées par nos croyances, et il n'y a pas toujours de raison de leur apporter plus de crédit qu'à des observations indirectes qui utilisent des processus fiables. Enfin il n'est pas certain que notre communauté épistémique soit une entité parfaitement circonscrite. Ainsi Paul Churchland remarque qu'il peut y avoir différentes raisons pour lesquelles un phénomène n'est pas *observé* : ce peut être parce qu'il est trop éloigné spatialement ou temporellement, parce qu'il est trop petit, parce qu'il a une énergie trop faible pour être discriminé par nos sens... Parler d'observable revient à accorder une moindre importance à la première raison (ce qui est trop éloigné reste observable), mais il s'agit d'un fait contingent que nous avons plus de contrôle sur nos capacités de déplacement que sur, par exemple, la sensibilité de nos organes sensoriels : pourquoi ne pas étendre notre communauté épistémique à d'hypothétiques agents capables d'augmenter leur sensibilité visuelle ? (Churchland et Hooker, 1985, ch. 2).

Une autre difficulté concerne l'aspect apparemment modal de la notion d'observable, qui semble en faire une propriété qui va au-delà de l'expérience actuelle (Ladyman, 2000; Rosen, 1994).

Si van Fraassen insiste sur « observable » plutôt que simplement « observé », c'est en vue de rendre justice à la pratique scientifique : si tout ce qui comptait était que la théorie colle à ce qui est observé, on ne ferait jamais d'expériences pour générer de nouveaux phénomènes jamais observés : ce serait prendre un risque inutile. Pourtant c'est ce que fait tout bon scientifique. Mais si les scientifiques veulent que leurs théories soient empiriquement adéquates pour tous les phénomènes observables, ce risque devient compréhensible.

Il s'agit d'un argument caractéristique de sa vision de l'empirisme constructif comme une position portant sur le but de la science plutôt que comme une position sur le statut de la connaissance scientifique (voir la

section 1.2.3) : l'empirisme constructif et la notion d'adéquation empirique associée doivent rendre compte des objectifs des scientifiques, et de leur pratique comme d'une activité rationnelle pour atteindre ces objectifs. Pour autant, cette position doit également se prémunir de toute inflation métaphysique, en particulier quand il s'agit d'adhérer ou non aux modalités naturelles, et il y a donc à première vue une tension entre ces deux objectifs : comment interpréter l'aspect apparemment modal de la notion d'observabilité en rendant justice à la pratique scientifique, mais sans adhérer aux modalités naturelles ?

Van Fraassen explicite la notion d'observabilité à l'aide d'un énoncé modal : si X est observable, alors si nous rencontrions X dans les bonnes circonstances et dans de bonnes conditions, nous observerions X. Or selon lui les énoncés modaux n'ont pas de conditions de vérité : ce sont des aspects de nos théories, et en particulier de nos modèles, non de la réalité. Ces énoncés acquièrent des conditions de vérité uniquement quand le contexte est fixé (ils s'accompagnent généralement de clauses *ceteris paribus*). Mais alors comment la notion d'observable peut-elle être objective et indépendante des théories ?

En réponse à cette difficulté, van Fraassen affirme qu'en dépit des apparences, la propriété d'être observable n'est pas modale : elle implique seulement des énoncés modaux dont les conditions de vérités sont contextuelles (Monton et van Fraassen, 2003), mais il s'agit en fait d'une propriété objective des phénomènes, de même que certains états de fait (comme le fait qu'une lettre soit dans un tiroir) impliquent certains énoncés modaux (comme le fait que si l'on ouvrait le tiroir, on trouverait la lettre). Cependant on peut penser à l'instar de Ladyman (2004) que van Fraassen nous doit une qualification plus précise de ce que recouvre la propriété d'être observable, s'il s'agit d'une propriété objective, que le fait qu'elle implique des énoncés modaux sans conditions de vérité, en particulier quand elle concerne des phénomènes qui n'ont encore jamais été observés. Le fait qu'une lettre soit dans un tiroir est un fait observable, et on peut comprendre en quoi il s'agit d'un fait objectif, mais le fait qu'un phénomène observable soit observable n'est pas en soi très informatif. Il faut donc en dire plus. Le problème est que si ce sont les théories elles-mêmes qui nous permettent de savoir ce qui est observable, il n'est pas certain qu'on puisse adhérer à cette notion d'observabilité sans également croire que nos théories sont vraies, y compris dans leurs implications modales (dans ce qu'elles disent de l'impact possible des photons sur notre rétine par exemple).

Dicken (2007) propose que nous adoptions la même attitude envers les modalités qu'envers les objets inobservables postulés par nos théories :

un engagement plutôt qu'une croyance en leur existence (suivant la distinction de van Fraassen entre « accepter » et « croire »). Cependant si cette attitude s'applique à la notion d'observabilité, et si un tel engagement envers un énoncé consiste à seulement croire que ses conséquences observables sont vraies, nous risquons d'aboutir à une trivialisation de la notion d'observabilité.

Imaginons en effet une théorie de l'observabilité qui synthétise nos connaissances sur le sujet. Cette théorie nous dit d'un phénomène s'il est ou non observable. Selon le précepte de l'empirisme constructif, nous devrions seulement croire que cette théorie est empiriquement adéquate, c'est-à-dire que ce qu'elle dit est vrai des phénomènes observables. Mais alors puisque tout ce qu'elle nous dit est que ces phénomènes sont observables, nous ne croyons rien de substantiel, si ce n'est que les phénomènes observables sont en effet observables, ce qui est une tautologie. Bien sûr les implications de cette théorie ne sont pas uniquement celles-ci puisque observable implique observé dans les circonstances adéquates. Donc la théorie nous dit également que chaque fois que les circonstances sont bonnes, ces phénomènes sont observés. Mais si la notion d'observabilité se ramène substantiellement au fait d'être observé quand les bonnes conditions sont réunies, alors l'adéquation empirique, dans ce qu'elle a de substantielle, se ramène à une question de phénomènes observés plutôt qu'observables : une théorie est empiriquement adéquate si chaque fois que les circonstances sont bonnes, ce qu'elle dit des phénomènes observables (donc observés puisque les circonstances sont bonnes) est correct. Ceci contredit l'idée qu'il faudrait faire justice à la pratique scientifique en prenant en compte tous les phénomènes observables, pas seulement ceux qui sont observés.

Si l'on est sceptique vis-à-vis des modalités naturelles, nous devrions donc trouver une autre façon de rendre justice à la pratique scientifique qu'en faisant appel à la notion problématique d'observable.

5.1.3 Quid des conditions d'application d'un modèle ?

Chercher à délimiter ce qui, dans nos théories, peut correspondre à l'expérience rencontre donc une première difficulté, qui est d'exiger d'établir une distinction entre observable et inobservable. Une seconde difficulté est qu'elle se concentre uniquement sur les phénomènes observables, et plus précisément sur leur transcription en modèles de données, au détriment d'autres aspects de la confrontation expérimentale qui pourraient entrer en jeu, en particulier nos interventions. Elle ne s'intéresse pas, par exemple, à la manière dont on s'assure qu'un modèle représente en effet une situation

avant de comparer ce modèle à un modèle de données. Il n'y a pas de raison que ces aspects soient contenus dans le modèle de données comme description de la structure des phénomènes observés, même si ce modèle de données est qualifié en termes de degrés de liberté². Un modèle de données ne spécifie pas l'interaction supposée du système étudié et de son environnement, pas même le type de système dont il est question, et les mesures pourront ne porter que sur une sous-partie du système, mais les expérimentateurs se seront assurés par d'autres moyens que des mesures que le modèle dans son ensemble représente bien le dispositif expérimental.

Rappelons les différentes composantes d'un modèle que nous avons identifié dans le chapitre précédent : le type de système (ses degrés de liberté et ses propriétés intrinsèques), les conditions initiales du système, l'interaction du système avec son environnement et les propriétés mesurées. Savoir qu'un modèle représente en effet une situation nous demande une mise en correspondance de chacun de ces aspects avec la situation : on sait, par exemple, que la situation expérimentale correspond au cas de deux électrons intriqués, qu'ils sont dans tel état initial, soumis à tel champs électromagnétique et qu'on va les mesurer de telle façon. Cette mise en correspondance ne consiste pas simplement à constater qu'une situation et un modèle correspondent, mais la plupart du temps à intervenir dans le monde de manière à *créer* la situation qui nous intéresse. Si l'on ne tient pas compte de ces aspects, on risque de devoir affirmer qu'un modèle est empiriquement adéquat alors qu'aucun scientifique n'affirmerait une telle chose, puisqu'il ne considérerait pas qu'il s'agit d'un modèle de la situation, quand bien même il y a isomorphisme entre les données obtenues et le modèle.

Certains de ces aspects (notamment ceux qui relèvent du constat) sont sans doute retranscrits dans le modèle de données : par exemple rien n'empêche d'y intégrer les conditions initiales du système qu'on assimilera au résultat d'une première mesure, et les données de ce modèle peuvent être qualifiées comme étant des mesures de tel ou tel degré de liberté à tel instant, ce qui permet de spécifier les propriétés mesurées. Mais la détermination du type de système auquel nous avons affaire et de la manière dont il interagit avec son environnement ne se réduisent pas forcément à

2. Si le modèle n'est pas qualifié mais considéré comme une pure structure mathématique, d'autres problèmes se posent liés à l'argument modèle-théorique de Putnam, similaire à l'objection de Newman envers le réalisme structural (voir la section 3.2). L'adéquation empirique comme isomorphisme entre deux structures serait trop facile à obtenir. Cependant van Fraassen (2008, ch. 8-11) répond à ces problèmes de manière satisfaisante selon nous.

des phénomènes observables, au sens où ils se ramèneraient à des données mesurées lors de l'expérience plutôt que, par exemple, un ensemble de procédures permettant de produire ce système. Autrement dit il est douteux que seules de bonnes prédictions nous assurent que nous avons affaire au bon type de système : cette conception de l'adéquation empirique passe sous silence d'autres aspects de la pratique expérimentale, en particulier nos interventions.

Peut-être pourrait-on ramener tous ces aspects à encore et toujours plus de phénomènes observables, même non observés, élargissant notre modèle de données non plus seulement au système étudié mais à l'ensemble des appareils de mesure et à l'environnement du système. On pourrait arguer que précisément, un modèle de l'univers contiendrait tous ces aspects. Il contiendrait notamment tout ce qui résulte des interventions mises en œuvre lors d'une expérience. Mais ceci nous demande d'adopter une position de surplomb peut-être difficilement conciliable avec un empirisme. En outre la question se pose de savoir si cette stratégie fonctionne, notamment en mécanique quantique. S'intéresser à un système quantique en vue de lui appliquer un modèle exige que ce système soit pensé comme distinct de son environnement. C'est en particulier une condition pour pouvoir parler de décohérence. En l'absence d'environnement qui puisse spécifier ce qui sera mesuré sur le système (ce que la théorie de la décohérence permet en spécifiant une « base préférée »), il n'est pas certain que le modèle fasse encore des prédictions³. Mais l'univers dans son ensemble n'a pas d'environnement... Comment alors parler d'isomorphisme entre le modèle de donnée et une partie du modèle théorique si ce dernier ne contient pas de prédictions ?

Indépendamment de ces difficultés, le problème de cette stratégie peut être qu'en l'absence de contraintes externes au modèle de données sur le fait que le modèle s'applique ou non à l'univers, l'adéquation empirique pourrait être toujours trop facile à obtenir. L'adéquation empirique ainsi définie n'exige pas que le modèle de l'univers proposé par la théorie fasse de bonnes prédictions, en plus d'être un modèle de l'univers. La raison en est simple : être un modèle de l'univers c'est, selon cette définition, rien de plus que faire de bonnes prédictions. Il suffit donc qu'il existe au moins un tel modèle pour que la théorie soit empiriquement adéquate. Mais n'est-il pas possible, en principe, de trouver, pour n'importe quelle théorie ou presque, un modèle qui, à coup d'hypothèses ad-hoc, en viendra à correctement décrire les phénomènes observables ? Si c'est le cas notre

3. S'il en fait, elles ne respectent plus les règles standard du calcul des probabilités.

définition de l'adéquation empirique risque de ne plus dire grand-chose, là où certaines contraintes sur les conditions d'application des modèles pourraient permettre d'éviter ce problème.

Le problème est encore exacerbé par les théories probabilistes. Un modèle probabiliste associe des probabilités à différentes prédictions possibles, par exemple à différents déroulements possibles d'une même expérience. Il est généralement confronté à des séquences d'expériences similaires, ce qui permet de vérifier qu'en effet les prédictions les plus probables se produisent plus régulièrement. Mais il n'y a pas, bien sûr, de séquences d'univers, et il se peut qu'à peu près n'importe quel modèle suffisamment riche d'une théorie probabiliste soit un modèle de l'univers si seulement les phénomènes observables correspondent à l'un des déroulements possibles du modèle, aussi peu probable soit-il. On pourrait en plus exiger que la probabilité de ce déroulement soit relativement forte. Mais ceci nous demande d'introduire un seuil arbitraire, et on peut supposer qu'en général, un modèle probabiliste de l'univers aura une infinité de déroulements possibles, chaque déroulement ayant une probabilité infime de se produire. En tout cas ce type de confirmation est aussi faible que celui qui consisterait à ne faire qu'un essai pour tester une loi probabiliste, et nombreuses sont les théories qui pourraient réussir le test.

On pourrait alors ajouter d'autres critères : par exemple que la théorie ou le modèle de l'univers soient simples. Van Fraassen accepte en effet que des critères pragmatiques entrent en jeu dans notre engagement envers les théories scientifiques (il parle notamment d'informativité). Mais si vraiment l'adéquation empirique est si facile à obtenir, ce sont ces critères pragmatiques qui prennent le dessus sur ce qui constitue un bon modèle de l'univers, et la position serait à rapprocher d'un instrumentalisme plutôt que d'un empirisme : le but de la science n'est plus de construire des modèles empiriquement adéquats, mais des modèles simples et efficaces. Il n'est pas certain qu'on puisse rendre compte de tous les aspects de la pratique expérimentale, comme les ajustements entre modèle et situation et les différents contrôles, sous l'angle exclusif de critères pragmatiques, sans rapport à l'adéquation empirique.

Les scientifiques s'assurent généralement par différents moyens que leurs critères d'application sont robustes. Si une hypothèse ad-hoc (comme le dysfonctionnement d'un appareil) est invoquée pour « sauver une théorie », cette hypothèse doit être vérifiée par différents contrôles, elle doit elle-même donner lieu à de nouvelles prédictions⁴. Ce serait incompréhensible.

4. il s'agit d'un critère invoqué par Lakatos (1978).

sible si le but était de simplement construire un modèle qui correspond aux modèles de données construits à partir des expériences : on pourrait alors se contenter de faire des hypothèses ad-hoc, concernant des aspects non directement observables, pour sauver la théorie, sans chercher à les vérifier par de nouvelles expériences.

L'existence d'un isomorphisme entre la structure des phénomènes observés et une partie d'un des modèles de la théorie est donc insuffisante pour l'adéquation empirique : il faut encore avoir recours à d'autres aspects de la confrontation empirique qui nous permettent de savoir de manière relativement systématique qu'un modèle théorique représente bien une situation et pas une autre, ce indépendamment des prédictions de ce modèle. Ces aspects ne sont pas seulement de l'ordre de l'observation passive, mais aussi de l'intervention, ce qui rend le modèle de données inapte à les représenter dans leur intégralité.

5.1.4 *Le modèle de l'univers*

Au-delà de la notion d'observabilité, la principale caractéristique de l'adéquation empirique traditionnellement comprise, et en particulier telle qu'elle est précisée par van Fraassen, est qu'elle envisage un unique modèle de l'univers qui intégrerait tous les phénomènes observables, passés, présents et futurs. On pourrait peut-être concevoir que l'ensemble des modèles que nous appliquons à des situations concrètes pourraient en principe être considérés comme des sous-parties d'un hypothétique modèle de l'univers qui les contiendrait tous, si bien que chaque confirmation empirique de la théorie confirmerait indirectement l'existence d'un tel modèle de l'univers, qui contiendrait toutes les confirmations expérimentales possibles, y compris celles qui n'ont pas été réalisées. Le modèle de l'univers serait une manière d'étendre l'adéquation empirique à tous les phénomènes, pas seulement ceux qui sont expérimentés.

L'idée qu'il existe quelque chose comme un modèle de l'univers est assez répandue, y compris dans les camps réalistes⁵. Il n'est pas rare, par exemple, d'entendre parler de la « fonction d'onde de l'univers » dans la littérature de métaphysique des sciences. Cette idée n'est pas sans poser des difficultés (notamment, comme nous l'observons, du fait que l'univers n'a pas d'environnement qui pourrait assurer sa décohérence) mais ce n'est pas ici notre propos.

Nous avons critiqué dans la partie précédente l'idée que nos théories

5. Pour un exemple éloquent, voir Belot (2016)

scientifiques auraient de facto une application cosmique : il faudrait plutôt concevoir qu'elles s'appliquent à des situations diverses par l'entremise de différents modèles. Si l'adéquation empirique selon l'empirisme constructif pouvait paraître insuffisamment contraignante en regard des conditions d'application des modèles, on pourra la juger au contraire trop contraignante quand il s'agit d'exiger qu'un modèle de la théorie puisse s'appliquer à une situation universelle⁶.

Dire qu'une théorie est empiriquement adéquate est une affirmation apparemment substantielle : nous pensons pouvoir savoir ce que cette croyance recouvre. Cependant nous ignorons presque tout de cet hypothétique modèle de l'univers. Il se peut même qu'un tel modèle ne soit pas mathématiquement constructible si l'univers est de taille infinie et non régulier. Nous pourrions donc croire qu'une théorie est empiriquement adéquate, c'est-à-dire que son contenu empirique correspond aux phénomènes observables, sans pour autant savoir quel est ce contenu empirique et en étant même assuré qu'on ne le saura jamais : nous le découvrons en fait partiellement au fil de nos expériences et de nos observations. Cette conception de l'adéquation empirique consiste donc à croire en une correspondance entre deux objets (le monde et le modèle de l'univers) que nous ne connaissons pas entièrement : elle nous demande d'adopter une croyance dont le contenu ne nous est pas parfaitement transparent. Elle semble dire à la fois trop et pas assez. Trop parce qu'elle nous demande de croire en l'existence d'un modèle de l'univers qui décrirait l'ensemble des phénomènes observables (ce qui n'est pas entièrement dénué de métaphysique, puisque ça nous demande au moins d'adhérer à une forme d'éternalisme, à savoir l'idée que les phénomènes passés et futurs existent au même titre que les phénomènes présents) et pas assez parce qu'elle ne nous dit pas, bien sûr, quel est exactement le contenu de ce modèle.

6. Dans ses ouvrages plus récents, van Fraassen (2008) s'intéresse à la représentation scientifique et prend systématiquement des exemples où un modèle représente une situation particulière. Il met l'accent sur l'aspect situé de la représentation, conçue comme une relation à trois places : l'objet de la représentation, le modèle et l'utilisateur du modèle. On peut penser que l'univers dans sa totalité n'est jamais l'objet d'un sujet situé dans cet univers, et que van Fraassen serait donc enclin à rejeter l'idée que les théories s'appliquent à tout l'univers. Cependant cet aspect situé ne transparait pas dans la définition d'adéquation empirique de ses premiers écrits, et il ne nous en fournit pas d'autre. L'idée que l'adéquation empirique doive se comprendre en termes d'un unique modèle de l'univers est également reprise dans van Fraassen (1989, p. 228) : « empirical adequacy consists in the embeddability of all [the empirical structures in the world] in some single model of the world allowed by the theory. » (« l'adéquation empirique consiste en la possibilité d'incorporer toutes [les structures empiriques dans le monde] dans un unique modèle du monde permis par la théorie », ma traduction)

Cette conception n'est pas en soi contradictoire ni vide, puisqu'une théorie apporte des contraintes sur ce qu'il est possible d'observer, mais elle n'est pas parcimonieuse, et on pourrait penser qu'il existe une meilleure façon d'expliciter ce en quoi consiste notre adhésion. Il pourrait s'agir par exemple de resserrer la notion d'adéquation empirique pour se concentrer justement sur les contraintes qu'une théorie apporte aux observations, ou aux phénomènes, sans forcément supposer que ces contraintes doivent être agrégées en un modèle de l'univers. Cette approche n'exclut pas de concevoir que l'adéquation empirique s'applique en principe à *tous* les phénomènes.

De manière plus générale, on peut reprocher à cette conception d'être déconnectée de la pratique scientifique. Ce que nous attendons d'une conception de l'adéquation empirique est qu'elle spécifie les « règles du jeu » de la science, et de la confrontation empirique en particulier, c'est-à-dire qu'elle nous dise exactement quand une théorie échoue ou non à être empiriquement adéquate. Les scientifiques peuvent avoir, à titre personnel, une vision de type « univers bloc », mais ce présupposé ne semble pas requis quand il s'agit de savoir si une théorie échoue ou non un test empirique. Affirmer qu'une théorie échoue quand il n'est plus possible de construire un modèle de l'univers à partir d'elle ne semble pas très informatif : au mieux, il semble que ce soit la conséquence d'un échec expérimental qu'un tel modèle ne puisse plus être construit.

Mis à part en cosmologie, nous ne construisons jamais de modèles de l'univers à partir d'expériences isolées, et les modèles de la cosmologie ne correspondent pas au modèle de l'univers invoqué par van Fraassen⁷. Nous n'avons pas besoin de noter précisément la date et le lieu d'une expérience pour savoir si celle-ci confirme ou infirme une théorie. À la limite, les données récoltées elles-mêmes, comme le fait qu'un électron ait été mesuré dans telle position plutôt que telle autre, sont dérisoires : c'est le résultat de l'expérience, sa significativité, qui importe⁸. Si le but des scientifiques était réellement de construire une théorie contenant un modèle de l'univers, on peut penser qu'ils prendraient la peine d'associer des dates et lieux précis à chaque expérience pour les relier entre elles, mais ce n'est pas ce

7. Ils ne décrivent pas tous les phénomènes de l'univers. Par exemple, on considère généralement, à titre d'idéalisation, que l'univers est homogène, c'est-à-dire qu'on se place à une échelle bien supérieure à celle des galaxies.

8. C'est le cas en tout cas pour les sciences non historiques auxquelles nous nous intéressons ici. Les sciences historiques, comme la cosmologie, ne respectent pas le principe d'indexicalité que nous avons proposé au chapitre précédent : il faudrait les concevoir comme proposant des modèles plutôt que des théories fondamentales.

qu'ils font. De nouveau la notion d'adéquation empirique proposée semble ne pas répondre à l'objectif que l'empirisme constructif se fixe, qui est de rendre compte de manière minimale de la pratique scientifique comme d'une activité rationnelle.

Ceci est lié aux aspects sur lesquels nous avons mis l'emphase dans le chapitre précédent : un modèle théorique est purement indexical ; il ne fait référence à des lieux et instants particuliers de l'univers qu'en contexte. Le fait qu'une théorie ou un modèle soit empiriquement adéquat devrait alors logiquement être conçu comme quelque chose qui ne dépend pas du moment, du lieu ou des objets auxquels on applique la théorie ou le modèle. La théorie devrait être empiriquement adéquate en tous lieux et en tous temps. Il ne devrait donc pas être nécessaire, en principe, de faire référence à un modèle particulier de la théorie qui devrait être situé pour exprimer cette adéquation empirique, ni même de situer les différentes expériences les unes par rapport aux autres. C'est finalement l'idée, héritée des empiristes logiques, que les théories sont des descriptions du monde, des propositions sur le monde, plutôt que des systèmes conceptuels abstraits, qui nous amène à envisager une notion d'adéquation empirique déconnectée de la pratique effective des scientifiques.

Il semblerait au final qu'une conception de l'adéquation empirique en termes de succès prédictif des modèles de la théorie, qui tienne compte des conditions d'application de ces modèles sans invoquer de distinction entre ce qui est ou non observable, ni invoquer un hypothétique modèle de l'univers, soit plus appropriée. Il s'agit d'une approche plus modeste et plus proche de la pratique empirique. C'est ce que nous allons proposer dans la section qui suit.

5.2 L'adéquation empirique comme succès prédictif des modèles

Si vraiment l'objet de la notion d'adéquation empirique est d'éclairer le type d'adhésion (peut-être minimal) qu'on peut avoir envers nos théories, et qui doit se refléter dans la façon dont nos théories sont confrontées à l'expérience, peut-être est-il de bon ton de rester proche de cette pratique. À ce titre, une manière intuitive de formuler ce qu'on attend d'une théorie empiriquement adéquate est la suivante : la théorie fera de bonnes prédictions quand on l'appliquera à des situations concrètes. Elle continuera d'en faire quelles que soient ces situations. Voire : elle aurait fait de bonnes prédictions si on l'avait appliqué à une situation concrète du monde, ce

quelle que soit cette situation, et même si cette application n'a de fait pas eu lieu (la théorie de Newton ferait par exemple de bonnes prédictions si on l'appliquait à la chute des pierres sur Mars, même si c'est impossible de le vérifier en l'état). Ou enfin peut-être : elle aurait fait de bonnes prédictions si on l'avait appliqué à une situation concrète, non seulement si cette application n'a pas eu lieu, mais même si la situation elle-même ne s'est pas produite⁹.

Cette façon de voir les choses rend justice à certains aspects de la proposition de van Fraassen, en particulier l'emphase sur tous les phénomènes observables, qu'ils soient passés, présents ou futurs. On ne se restreint pas aux phénomènes dont on a fait l'expérience, mais on considère tous les phénomènes dont nous aurions pu ou pourrions faire l'expérience. Mais elle a plusieurs avantages : elle ne fait pas directement référence à la notion problématique d'observabilité, mais plutôt aux notions d'application d'un modèle et de prédictions qui renvoient directement à la pratique scientifique. Elle tient compte des conditions d'application d'un modèle, pas seulement de ses prédictions, et incidemment de nos interventions, pas seulement de nos observations. Enfin elle n'exige pas qu'on puisse en principe construire un modèle de l'univers, et est donc moins abstraite.

Nous proposerons en annexe de ce chapitre une formulation mathématique des différentes notions introduites, mais contentons-nous pour l'instant de formulations en langage naturel. Si l'on considère un modèle de la théorie (par exemple un modèle du système solaire), on dira qu'il est empiriquement adéquat s'il fait de bonnes prédictions quand on l'applique à une situation concrète. Nous pouvons formuler les choses comme suit :

Adéquation empirique (modèle) : Un modèle d'une théorie est empiriquement adéquat si et seulement si, pour toutes les situations concrètes du monde auxquelles le modèle est applicable, toutes les prédictions du modèle sont correctes.

C'est-à-dire qu'un modèle est empiriquement adéquat s'il fait de bonnes prédictions chaque fois qu'il s'applique à une situation. Nous en dirons plus bientôt sur ce que recouvrent les différentes notions impliquées, mais pour déjà donner une idée intuitive, si par exemple nous avons un modèle théorique décrivant un électron dans un champ électromagnétique ayant une certaine direction de spin par rapport à ce champ, et si un scientifique

9. On voit difficilement la différence entre les deux dernières options si l'on considère que l'application d'un modèle relève de l'intervention, et donc crée des situations qui ne se seraient pas normalement produites. Nous verrons plus loin que c'est selon nous un argument pour adopter l'empirisme modal, qui est la position défendue dans ce travail.

compétent sait reconnaître qu'une situation expérimentale (un appareil qui produit des électrons, un aimant...) correspond bien à ce modèle, alors on dira que le modèle est applicable à la situation. Si ensuite l'électron est mesuré à une certaine position et qu'il s'agit de la position prédite par le modèle, alors on dira que les prédictions du modèle sont correctes. Si enfin chaque fois que cette même situation se présente dans l'univers l'électron serait en principe mesuré à cette position, alors le modèle est empiriquement adéquat.

Nous pouvons ensuite dire qu'une théorie est empiriquement adéquate si tous ses modèles le sont. Nous comprenons les modèles d'une théorie comme l'ensemble des structures mathématiques décrites dans le vocabulaire de la théorie et qui vérifient ses axiomes. On pourra éventuellement se restreindre à un sous-ensemble de ces modèles : non pas n'importe quelle structure, mais celles qui sont réellement candidates à la représentation de systèmes physiques (voir la section 4.2.2). Parlons alors de modèle physique. Rappelons également que dans notre approche, un modèle incorpore le maximum d'éléments pertinents pour être associé à une situation particulière, y compris par exemple un système de coordonnées ou une jauge, ce qui le différencie d'un modèle abstrait (voir la section 4.2.1). On pourra formuler :

Adéquation empirique (théorie) : Une théorie est empiriquement adéquate si tous ses modèles physiques le sont.

Si l'on combine ces deux définitions : une théorie est empiriquement adéquate si et seulement si, quel que soit le modèle de la théorie et quelle que soit la situation concrète à laquelle ce modèle s'applique, toutes les prédictions du modèle sont correctes.

Notons que selon ces définitions, un modèle qui n'est applicable à aucune situation est empiriquement adéquat par défaut. Le fait que certains modèles de la théorie ne s'appliquent jamais ne l'empêche donc pas d'être empiriquement adéquate. Il peut paraître contre-intuitif de dire d'un modèle qui ne s'applique pas dans le monde qu'il est empiriquement adéquat, mais il s'agit essentiellement de simplifier nos définitions (nous aurions pu dire : un modèle est empiriquement adéquat s'il s'applique au moins une fois et prédit avec succès chaque fois qu'il s'applique, et une théorie est empiriquement adéquate si tous ses modèles qui s'appliquent au moins une fois le sont, mais le résultat aurait été le même). Disons que l'on comprend l'adéquation empirique comme le fait de n'être infirmé par aucune situation concrète, ce qui est le cas des modèles qui ne s'appliquent jamais.

Il nous faut maintenant préciser chacune des notions invoquées : ce

qu'est une situation, ce qu'est l'applicabilité et ce que sont les prédictions d'un modèle. Nous proposerons au passage un parallèle entre notre approche et d'autres propositions, dans le cadre de la philosophie du langage, qui font également usage de la notion de situation. Puis nous nous demanderons si cette conception de l'adéquation empirique permet d'éviter les travers de la conception traditionnelle.

5.2.1 *Qu'est-ce qu'une situation ?*

Nous avons donné un exemple intuitif pour illustrer les notions d'applicabilité, de situation et de prédictions. Nous pouvons en donner un autre : si par exemple un modèle décrit un ensemble de corps massifs orbitant autour d'un autre corps massif, et si les positions de ces corps et leurs masses correspondent aux planètes de notre système solaire et au soleil, alors on dira que le modèle est applicable au système solaire. Si la trajectoire suivie ensuite par les planètes correspond aux prédictions du modèle, alors on dira que les prédictions sont bonnes.

Une situation est donc un domaine de la réalité auquel nous pouvons en principe avoir un accès épistémique. Il s'agit de quelque chose dont on peut faire l'expérience, d'un objet possible de l'expérience. Il n'est cependant pas requis qu'une situation soit entièrement décrite dans un langage d'observation théoriquement neutre. Nous pouvons décrire un système physique comme étant un électron, ou affirmer qu'un appareil produit un faisceau d'électrons. Il s'agit là de termes théoriques qui décrivent la situation. La question de savoir si cette description est correcte (c'est-à-dire la question du réalisme) ne nous intéresse pas à ce stade. Nous voulons simplement préciser qu'une situation se distingue des descriptions et représentations qu'on peut s'en faire. Il ne s'agit pas d'une entité linguistique, ou abstraite ou représentationnelle, mais d'un domaine concret de la réalité qui peut être décrit en utilisant le langage que l'on souhaite.

Nous avons remarqué dans le chapitre précédent que c'est au stade de la confrontation expérimentale seulement qu'une théorie peut être associée à des objets, instants ou lieux particuliers auxquels on fait référence par ostentation et qu'on situe relativement à notre propre position. Nous pouvons associer ces différentes caractéristiques au fait de décrire une situation. La principale caractéristique d'une situation n'est donc pas d'être observable, au sens où on pourrait la décrire correctement en utilisant un langage d'observation, mais d'être concrète et occurrente : elle est identifiable par ostentation uniquement. Y faire référence nous demande d'avoir recours à un langage indexical qu'on appliquera en contexte.

Nous avons donc toujours accès à une situation depuis un point de vue, et on pourrait dire que l'expérience est une relation entre un ou des agents épistémiques et une situation, cette relation étant de l'ordre de la perspective¹⁰. En ce sens, l'expérience n'épuise pas forcément la situation dont elle est l'expérience. Cependant il est raisonnable de penser qu'une situation est dotée de caractéristiques objectives, ou objectivables, ou a minima intersubjectives. Les données issues d'une expérience étant robustes et objet de consensus, nous pouvons considérer qu'elles sont une description de certaines des caractéristiques objectives de la situation, celles auxquelles nous avons le plus directement accès. Ces caractéristiques objectives peuvent concerner la situation elle-même (par exemple l'état physique d'un système) ou une relation entre la situation et son environnement, ou entre la situation et nous, et peuvent être constatées ou produites (par exemple les propriétés qu'on choisit de mesurer de cette situation sont de l'ordre de la relation entre la situation et nous, et sont une caractéristique produite, si elles résultent d'un choix expérimental, plutôt que constatée).

Remarquons que si une situation est un domaine concret de la réalité, ce domaine n'a pas à avoir une étendue spatiale et temporelle particulière : ce peut être le système solaire évoluant sur des dizaines d'années comme ce peut être un seul électron sur une plage de quelques millisecondes. Cependant il est raisonnable de penser qu'une situation est bornée dans l'espace et le temps : nous n'appliquons pas de modèles à des systèmes infiniment étendus dans l'espace et le temps (quand bien même les modèles qu'on leur applique le sont). La raison en est qu'une situation qui peut faire l'objet d'une expérience doit s'insérer dans un cadre épistémique fini : nous devons pouvoir reconnaître les conditions initiales d'un système à un instant donné, et nous assurer que les appareils de mesure continueront de fonctionner tout au long de l'expérience. L'expérience a donc un début et une fin. Ceci exclut l'idée que les situations pourraient être agrégées en une unique situation cosmique.

On peut imaginer que les situations obéissent à une méréologie : la combinaison de deux situations, qu'elles soient contiguës spatialement ou successives dans le temps, est encore une situation. On peut par exemple considérer un objet en chute libre plongé dans le champ gravitationnel terrestre, ce qui correspondra à une situation expérimentale, et on peut également considérer un système composite en intégrant dans ce système notre objet et la terre elle-même, ce qui correspondra à une situation plus

10. On trouve chez van Fraassen (2008) une discussion intéressante des aspects relatifs à la perspective dans les mesures scientifiques, notamment ch. 7.

englobante incluant des éléments (en l'occurrence la terre) qui étaient considérés comme appartenant à l'environnement de la première situation. Ou encore on peut prolonger une expérience dans le temps ou ne considérer qu'une étape de l'expérience. Ce sont des cas où l'on peut dire qu'une situation est la partie propre d'une autre situation. Nous reviendrons en détail au chapitre 9 sur ces aspects méréologiques.

Enfin on peut se demander quelles sont les bornes exactes d'une situation, et ce qui permet de la distinguer de son environnement. À ceci on fera une réponse pragmatique : ce sont les intérêts des expérimentateurs qui fixent ces limites. Celles-ci n'ont pas forcément à être objectives, mais peuvent être conventionnelles, bien que certaines délimitations peuvent être plus pertinentes que d'autres. Les situations peuvent aussi être produites et isolées artificiellement, comme quand on isole un système de son environnement pour mieux l'étudier. On peut penser également que nos théories elles-mêmes participent à cette délimitation de situations expérimentales distinctes de leur environnement.

Pourquoi a-t-on besoin de situations ? L'objet n'est pas ici de proposer une ontologie. Au contraire : il s'agit de rester le plus neutre possible tout en rendant compte de la confrontation expérimentale des théories. Ainsi nous n'affirmons pas que les situations sont des primitifs ontologiques. Peut-être par exemple ne sont-elles que des collections de phénomènes (ce qui permettrait de s'approcher de l'empirisme constructif) ou des régions de l'espace-temps peuplées d'objets et de propriétés, ou peut-être seulement d'événements. Ces questions d'ordre ontologique ne nous intéressent pas réellement. Pour autant, les situations sont des objets bien définis sur le plan épistémique : quand nous menons à bien une expérience scientifique, nous rencontrons une situation que nous sommes capables de caractériser de diverses manières. Le langage des situations ne vise pas à nous renseigner sur la nature la réalité, mais à exprimer le contenu de nos expériences possibles.

La notion de situation que nous utilisons n'est pas entièrement étrangère à celle développée par Barwise et Perry (1983) dans le cadre de la philosophie du langage. Nous y revenons en détail section 5.2.4. Mais avant cela, il nous faut préciser les autres notions impliquées dans notre conception de l'adéquation empirique.

5.2.2 L'applicabilité d'un modèle et ses prédictions

Nous avons vu dans le chapitre précédent que la confrontation empirique d'un modèle suppose de l'associer à une situation concrète : recon-

naître que le système est du bon type, associer ses degrés de liberté à un référentiel concret, reconnaître qu'il est dans les bonnes conditions initiales par une mesure préparatoire, enfin associer les propriétés mesurées à des appareils de mesure. Ce sont toutes ces associations qui nous indiquent que le modèle est applicable à la situation.

Il s'agira donc d'identifier des caractéristiques objectives de la situation. Nous avons remarqué dans la section précédente que ces caractéristiques peuvent être de l'ordre de la relation entre une situation et le cadre épistémique depuis lequel on l'observe. Il faut voir également que cette relation est à double sens : il s'agit autant, au cours d'une expérience, d'observer la situation que d'intervenir. Ce sont donc ces caractéristiques objectivables qui permettent de savoir qu'un modèle s'applique et fait de bonnes prédictions.

Nous avons remarqué dans le chapitre précédent que les moyens d'identifier ces caractéristiques, qui relèvent de la transcription de l'expérience dans un langage théorique (et inversement), sont contextuelles et difficilement systématisables. Ce peut être une difficulté pour notre conception de l'adéquation empirique que d'impliquer des notions qu'on ne peut vraiment expliciter plus avant. Cependant, c'est une difficulté dont il faudra s'accommoder, et on se contentera donc de remarquer que l'identification des caractéristiques qui permettent d'associer une situation et un modèle et de savoir qu'un modèle prédit avec succès sont robustes. Elles sont l'objet de consensus de la part des expérimentateurs, même quand ceux-ci défendent des hypothèses concurrentes (voir la section 4.4). Nous considérerons donc ici la notion d'applicabilité comme une « boîte noire », dont on délèguera l'examen précis aux philosophes de l'expérimentation. Tout au plus, s'il est besoin d'affiner cette notion, nous distinguerons dans les critères d'application d'un modèle ce qui concerne les différents ingrédients des modèles théoriques identifiés dans la partie précédente : savoir qu'un modèle s'applique à une situation demande d'identifier dans cette situation un type de système, sa dynamique, des conditions initiales et les propriétés qui y sont mesurées, et de constater qu'ils correspondent à ce qui est spécifié dans le modèle.

Le traitement que l'on peut faire des prédictions est assez similaire et les mêmes remarques s'appliquent. Nous définirons donc l'applicabilité et le succès prédictif d'un modèle à une situation comme suit :

Applicabilité : un modèle est applicable à une situation si un scientifique compétent serait capable d'identifier ou de produire correctement certaines caractéristiques objectives de la situation (le type de

système et sa dynamique, ses conditions initiales, les propriétés mesurées) et de reconnaître qu'elles correspondent à ce qui est spécifié dans le modèle.

Succès prédictif : un modèle fait de bonnes prédictions si un scientifique compétent serait capable d'identifier les caractéristiques objectives pertinentes (les valeurs mesurées) et de reconnaître qu'elles correspondent aux prédictions du modèle.

Nous ne fournirons pas d'analyse plus précise de ces notions, déléguant ce travail à la philosophie de l'expérimentation. Ceci étant dit, nous pouvons au moins noter quelques contraintes à ces notions pour que notre conception de l'adéquation empirique puisse jouer son rôle. Il en existe au moins deux qu'on pourra assimiler à des normes épistémiques :

Non-circularité : l'applicabilité d'un modèle ne doit pas dépendre de ses prédictions.

Non-ambiguïté : l'applicabilité doit permettre de sélectionner une classe de modèles qui font des prédictions similaires.

Concernant la non-circularité, si l'applicabilité d'un modèle pouvait dépendre des prédictions du modèle, il pourrait ne jamais y avoir d'échec prédictif : quand les prédictions d'un modèle ne sont pas observées, on pourrait en conclure que le modèle ne s'applique finalement pas à la situation. Ceci risquerait de trivialisier la notion d'adéquation empirique.

S'il peut arriver qu'on révisé l'applicabilité d'un modèle suite à un échec prédictif (on ajoute une nouvelle planète pour expliquer une orbite récalcitrante, on suppose le dysfonctionnement d'un appareil), il est légitime d'exiger que cette révision soit appuyée par de nouvelles observations (on cherchera à observer cette planète, on testera l'appareil sur un autre cas). Ce faisant, nous ne sommes plus en train de tester le modèle, mais de déterminer son applicabilité. Tout ceci fait partie de la bonne pratique des scientifiques. Pour le reste, le fait que l'applicabilité concerne les conditions initiales et le type de système spécifié dans le modèle assure qu'elle est conceptuellement indépendante des prédictions.

La seconde contrainte est la non ambiguïté des prédictions. Nous ne pouvons exiger qu'un seul modèle de la théorie s'applique à une situation. En effet, certains aspects du modèle, comme le choix du référentiel, sont conventionnels, et d'autres modèles adoptant des conventions différentes (le même système décalé dans l'espace) s'appliqueront aussi bien. De plus, certains modèles sont idéalisés, ce qui suppose que d'autres modèles moins idéalisés s'appliquent également (et même mieux) à la situation. Cependant

ce serait un problème pour notre conception de l'adéquation empirique si plusieurs modèles s'appliquant à une même situation faisaient des prédictions différentes : dans ce cas, l'adéquation empirique ne serait plus trop facile, mais trop difficile à obtenir, puisqu'au moins un modèle de la théorie ferait de mauvaises prédictions.

Imaginons par exemple qu'on accepte de considérer qu'un modèle du système solaire qui attribue une mauvaise valeur pour la masse du soleil soit toutefois applicable. Ce modèle ferait de mauvaises prédictions. En pratique, il faut donc commencer par observer la trajectoire des planètes pour déterminer la masse du soleil, et à ce stade, il y a circularité : ce sont les prédictions des modèles qui nous renseignent sur le fait qu'ils s'appliquent ou non (on sélectionnera les modèles faisant de bonnes prédictions comme les modèles s'appliquant). Mais cette circularité n'est pas un problème si l'on considère que nous ne sommes pas vraiment en train de tester la théorie, seulement de déterminer ses conditions d'application, d'isoler la classe de modèles pertinente. Une fois ces conditions fixées, les modèles feront toutes des prédictions identiques, ou si ce n'est pas le cas, c'est qu'il reste des paramètres libres à déterminer et que les conditions d'applicabilité ne sont pas encore suffisantes.

Le fait que plusieurs modèles d'une théorie fassent des prédictions différentes tout en s'appliquant à la même situation reste pourtant une possibilité logique. On peut imaginer qu'il existe des théories vagues, compatibles avec plusieurs résultats possibles dans une certaine situation. Ou encore, on peut envisager des situations imparfaitement connues, auxquelles plusieurs modèles s'appliqueraient. Dans de tels cas, il serait légitime de considérer que la théorie est en une certaine mesure prédictive, même si l'on ne sait pas exactement quels modèles s'appliquent. Mais cette difficulté logique peut être résolue de différentes façons, par exemple en considérant que les prédictions des modèles, dans le cas d'une application incertaine, correspondent en fait aux prédictions d'une classe de modèles (ceux qui pourraient s'appliquer). Ceci est possible dans la mesure où nous considérons que les notions d'application et de prédiction sont une affaire pragmatique. Ce qui importe est que des scientifiques compétents soient capables de se mettre d'accord sur ce que prédit la théorie de manière non ambiguë.

Nous pouvons donc exiger de l'applicabilité qu'elle soit suffisante pour sélectionner sinon un modèle, au moins une classe de modèles qui font des prédictions similaires (éventuellement vagues). Tant que ce n'est pas le cas, nous devons considérer que nous ne sommes pas réellement en train de tester la théorie. Encore une fois, ceci relève de la bonne pratique

scientifique : les scientifiques ne peuvent considérer qu'ils sont en train de tester une théorie s'ils ne savent pas exactement quelles prédictions elle fait.

En résumé, la notion d'applicabilité ne doit être ni trop souple, ni trop restrictive : suffisamment restrictive pour que les prédictions de la théorie ne soient pas ambiguës, mais suffisamment souple pour permettre que les prédictions du modèle puissent être infirmées par l'expérience.

Le fait que notre conception de l'adéquation empirique intègre des normes épistémiques qui relèvent effectivement de la pratique scientifique est un signe qu'elle reflète en effet ce en quoi peut consister le fait d'accepter une théorie scientifique. S'il suffisait pour qu'une théorie soit empiriquement adéquate qu'elle ait au moins un modèle qui fasse de bonnes prédictions, on ne comprendrait pas pourquoi des contrôles visant à s'assurer de la bonne applicabilité des modèles sont mis en place.

5.2.3 Remarques sur les questions d'incommensurabilité

Kuhn (1962) est réputé pour avoir défendu la thèse d'incommensurabilité des théories scientifiques. On peut comprendre cette thèse comme indiquant qu'il n'existe pas de langage d'observation théoriquement neutre qui pourrait permettre la traduction systématique des théories entre elles. Cependant Kuhn a insisté dans des écrits plus tardifs que la thèse d'incommensurabilité n'implique pas que les théories ne puissent aucunement être comparées. Il peut s'agir en effet d'une incommensurabilité *locale* plutôt que *globale* : les différents termes théoriques ne sont pas nécessairement traductibles les uns dans les autres, mais les prédictions des théories peuvent néanmoins être comparées dans certains cas (voir Maudlin, 1996).

L'histoire des sciences atteste en effet que certaines expériences permettent de départager les théories concurrentes. Par exemple, les scientifiques estiment que la théorie de la relativité permet de rendre compte correctement de l'orbite de Mercure, quand il s'agissait d'un problème reconnu pour la théorie de Newton. De manière générale, on peut savoir avant même de réaliser une expérience à quelles conditions une prédiction serait réfutée (du moins si l'on suppose que nos critères d'applicabilité sont robustes). On peut savoir que deux modèles de deux théories concurrentes ont un domaine d'application commun mais font des prédictions différentes, ou que deux hypothèses ou deux théories sont contradictoires, et ainsi concevoir des expériences qui les départagent. Il faut donc pouvoir comprendre comment les critères d'application d'un modèle à une situation, bien que contextuels, sont suffisamment systématiques pour qu'on puisse

identifier certains types de situations qui permettent de départager des théories.

Notre conception de l'applicabilité des modèles ne reposant pas sur la notion de langage d'observation, elle rend possible une certaine forme d'incommensurabilité des théories. Cependant on pourrait vouloir resserrer quelque peu cette conception. Imaginons par exemple que les situations auxquelles s'appliquent les modèles de différentes théories soient complètement déconnectées, si bien que sachant qu'un modèle (par exemple de la théorie de Newton) s'applique à une situation donnée, nous ne pourrions faire aucune inférence concernant les modèles d'une autre théorie (par exemple la relativité) qui s'appliquent à cette même situation, et inversement. Dans un tel cas il serait impossible de mettre en place la moindre expérience pouvant départager les deux théories, puisque cette expérience ne pourrait être conçue a priori : il faudrait attendre de se retrouver en situation pour savoir quels modèles de chaque théorie s'appliquent. Ceci semble assez peu réaliste.

Afin de rendre compte de la connexion entre différentes théories, nous proposons d'introduire la notion de type d'expérience. Les situations possèdent des caractéristiques objectivables lorsque nous en faisons l'expérience, qui déterminent les modèles qui s'y appliquent et ceux qui font de bonnes prédictions. Nous regroupons ces caractéristiques objectivables comme caractérisant un type d'expérience. Un type d'expérience reflète de manière a priori une situation et la manière dont elle se rapporte à son environnement et aux agents épistémiques, ainsi que l'ensemble de son déroulement au cours du temps.¹¹

Il s'agira notamment de pouvoir qualifier, relativement à une théorie, un type de système (voir la section 4.2.2 : degrés de liberté, propriétés intrinsèques...), ses conditions initiales, son interaction avec l'environnement, les propriétés qui sont mesurées (y compris la finesse de grain) et les résultats des mesures, donc le déroulement complet de l'expérience, c'est-à-dire tout ce qui nous permet de savoir à partir de l'expérience qu'un modèle s'applique et s'il fait de bonnes prédictions. Cependant le type d'expérience, bien qu'il puisse en principe permettre de déterminer ces différents aspects, sera conçu comme théoriquement neutre, puisqu'il vise à représenter les caractéristiques objectives d'une situation indépendamment

11. Le fait qu'une théorie soit vague ou fasse des prédictions imprécises dans un contexte d'incertitude ne remet pas en cause cet aspect s'il est toujours possible de connaître ces prédictions imprécises ou vagues de manière a priori. Un type d'expérience pourra éventuellement incorporer une notion d'incertitude épistémique quant aux conditions d'application.

des descriptions théoriques de ces situations.

Dans le cas des théories probabilistes, on pourra adapter notre conception en considérant qu'un type porte non plus sur une expérience mais sur une séquence d'expériences répétées, ou encore qu'une expérience n'a pas pour objet une situation mais une séquence de situations, en quel cas on peut s'attendre à ce que les prédictions du modèle correspondent aux types d'expériences pour lesquelles les fréquences observées correspondent à certaines probabilités de résultats.

Notons par ailleurs que nous parlons de types d'expériences concevables mais rien n'indique qu'il s'agisse de types d'expériences *possibles* ou *actuels* : s'il y a quelque chose comme de la nécessité physique dans le monde, nous pouvons certainement concevoir des déroulements d'expériences qui sont impossibles physiquement, et en tout cas, nous pouvons concevoir des déroulements d'expériences qui ne se produisent jamais dans le monde. Les types d'expériences n'appartiennent donc pas au monde : ce sont des éléments de nos représentations qui nous permettent d'établir des connexions entre des théories diverses.

Nous devons donc avoir recours à une abstraction qui nous permet de parler des types d'expériences et de déroulements d'expériences possibles indépendamment de leur réalisation concrète. Le type d'expérience doit suffire à lui seul à déterminer de manière systématique quels sont les modèles de quelles théories qui s'y appliquent et parmi ceux-ci lesquels font de bonnes prédictions. Il ne s'agit pas pour autant de revenir sur les aspects contextuels et non systématiques de la mise en correspondance des modèles à la réalité, mais plutôt de les reléguer à la détermination du fait qu'une situation concrète exemplifie ou non un type d'expérience donné.

Pour éviter d'avoir recours à un langage théoriquement neutre pour spécifier un type d'expérience, on pourra le caractériser en spécifiant simplement l'ensemble des modèles théoriques qui lui sont applicables et l'ensemble de ceux qui feraient de bonnes prédictions dans une situation de ce type, quelles que soient les théories auxquelles appartiennent ces modèles ¹².

12. Ceci n'exclut pas qu'en pratique on ait recours à un langage pré-théorique pour établir des connexions entre les théories différentes. Hempel parle à ce sujet d'un langage qui pré-existe aux théories, et Feyerabend d'énoncés à propos desquels il peut y avoir consensus de rejet ou d'acceptation indépendamment de leur interprétation. Les types d'expérience pourraient aussi s'apparenter aux modèles de données issus de l'expérimentation, auxquels on ajouterait une certaines caractérisations concernant le type de système observé, si l'on considère que ces aspects font consensus indépendamment de la théorie qui est testée (voir la section 4.3). Ici nous souhaitons simplement rester neutre sur la façon dont les types d'expérience sont représentés et exprimés. On pourra les formaliser comme

Si chaque type d'expérience peut voir plusieurs modèles d'une même théorie (plus ou moins idéalisés, utilisant des référentiels différents) s'appliquer et faire de bonnes prédictions, à l'inverse un même modèle peut s'appliquer à plusieurs types d'expériences distincts (correspondant à des déroulements différents d'une même expérience par exemple). Donc à chaque modèle théorique nous pouvons associer a priori un ensemble de types d'expériences auxquelles il s'applique, et parmi ceux-ci le sous-ensemble des types d'expériences pour lesquelles il ferait de bonnes prédictions. Il s'agira par exemple, pour un modèle représentant l'évolution du système solaire sur une plage de temps définie, de toutes les évolutions concevables des orbites des planètes à partir du même état initial, et de celles qui correspondent aux prédictions.

Le fait qu'un modèle puisse prédire avec succès pour plusieurs types d'expériences distincts permet d'une part de rendre compte de prédictions probabilistes (plusieurs séquences de résultats différentes peuvent confirmer une même prédiction probabiliste), mais aussi d'envisager que différentes théories classifient de manière différente les situations en types, certaines apportant par exemple des distinctions là où d'autres n'en font pas, sans pour autant supposer que ces théories ne peuvent être comparées.

Ceci nous permet de reformuler l'adéquation empirique d'un modèle comme suit :

Adéquation empirique (modèle) : Un modèle d'une théorie est empiriquement adéquat si et seulement si chaque fois qu'un type d'expérience auquel le modèle s'applique est exemplifié par une situation concrète, il s'agit d'un type d'expérience pour lequel le modèle fait de bonnes prédictions

C'est-à-dire que les types d'expériences pour lesquels le modèle s'applique mais fait de mauvaises prédictions ne sont jamais exemplifiés dans le monde par des situations concrètes. L'adéquation empirique d'une théorie est inchangée : une théorie est empiriquement adéquate si tous ses modèles physiques le sont.

À partir de cette notion de type d'expérience, il doit être possible de savoir que dans certains cas, différentes théories feront des prédictions contradictoires. Par exemple, à partir de l'hypothèse que certains modèles d'une théorie (par exemple la théorie de Newton) s'appliquent à une situation quelconque, il doit être possible d'inférer que d'autres modèles d'une

associant à chaque théorie des conditions initiales, un type de système et d'interaction, des propriétés mesurées et des valeurs pour ces propriétés, exprimées dans le vocabulaire de cette théorie.

autres théories (par exemple la relativité) s'appliquent nécessairement à cette même situation. Il s'agit d'une inférence a priori : nous n'avons pas à attendre de nous trouver face à la situation concrète pour savoir que c'est le cas. Nous le savons parce que le domaine d'application des modèles de la seconde théorie, exprimé en termes de types d'expériences, couvre celui des modèles de la première (voir la figure 5.1). Encore une fois, tous les aspects contextuels et non systématiques sont relégués au fait de déterminer si une situation concrète exemplifie en effet un certain type d'expérience.

Il doit être également possible de savoir, dans certains cas, que ces modèles ne peuvent faire les mêmes prédictions, et encore une fois nous le savons a priori : les types d'expériences pour lesquels les uns font de bonnes prédictions (ceux où Mercure suit une certaine trajectoire) ne sont jamais les types d'expériences pour lesquels les autres en font. De cette manière, il est possible de concevoir des expériences à même de départager ces deux théories.

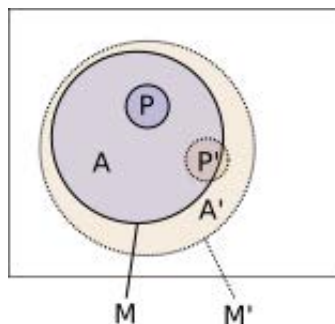


FIGURE 5.1 – Domaine d'application (A et A') et de bonnes prédictions (P et P') de deux modèles incompatibles. Les modèles ont un domaine d'application commun mais des domaines de bonnes prédictions disjoints.

Enfin on peut comprendre que le contenu factuel associé à une théorie puisse être conservé lors des changements théoriques, et même servir à justifier une nouvelle théorie dont on exigera qu'elle rende compte des mêmes faits. Nous avons proposé d'assimiler le contenu factuel des sciences à un ensemble de propositions portant sur l'applicabilité de modèles ou de classes de modèles à des domaines particuliers de l'expérience (section 4.5.3). Cette applicabilité doit pouvoir s'exprimer en termes de types d'expérience, et donc être transposable en une certaine mesure d'une théorie à l'autre, quand la manière dont elles classifient les types d'expériences coïncide au moins partiellement.

La notion de type d'expérience permet, en bref, de rendre compte de

la comparabilité systématique des théories entre elles quand bien même ces théories emploient des langages différents, et pas nécessairement traductibles les uns dans les autres. Nous proposons en annexe de ce chapitre une formalisation de cette notion.

5.2.4 *La sémantique des situations*

Nous avons proposé dans le chapitre précédent une analogie entre le fonctionnement du langage et celui d'une théorie scientifique, affirmant en particulier que les modèles théoriques, ou les classes de modèles, sont l'analogie de propositions, notamment de par leur aspect indexical (section 4.5.4). Pour explorer cette analogie plus en profondeur, nous allons nous intéresser à certaines théories sémantiques, issues de la philosophie du langage, qui font elles aussi usage de la notion de situation, et en particulier celle proposée par Barwise et Perry (1983)¹³. Ceci nous permettra au passage de donner plus d'éléments pour saisir la façon dont nous concevons les situations.

La notion de situation a été invoquée par Barwise et Perry pour résoudre des problèmes en philosophie du langage, et notamment le fait que nos assertions doivent généralement être interprétées en contexte, comme se rapportant à des situations particulières, plutôt que comme des propositions générales sur le monde. Ainsi on peut affirmer « tout le monde dort », avec une restriction implicite aux personnes d'une certaine situation, ou parler de « la table » sans supposer qu'il n'existe qu'une table dans le monde. On peut rendre compte de ceci en faisant porter nos propositions sur des situations, c'est-à-dire en leur associant des modèles partiels du monde plutôt que des modèles du monde dans son ensemble. Cette sémantique propose également un traitement intéressant des locutions intentionnelles. Par exemple, « Nicolas voit que Johnny fume » n'est pas l'équivalent de « Nicolas voit que Johnny fume, et que François mange ou ne mange pas », quand bien même les deux propositions incluses sont logiquement équivalentes. Dans une sémantique des mondes possibles (Montague, 1974), où la signification d'un énoncé est analysée en termes des mondes possibles où l'énoncé est vrai, on risque de ne pouvoir différencier ces deux locutions, et, par exemple, de présupposer de manière irréaliste l'omniscience des locuteurs vis-à-vis de l'ensemble des vérités mathématiques, qui sont vraies dans tous les mondes possibles, ce que ne fait pas une analyse en termes de situations. La sémantique des situations est aujourd'hui utilisée dans un

13. Pour une présentation succincte en français, voir Rebuschi (2008).

nombre varié de domaines.

Barwise et Perry envisagent les situations réelles comme des domaines structurés de la réalité, ou encore des états de faits, qui peuvent être objet de perception (on parle alors de « scènes »). Ils prennent soin de distinguer les situations réelles des situations abstraites, ces dernières étant des représentations des situations réelles dans un langage qui n'épuise pas forcément tout ce qu'il y a à dire des situations réelles. Les situations abstraites sont constituées d'unités d'information (comme « Johnny fume ») qui nous servent à classer les situations réelles en types de situations. Barwise et Perry analysent ces unités d'information dont sont constituées les situations abstraites en termes de propriétés et relations attribuées à des objets, associées à une valeur de vérité (pour rendre compte de la négation). On dit alors qu'une situation réelle soutient une situation abstraite si l'information contenue dans la situation abstraite est vraie de la situation réelle. Les situations abstraites servent de support aux inférences, qu'elles soient fondées sur des contraintes logiques, nomologiques, empiriques, conventionnelles ou linguistiques, permettant aux locuteurs d'établir des liens entre différents types de situation, c'est-à-dire de savoir qu'une situation d'un certain type est également une situation d'un autre type (par exemple, qu'une situation où il y a de la fumée est une situation où il y a du feu, suivant la contrainte « pas de fumée sans feu »). Enfin, une proposition consiste à affirmer d'une situation réelle qu'elle soutient une certaine situation abstraite.

Tous ces développements formels entrent dans le cadre d'une théorie de l'information. Ils s'accompagnent d'un réalisme assez fort : ces auteurs considèrent que les situations réelles, quand elles soutiennent certaines situations abstraites, contiennent réellement les caractéristiques décrites dans ces situations abstraites, et ils les formalisent d'une manière similaire. Cependant ces aspects ne sont pas essentiels, et il est possible de répondre à un certain nombre de problèmes de philosophie du langage simplement en assimilant les situations abstraites à des parties de mondes possibles (voire à des mondes possibles si l'on ne présuppose pas que ceux-ci représentent l'univers dans son ensemble (Stalnaker, 1986)), effectuant ainsi un rapprochement avec la sémantique des mondes possibles (Kratzer, 2008, par. 2). On peut alors associer à une proposition l'ensemble des situations possibles qui la rendent vraie : les propositions sont évaluées en contexte, relativement à une situation, si celle-ci appartient à cet ensemble.

La distinction entre situation réelle et situation abstraite qu'opèrent Barwise et Perry nous semble toutefois pertinente, en ce qu'elle distingue le monde des représentations que l'on peut s'en faire. Pour autant, rien ne

nous oblige à faire de la notion de soutien une relation de correspondance forte entre situation abstraite et concrète. On pourra considérer qu'une proposition peut être caractérisée par l'ensemble des situations abstraites qui la rendent vraie, et qu'elle est évaluée face à une situation concrète quand celle-ci peut être *représentée* par l'une des situations abstraites de cet ensemble, déconnectant ainsi les questions sémantiques et épistémiques.

Nous retrouvons dans la sémantique des situations plusieurs aspects que nous avons évoqué lors de la présentation de notre conception de l'adéquation empirique : l'idée que les situations concrètes (ou « réelles ») sont dotées de caractéristiques objectivables, qu'elles peuvent être l'objet d'expériences (à l'instar des scènes de Barwise et Perry), et l'idée qu'il s'agit d'entités non linguistiques qui se distinguent des descriptions que l'on peut en faire. On retrouve également, surtout, l'idée que notre accès aux situations est une affaire de perspective, que la mise en relation du langage et de l'expérience est contextuelle, ou encore, suivant l'analogie entre modèles théoriques et propositions d'un langage, que les modèles sont indexicaux et n'acquière de contenu référentiel qu'en contexte, à la manière dont une proposition n'est évaluée que relativement à une situation. Cet aspect contextuel, et le fait que les énoncés « éternels » (ayant la même signification quel que soit le contexte d'énonciation) sont l'exception plutôt que la règle dans le langage naturel, est particulièrement mis en avant par Barwise et Perry comme motivation pour une sémantique de situations (suivant notre analogie, on pourrait voir dans les énoncés éternels l'analogie des modèles de l'univers). Ils se positionnent ainsi en opposition à l'idée qu'il existerait quelque chose comme un « point de vue de nulle-part » sur le monde, pour penser la cognition de manière située. Ce sont des aspects que nous partageons.

Dans notre cadre, on pourrait vouloir simplement assimiler les situations abstraites, censés contenir notre information sur les situations réelles, aux modèles d'une théorie, assumant le fait que ceux-ci sont destinés à représenter des situations concrètes. Cependant, il existe plusieurs raisons pour lesquels le modèle théorique n'est pas l'objet approprié à cette fin. D'abord, un modèle incorpore les contraintes nomologiques exprimées par les axiomes de la théorie : les modèles de la théorie ne peuvent décrire n'importe quelle situation concevable. Affirmer l'inverse reviendrait à considérer les axiomes théoriques comme des énoncés analytiques, mais on peut penser qu'une théorie possède un contenu synthétique. Ensuite, un modèle pourra être infiniment étendu dans l'espace et le temps, si par exemple il est décrit par une fonction mathématique dont le domaine est un espace euclidien. Or, une situation n'est pas infiniment étendue dans

l'espace et le temps.

Le bon objet pour correspondre à une situation abstraite, dans notre cadre, serait plutôt le type d'expérience que nous avons introduit section 5.2.3. Le type d'expérience vise en effet à synthétiser les caractéristiques objectivables des situations concrètes qui peuvent être associées aux ingrédients et prédictions des modèles (conditions initiales, résultats des mesures ...)¹⁴. L'équivalent de la notion de soutien invoquée par Barwise et Perry pour lier situations réelles et abstraites serait alors l'idée qu'une situation concrète exemplifie un type d'expérience.

Assimiler les situations abstraites invoquées dans la sémantique des situations aux types d'expérience offre un avantage supplémentaire : de même qu'une proposition peut être caractérisée par l'ensemble des situations abstraites possibles qui la rendent vraie, un modèle peut se caractériser par ses conditions d'application et de prédiction, c'est-à-dire par l'ensemble des types d'expérience concevables auxquels le modèle est applicable et pour lesquelles il prédit avec succès. On retrouve donc notre analogie entre proposition et modèle. Enfin de la même façon que Barwise et Perry envisagent que les situations abstraites puissent servir de support à différentes inférences, fondées sur des contraintes, on peut voir les théories comme encodant un certain nombre de contraintes nomologiques sur les types d'expériences possibles : étant donné un type d'expérience pour lequel un modèle s'applique, nous inférerons qu'il s'agit d'un type d'expérience pour lequel les prédictions du modèle seront confirmées. Ce type d'inférence demande seulement à être empiriste, c'est-à-dire à penser que notre théorie est empiriquement adéquate au sens défini plus haut. Nous pouvons ainsi adopter différents aspects de la sémantique des situations proposée par ces auteurs, mais sans pour autant adhérer à un réalisme scientifique.

Le fait de ne pas présupposer d'emblée une forme de réalisme entraîne une conséquence qui pourra paraître indésirable à certains : il nous est impossible d'en dire beaucoup à propos des situations concrètes, si ce n'est qu'elles sont objets d'expérience et entités occurrentes. De même pour la relation d'exemplification entre types d'expérience et situations, que nous reléguons à la philosophie de l'expérimentation. Mais selon nous ce serait une erreur d'en dire plus (par exemple en formalisant logiquement

14. De plus si l'on part du principe qu'un type d'expérience peut être exprimé soit dans un langage pré-théorique, soit dans un langage théorique susceptible d'être objet de consensus indépendamment de nos croyances (voir la note 12), il devrait être possible d'assimiler un type d'expérience à un ensemble de propriétés et relations attribuées à des objets, rapprochant ainsi cette notion des modèles utilisés dans la sémantique des mondes ou situations possibles.

| Langage (sémantique des situations) | Théorie scientifique |
|--|-----------------------------|
| Situation réelle | Situation concrète |
| Situation abstraite | Type d'expérience |
| Proposition | Modèle théorique |
| Contrainte | Axiome théorique |

TABLE 5.1 – Comparaison entre langage et théorie

les situations concrètes comme des structures d'objets et de propriétés, et l'exemplification comme un isomorphisme partiel). Il s'agirait d'une erreur de catégorie : les situations ne sont pas les représentations que l'on s'en fait, et ce sont les modèles et les types d'expériences qui peuvent éventuellement être l'objet d'une formalisation logique, en ce qu'il s'agit d'entités destinées à représenter le monde, mais nos représentations ne sont pas le monde. Être réaliste (sémantique) revient à postuler une relation de type correspondance entre nos représentations et le monde. Si c'est bien ainsi que nos représentations se rapportent à la réalité, nous pourrions aussi bien nous passer de la notion de situation concrète pour nous en référer directement à la représentation d'un hypothétique agent omniscient, mais ceci nous éloignerait de l'optique suivie par la sémantique des situations. Préférant ne pas nous prononcer à ce stade sur la question du réalisme, nous devons nous contenter de concepts indirects tels que l'ostentation, l'occurrence ou l'exemplification pour parler des situations concrètes, assumant la critique suivant laquelle, par là, nous ne faisons en quelque sorte qu'agiter les mains sans rien dire de vraiment substantiel à propos de la réalité.

Nous voyons en tout cas qu'il existe une parenté assez forte entre la sémantique des situations, employée pour analyser le langage naturel, et la façon dont nous concevons les théories et leur adéquation empirique. Ceci laisse entrevoir la possibilité d'obtenir une sémantique unifiée (au moins sous certains aspects), qui s'applique aussi bien aux langages naturels qu'aux théories scientifiques.

5.2.5 *Rencontre-t-on les mêmes difficultés ?*

Maintenant que notre conception de l'adéquation empirique est clarifiée, nous pouvons nous demander si elle rencontre les mêmes problèmes que ceux mentionnés en section 5.1 à propos de la conception proposée par van Fraassen.

La première remarque est que notre définition ne requiert pas d'application cosmique de la théorie. Elle est plus proche de la pratique, puisqu'elle se concentre sur l'application de modèles à des situations particulières, dont on s'attend à ce qu'ils fassent de bonnes prédictions. Nous avons discuté ceci à propos de la notion de situation. On pourrait croire que la notion d'adéquation empirique qui en découle est plus forte, puisqu'il ne suffit pas qu'un unique modèle de la théorie soit empiriquement adéquat : ils doivent tous l'être, là où ils s'appliquent. Remarquons cependant que si l'on accepte certains principes de séparabilité (qui semblent après tout requis pour qu'une expérience puisse être menée à bien), un hypothétique modèle de l'univers pourrait en principe être découpé de multiples façons en modèles particuliers s'appliquant chacun à une région plus restreinte de l'univers. Si l'on ajoute à ça le fait que les prédictions des modèles ne dépendent pas des endroits auxquels ils s'appliquent, suivant notre principe d'indexicalité, alors ces modèles particuliers seront également des modèles de la théorie : ce sont les modèles qui s'appliquent quelque part dans l'univers, si bien que l'adéquation empirique telle que la conçoit van Fraassen n'est pas particulièrement plus faible que celle que nous proposons. Elle est en un sens plus forte, puisque notre définition ne postule pas qu'il soit en principe possible d'obtenir un modèle de l'univers.

La seconde remarque est, comme discuté précédemment à propos de la notion d'applicabilité, que nous intégrons certains critères épistémiques relatifs aux conditions d'applicabilité des modèles, ce qui évite de rendre l'adéquation empirique trop facile à obtenir. Notre définition permet de dériver certaines normes épistémiques qui correspondent à la pratique. Elle rend compte du fait que la pratique expérimentale relève autant de l'intervention que de l'observation passive.

Il reste un ensemble de problèmes que nous n'avons pas encore discuté qui concernaient, dans la définition proposée par van Fraassen, la notion d'observabilité. Nous n'avons pas eu recours à cette notion. Cependant on peut estimer que les notions d'applicabilité et de prédiction sont la contrepartie, dans notre conception de l'adéquation empirique, de la notion d'observabilité chez van Fraassen et nous pouvons nous demander si elles souffrent des mêmes défauts.

Le premier défaut de la notion d'observabilité était qu'elle s'appuie sur une distinction entre observable et inobservable qui ne va pas de soi. Tous ces aspects sont, pour nous, relégués au fait, pour les scientifiques compétents, de savoir reconnaître les conditions d'applicabilité de modèles et d'en tirer des résultats de mesures (ou encore, de déterminer qu'une situation exemplifie un type d'expérience). Une situation est l'objet d'une expérience

que nous décrivons dans divers langages, ce qui suppose toujours un import théorique ou *a minima* conceptuel, et nous pouvons nous tromper aussi bien à propos des observations directes qu'à propos des propriétés théoriques que nous affirmons mesurer. Le problème de la distinction entre observable et inobservable ne se pose donc pas vraiment, et, pourrait-on dire, nous troquons cette notion d'observabilité pour celle, plus inclusive, de détectabilité : les aspects objectivables lors d'une expérience ne sont pas forcément des propriétés directement observables. On peut bien sûr au bout du compte penser que quelque chose doit avoir été observé par un scientifique, mais il peut s'agir de choses diverses qui ont peu à voir avec le système physique auquel on s'intéresse : par exemple, des chiffres sur un écran d'ordinateur (si l'observation était une question de vision, en principe, même un scientifique aveugle pourrait ajouter un système de lecture vocale des résultats et réaliser une expérience). Les moyens d'accès au phénomène sont donc divers et au final non pertinents, comme discuté section 4.3. Mais le fait pour une propriété d'être détectable de manière robuste, que ce soit par observation directe ou par des appareils complexes, est pertinent.

Ceci n'implique pas pour autant d'en faire une propriété naturelle, seulement une propriété permettant de caractériser de manière robuste et objective les situations que nous rencontrons, et la fait d'étendre ainsi les phénomènes pertinents au-delà de ce qui est directement observable ne fait pas forcément de nous des réalistes. Il se peut très bien qu'une théorie échoue à « découper la nature aux joints » si les types d'expérience auxquelles elle associe les mêmes propriétés s'avèrent, à l'examen, être disparates, et une autre théorie plus récente pourra les concevoir comme correspondant à des propriétés différentes. On peut donc considérer, à la lumière de la nouvelle théorie, que l'ancienne est fautive, mais toutefois parvenir à établir une association entre les types d'expérience et les modèles de cette ancienne théorie. Nous reviendrons sur ces aspects au chapitre 8.

Comme pour la notion d'observabilité, ce peut être les sciences qui nous renseignent en partie sur ce qui est détectable ou non. Toute détection comme toute observation est chargée de théorie ou de concepts. C'est certainement le cas si des théories auxiliaires concernant le fonctionnement des appareils de mesures sont utilisées. Mais cet aspect en partie circulaire de la confrontation empirique est, comme le remarque van Fraassen, inévitable. Ainsi on ne peut forcément exclure qu'une nouvelle théorie nous amène à affiner notre façon de concevoir les types d'expériences, en faisant des distinctions de cas que nous ignorions auparavant. Cependant, en ne s'intéressant pas à l'observabilité, on évite certaines objections : par

exemple, on n'établit pas de distinction apparemment arbitraire entre ce qui n'est pas détecté parce que trop éloigné (et qui, pour l'empiriste constructif, reste observable) ou parce que trop petit ou trop peu énergétique. La façon dont on conçoit l'adéquation empirique est toujours centrée sur notre communauté épistémique, puisqu'il faut un ou des expérimentateurs pour faire des constats empiriques, mais à l'instar de Giere (2002), on peut considérer l'ensemble des expérimentateurs et leurs instruments de mesure comme un système cognitif étendu ¹⁵.

Il reste cependant une difficulté qui s'applique aussi bien à notre conception, qui concerne l'aspect modal de la notion d'applicabilité. Celle-ci est en effet qualifiée à l'aide d'un énoncé modal : un modèle est applicable si un scientifique compétent saurait reconnaître que le modèle s'applique. On peut alors faire le même reproche à notre conception : quelles sont les conditions de vérité de cet énoncé ? S'il n'en a pas, l'adéquation empirique n'en a pas non plus. Si l'applicabilité est conçue comme une propriété non modale et objective des situations et l'énoncé modal seulement une de ses conséquences, il faut comprendre pourquoi nous accordons du crédit à cette propriété plus qu'aux autres propriétés théoriques. Si enfin on adopte la même attitude envers les modalités qu'envers nos théories, c'est-à-dire qu'on ne croit qu'en leurs conséquences actuelles, alors cet énoncé modal se ramène à l'idée qu'un modèle s'applique chaque fois qu'un scientifique reconnaît que le modèle s'applique, et nous avons troqué la notion d'applicabilité pour celle d'application effective.

Il y a une petite différence qui fait que nous sommes en légèrement meilleure position que l'empirisme constructif : un scientifique compétent n'a pas besoin de mener à bien une expérience pour savoir que le modèle s'applique. Il lui suffit de disposer de suffisamment d'informations sur la situation. Mais le problème se pose toujours : on ne peut postuler d'une situation qui se produit sur une planète lointaine sur laquelle nous n'avons aucune information qu'elle est correctement prédite par nos théories sans faire appel à des modalités. Et, à certains titres, il est exacerbé : si les conditions d'application d'un modèle impliquent des interventions et non seulement des observations, les situations concernées peuvent ne pas être des situations actuelles du tout, puisqu'elles seront créées par ces interventions.

Il existe bien sûr une dernière solution pour répondre à cette difficulté qui consiste à être réaliste à propos des modalités, c'est-à-dire à accepter que les énoncés modaux ont des valeurs de vérité objective. C'est celle que

15. Voir également Humphreys (2004).

nous défendrons.

Enfin une dernière inquiétude peut être liée à la contextualité des critères d'application et de prédiction d'un modèle. Nous avons vu que déterminer qu'un modèle s'applique demande de prendre en compte des éléments du contexte expérimental (section 4.3). Dans ce cadre, la notion d'adéquation empirique peut-elle être objective ? En fait, les choses se posent en les mêmes termes pour la notion d'observabilité, elle aussi contextuelle (il faut avoir les yeux ouverts, etc.) et le fait qu'un énoncé ait des conditions de vérité contextuelles n'implique pas pour autant qu'il n'a aucune valeur de vérité objective.

5.3 Différentes formes d'adéquation empirique

Nous concevons donc l'adéquation empirique comme le fait, pour tous les modèles d'une théorie, de faire de bonnes prédictions pour toutes les situations auxquelles ils s'appliquent. Une situation est un domaine d'expérience occurrent et borné possédant des caractéristiques objectivables. Un modèle s'applique et fait de bonnes prédictions si un scientifique compétent saurait reconnaître, à partir de ces caractéristiques objectivables, que c'est le cas.

La définition de l'adéquation empirique que nous avons proposée a plusieurs avantages. Elle ne s'appuie pas sur une distinction entre observable et inobservable ; elle prend en compte différents aspects des tests expérimentaux, et pas seulement les phénomènes observés ; enfin elle n'exige pas qu'une théorie ait une application cosmique pour pouvoir être testée.

Un autre avantage est qu'elle permet d'obtenir une taxinomie des positions empiristes. En effet si nous avons essayé de préciser la notion de situation, il y a une chose que nous avons laissée sous silence, qui est le domaine de quantification de ces situations. L'idée que l'adéquation empirique d'une théorie doive se comprendre en termes d'un modèle de l'univers nous oblige à considérer uniquement l'ensemble des situations actuelles, mais à partir de notre définition, on peut envisager différentes façons de quantifier sur les situations : par exemple, parle-t-on des situations expérimentées uniquement ? Des situations qui ont été ou seront expérimentées ? De toutes les situations actuelles ? Ou encore de toutes les situations possibles ? À chaque domaine de quantification correspondra une position empiriste différente, chacune affirmant qu'il est justifié de penser que nos théories sont empiriquement adéquates dans un domaine de situation particulier. On retrouve la taxinomie proposée par Giere (Churchland et Hooker, 1985,

ch. 4) dont nous adaptons les libellés¹⁶ :

L'empirisme sceptique quantifie sur les situations expérimentées jusqu'à présent.

L'empirisme manifeste quantifie sur les situations qui ont été ou seront expérimentées (on parle parfois de manifestationnisme dans la littérature).

L'empirisme factuel quantifie sur toutes les situations du monde actuel.

L'empirisme modal quantifie sur toutes les situations possibles.

La différence entre ces différentes versions d'empirisme portera sur ce que l'on juge rationnel d'accepter. Doit-on croire que nos théories sont empiriquement adéquates jusqu'à maintenant uniquement? Ou bien qu'elles continueront à l'être, mais uniquement pour les situations dont on fera l'expérience? Qu'elles le sont pour toutes les situations du monde dont on pourrait faire l'expérience, même quand ces expériences ne sont pas réalisées (c'est ce qui se rapprocherait le plus de l'empirisme constructif)? Ou encore qu'elles le sont pour toutes les situations possibles, y compris celles qui ne sont pas instanciées dans le monde mais auraient pu l'être?

Nous nous intéresserons dans les chapitres qui suivent aux différentes justifications possibles de ces différentes versions d'empirisme. Nous défendrons l'empirisme modal. Mais au préalable, il convient d'en dire un peu plus sur cette position. Nous commençons par en faire une présentation intuitive, avant de nous attarder sur la notion de situation possible.

5.3.1 *Qu'est-ce que l'empirisme modal?*

L'idée générale de l'empirisme modal est la suivante : les théories scientifiques sont empiriquement adéquates au sens où elles font de bonnes prédictions dans toutes les situations actuelles, et feraient de bonnes prédictions dans toutes les situations qui auraient pu ou pourraient se produire.

Il s'agit, finalement, d'une idée assez intuitive. On pense par exemple que la théorie de Newton est empiriquement adéquate quand elle décrit la chute d'un objet à la surface de la terre. Mais on pense aussi naturellement que si l'on avait lâché un objet un peu plus tôt, ce qu'on n'a pas fait, il

16. Ils correspondent, dans l'ordre, à « extreme empiricism », « extended empiricism », « actual empiricism » et « modal empiricism » chez Giere. Ce dernier ajoute deux positions réalistes : modal ou non modal. Dans le cadre de la physique classique, il place la distinction entre réalisme et empirisme sur le fait d'adhérer uniquement à la position et à la vitesse des corps massifs ou à toutes les variables du système.

aurait chuté de la même façon : la théorie de Newton aurait alors été empiriquement adéquate. Il n'y a pas de raison de limiter l'adéquation empirique aux situations actualisées si l'on pense qu'en effet la théorie de Newton *aurait fait* de bonnes prédictions dans ce cas.

La différence entre l'empirisme modal et l'empirisme traditionnellement compris est de l'ordre de l'interprétation qui est faite des conséquences empiriques d'une théorie scientifique. Une façon naturelle d'exprimer l'une des conséquences empiriques de la théorie de la gravitation de Newton est la suivante : si on lâche un objet pesant à la surface de la terre, en l'absence d'obstacles ou de forces contraires, cet objet se dirige vers le sol avec une certaine accélération. Ignorons les complications qui peuvent découler de l'interprétation de la clause *ceteris paribus* (« en l'absence d'obstacles... ») pour nous concentrer sur l'interprétation à faire du « si... alors » : comment le comprendre ?

Nous pourrions y voir une simple implication logique : soit on lâche un objet et il se dirige vers le sol, soit on ne lâche pas d'objet. Mais cette interprétation semble assez peu satisfaisante. Nous perdons la généralité implicite de cet énoncé : où et quand lâche-t-on un objet ? Nous ne pensons pas que la loi de gravitation s'applique uniquement en un lieu et un moment précis. Nous pensons pouvoir exprimer une conséquence de la théorie de cette nature en toute généralité. Il faudrait donc plutôt dire « en tous temps, tous les objets lâchés à la surface de la terre, en l'absence d'obstacles et de forces contraires, se dirigent vers le sol ». Il pourrait s'agir de la manière correcte d'exprimer cette conséquence empirique de la théorie de Newton. Mais elle semble légèrement distincte de l'énoncé original.

Toutefois on pourrait conserver notre énoncé original, qui semble après tout bien exprimer l'une des conséquences empiriques de la théorie de Newton, en faisant valoir que les « si... alors » du langage naturel expriment rarement des implications logiques, mais plus souvent des contrefactuels ou des énoncés modaux. L'interprétation à avoir de cet énoncé serait alors la suivante : dans toute situation *possible* où un objet est lâché à la surface de la terre, en l'absence d'obstacles et de forces contraires, il se dirige vers le sol. Il nous semble qu'il s'agit là d'une façon naturelle d'exprimer l'une des conséquences empiriques de la théorie de Newton.

L'empirisme modal propose de prendre au sérieux cette intuition. C'est selon nous ce que nous devons faire pour correctement rendre compte de la pratique scientifique et de l'expérimentation, au sein desquels l'emploi d'énoncés modaux, comme les contrefactuels, est omniprésent.

En outre l'empirisme modal ne rencontre pas de problème vis-à-vis de l'aspect modal de la notion d'observabilité (ou d'applicabilité). Il n'y a pas à

distinguer les situations actuelles qu'on aurait pu observer de celles, seulement possibles, qu'on aurait pu créer par nos interventions. Il s'agit donc aussi de rapprocher l'empirisme d'un pragmatisme, qui conçoit l'expérience en un sens large, comprenant à la fois observations et interventions.

Enfin il s'agit plus généralement de penser les théories comme des systèmes conceptuels abstraits, et l'adéquation empirique comme une mesure de l'efficacité générale de ces systèmes quand ils sont confrontés au monde. L'objectif de la science n'est pas, selon nous, de construire des systèmes conceptuels dont on pourra constater rétrospectivement qu'ils décrivent bien les phénomènes actuels. Un bon système conceptuel se doit de pouvoir faire face à toute situation possible, car nous ne savons pas par avance lesquelles de ces situations seront actuelles. Il doit permettre de développer des techniques : d'actualiser des possibles de manière à répondre à certains objectifs. Pour ces raisons, il nous semble que si l'objectif de la science est en effet de produire des théories empiriquement adéquates, cette adéquation empirique doit être comprise en un sens modal, comme succès prédictif pour toutes les situations possibles.

Pourquoi alors n'est-ce pas l'empirisme modal qui est naturellement défendu par les philosophes empiristes s'il permet de rendre compte plus efficacement de la pratique scientifique ? La principale raison est, sans aucun doute, une certaine méfiance envers l'idée de nécessité dans le monde, héritée de Hume. Les rapports de nécessité ne sont pas eux-mêmes observables : pourquoi devrions-nous croire qu'ils existent ? Dans les deux chapitres suivants nous proposons de dissoudre ces inquiétudes en montrant que l'expérience permet aussi bien de justifier l'empirisme modal que les autres formes en apparence plus modestes d'empirisme. Mais nous devons d'abord en dire un peu plus sur ce qu'on entend par situation possible.

5.3.2 *Qu'est-ce qu'une situation possible ?*

L'empirisme modal demande peut-être à être spécifié plus précisément. Qu'est-ce qu'une situation possible ? S'agit-il de possible physique ou conceptuel ?

Pour répondre à la seconde question, s'il s'agissait de possible conceptuel, l'empirisme modal serait trivialement faux : il est concevable que n'importe quelle théorie (sauf si elle est tautologique) fasse de mauvaises prédictions pour certains de ses modèles. De plus nous avons remarqué qu'une situation se distingue de la description qu'on en fait : il s'agit d'une entité concrète du monde qui n'est pas forcément épuisée par nos descrip-

tions. Elle se distingue donc également des conceptions qu'on peut en avoir, ce qui exclut d'assimiler les situations possibles aux situations concevables. Il doit donc s'agir de situations physiquement possibles.

À ce sujet remarquons que les situations possibles que nous invoquons ne sont pas à confondre avec les situations abstraites qu'invoquent Barwise et Perry dans leur sémantique des situations (voir la section 5.2.4). Ces dernières sont des représentations, constituées d'un ensemble d'unités d'information permettant de classifier les situations réelles, et nous avons vu qu'elles devaient plutôt être rapprochées des types d'expériences. Il est vrai que les types d'expériences peuvent en principe permettre de classifier des situations possibles aussi bien qu'actuelles, mais cette classification inclura également des situations physiquement impossibles.

On voit que l'empirisme modal demande à être réaliste envers l'existence de modalités naturelles, de possibilités dans le monde, au sujet desquelles il faudra en dire plus. Nous pouvons déjà dire une chose cependant : parler de situations possibles plutôt que de mondes possibles est compatible avec l'idée que seul le monde actuel existe si l'on conçoit que ces situations possibles sont un moyen de parler de ce qui existe *dans* le monde actuel.

Comment alors qualifier les situations possibles ? Nous rencontrons dans le monde des situations, qu'on caractérise par leurs aspects objectivables quand on en fait l'expérience (le type de système, ses conditions initiales, ce qu'on mesure, les résultats obtenus...). Ceci nous permet de les classifier en types d'expérience. Nous pouvons alors envisager de faire varier ces caractéristiques : les conditions initiales pourraient être différentes, on pourrait mesurer autre chose, les valeurs obtenues à l'issue des mesures pourraient être différentes... Nous obtenons alors un ensemble de types d'expérience concevables, qu'on associera à des déroulements d'expérience exprimables dans le vocabulaire de la théorie (mais qui ne respectent pas forcément les lois de la théorie : il est concevable que la théorie fasse de mauvaises prédictions). Le vocabulaire et le formalisme d'une théorie est ce qui nous permet de nous représenter ces types d'expérience concevables.

Cette caractérisation n'est pas suffisante pour caractériser des instances de situations concevables, puisque nous parlons ici de *types d'expérience*. Il faut encore, pour compléter cette représentation et différencier les occurrences de situation, situer ces dernières dans le monde : nous pouvons y parvenir en caractérisant la façon dont ces situations concevables se rapportent les unes aux autres méréologiquement, et, de manière ultime, à notre propre situation (sur les aspects méréologiques, voir la section 5.2.1). Les situations concevables, en tant qu'instances, sont donc toujours rapportées à des situations actuelles qui permettent de les ancrer dans le monde

actuel : ce sont des situations alternatives aux situations actuelles, des choses qui auraient pu se produire dans le monde, obtenues par contraste sur la base des caractéristiques objectivables de ces situations actuelles « toutes choses égales par ailleurs ».

Nous obtenons ainsi un ensemble d'instances de situations concevables, caractérisées par un type d'expérience et une localisation relative à notre position dans le monde (elles se rapportent à des situations actuelles). Les situations possibles peuvent être représentées comme un sous-ensemble de ces dernières : celles qui peuvent réellement se produire dans le monde, ou encore, celles qui respectent les contraintes naturelles sur le déroulement des phénomènes. Ces contraintes prendront la forme, au sein de nos théories, de relations entre conditions d'application et prédictions (ceci suppose que les conditions d'application sont toutes a priori possibles ; nous revenons un peu plus loin dans cette section sur cet aspect). Pour un empirisme modal, une théorie est empiriquement adéquate si elle délimite correctement le domaine des situations physiquement possibles à partir de celui des situations concevables.

Remarquons que ces situations possibles n'ont pas à exister en tant que situations concrètes au sens où une situation actuelle existe : il est a priori envisageable de les réduire à d'autres aspects (par exemple, des relations causales ou des contraintes nomologiques). En effet, il existe une tension entre la notion de situation concrète invoquée dans notre définition de l'adéquation empirique et celle de situation possible : on pourrait penser que seules les situations actuelles sont concrètes. Mais comme nous le disions, on peut concevoir les situations possibles comme des alternatives de situations actuelles plutôt que comme des situations à part entière, ou encore, comme un moyen d'attribuer des propriétés modales aux situations actuelles. En effet, une situation est physiquement possible si elle respecte certaines contraintes naturelles, qui se traduisent dans nos représentations par des relations entre les critères d'applicabilité des modèles et les prédictions de ces modèles (si une théorie est modalement adéquate, alors une situation telle que le modèle de la théorie qui s'y applique ferait de mauvaises prédictions est une situation physiquement impossible). Ceci ouvre la voie à une réduction des situations possibles à d'autres aspects, de l'ordre de la relation de nécessité ou de la relation causale entre les aspects objectifs des situations actuelles qui nous permettent de savoir qu'un modèle s'applique et ceux qui nous permettent de savoir qu'ils font de bonnes prédictions. Nous pouvons alors employer par commodité le langage des situations possibles sans nous engager envers leur existence, à la manière dont on pourrait employer une sémantique des mondes possibles comme

support pour mieux se représenter et analyser les rapports modaux sans forcément être engagé envers l'existence concrète des mondes possibles. Intuitivement, on pourra se contenter d'affirmer qu'une situation possible est une situation qui « aurait pu (ou pourrait) se produire », ce qui nous engage relativement peu.

On pourrait penser que ce type de vue, et l'idée même d'attribuer une valeur de vérité objective au discours modal, est incompatible avec un empirisme. Mais il n'y a pas de raison de principe à cela. Après tout, l'empiriste constructif est attaché à l'idée que le discours scientifique devrait être interprété littéralement : les scientifiques parlent *vraiment* d'entités inobservables, même s'ils ne peuvent savoir si ces entités existent. Mais s'il faut nier que le discours modal ait une valeur de vérité, alors cette « interprétation littérale » devient sélective : il faudrait, sans raisons apparentes, appliquer un traitement particulier au discours modal, pourtant omniprésent en science. Or le fait que les empiristes contemporains préfèrent adopter une interprétation littérale des théories tient à ce qu'il existe un certain nombre d'arguments contre le réductionnisme sémantique (le vérificationnisme notamment : voir le chapitre 1). Et parmi ces arguments, on trouve l'impossibilité de réduire les termes dispositionnels, « modalement chargés », à leurs manifestations. On voit mal alors pourquoi le réalisme sémantique devrait exclure le discours modal.

Le réalisme sémantique n'implique pas qu'il existe en effet du possible dans la nature, puisque les énoncés modaux pourraient être simplement faux. Mais considérer que les énoncés modaux qui concernent l'adéquation empirique de nos théories sont vrais n'implique pas pour autant un réalisme scientifique. Il faut, certes, postuler qu'il existe du possible dans le monde, et des contraintes sur ce qui est possible. Mais remarquons qu'aucune position épistémologique, pas même empiriste, ne peut se passer de certains engagements métaphysiques. L'empirisme modal est certes plus audacieux à cet égard que les versions traditionnelles d'empirisme. L'objet des chapitres qui suivent sera précisément de justifier le bien-fondé de cet engagement supplémentaire.

Remarquons, surtout, que les relations de nécessité ou les relations causales entre phénomènes qu'expriment nos théories peuvent recevoir une interprétation pragmatique plutôt que réaliste : elles n'ont pas à correspondre à des « relations réelles ». En effet, nous avons noté, section 3.3.3, que les seules relations modales susceptibles de survivre aux changements théoriques doivent être conçues comme modales en un sens relatif : elles sont nécessaires si l'on tient notre contexte épistémique pour fixe, c'est à dire pour un domaine limité de possibles. On peut penser qu'un énoncé

comme « si j'avais lâché cet objet, il aurait subi une accélération de $9,8 \text{ m/s}^2$ » est pragmatiquement vrai. Il exprime certaines attentes vis-à-vis d'actions possibles, ou de situations possibles. Mais cette évaluation modale est contextuelle : il faut considérer pour fixe, d'un possible à l'autre, le fait que nous nous situons à la surface de la terre, et ne pas envisager que la terre perde subitement une partie de sa masse à la suite d'une catastrophe cosmique au moment où nous lâchons l'objet. Si nous sommes capable de spécifier certaines de ces conditions, c'est que nous disposons de théories plus larges. Cependant il n'est pas besoin de connaître l'ensemble de ces conditions pour être capable d'affirmer que l'énoncé est vrai. Il est donc exclu de faire de notre énoncé modal l'expression d'une « relation réelle » : il doit être évalué pragmatiquement, relativement à notre situation épistémique.

C'est ce type d'évaluation pragmatique et contextuelle qu'autorise une sémantique des situations possibles, mieux que ne pourrait le faire une sémantique des mondes possibles. Il nous est possible de tenir pour fixe un ensemble de conditions d'arrière-plan sans avoir à en faire une liste exhaustive, mais simplement en faisant référence à une situation actuelle du monde dont on conçoit certaines variations d'un possible à l'autre « toutes choses égales par ailleurs ». De la même façon qu'on peut affirmer savoir qu'il est trois heures de l'après-midi sans avoir à spécifier le fuseau horaire dans lequel on se situe (voire en ignorant qu'il existe des fuseaux horaires, par exemple si l'on est un enfant), on peut savoir qu'un certain énoncé modal est vrai dans notre contexte épistémique sans avoir à spécifier ce contexte outre mesure, voire en ignorant les aspects de ce contexte qui rendent notre énoncé pragmatiquement vrai.

L'accent mis sur les situations possibles plutôt que sur les mondes possibles vise donc à ancrer les modalités naturelles dans le monde actuel, puisque les situations possibles se rapportent à des situations actuelles, autorisant une lecture pragmatique des modalités, et à les différencier ainsi des modalités métaphysiques (en effet, ces dernières semblent difficiles à analyser en termes de situations possibles : typiquement, la question de savoir si les lois naturelles sont ou non métaphysiquement nécessaires ou si l'eau est identique à H_2O ne peut se comprendre en termes de situations possibles, puisque les lois naturelles ou la nature de l'eau ne concernent pas des situations particulières).

Si nos énoncés modaux doivent être évalués pragmatiquement, il ne s'agit toutefois pas d'en faire de simples outils pour l'imagination : ils ont une valeur de vérité (nous nous intéresserons dans le chapitre suivant à la question de la justification des énoncés modaux.). Il s'agit simplement d'af-

firmer que cette valeur de vérité dépend d'expériences possibles plutôt que d'une correspondance à des « relations réelles » fondamentales, à des lois primitives, ou à toute autre entité métaphysique. Nous nous contenterons pour l'instant d'affirmer que nous parlons de modalités nomologiques.

En somme, nous pouvons considérer que les situations possibles sont des entités fictives nous servant à attribuer des propriétés modales aux situations actuelles, et que ces propriétés modales peuvent être évaluées pragmatiquement, en termes d'attentes vis-à-vis de nos expériences.

Nous proposerons au chapitre 9 une sémantique des situations possibles. Nous nous questionnerons également sur l'étendue du possible que l'empirisme modal nous demande d'accepter. En effet, comme remarqué plus haut, il demande à ce que des variations dans les conditions d'application des modèles soient toutes possibles, qu'elles correspondent à des alternatives de situations actuelles (une situation aurait pu avoir des conditions initiales différentes, elle aurait pu être mesurée différemment), et ce avant même d'envisager des contraintes sur les prédictions apportées par la théorie. Ceci n'est pas entièrement dénuée d'aspects métaphysique revient à adopter une certaine conception de ce qu'est une situation plus riche que celle proposée section 5.2.1. Nous examinerons à la section 9.3.2 ces aspects, et proposerons certaines stratégies pour gagner en parcimonie, d'où découleront plusieurs options interprétatives sur la nature des propriétés modales que l'on peut attribuer aux situations. D'ici là, nous choisissons d'employer le langage des situations possibles par commodité, sans pour autant être engagé envers l'existence concrète des situations possibles.

Conclusion

Nous avons défendu dans ce chapitre une conception de l'adéquation empirique adaptée à l'idée qu'une théorie est un système conceptuel abstrait confronté au monde par l'intermédiaire de modèles, qui représentent des situations concrètes particulières, plutôt qu'une description du monde : une théorie est empiriquement adéquate si ses modèles font de bonnes prédictions pour toutes les situations auxquelles ils s'appliquent. Il s'agit d'une conception de l'adéquation empirique qui se veut proche de la pratique scientifique : elle exprime simplement le succès de la confrontation empirique de la théorie, tel qu'il a été analysé dans le chapitre précédent, sans recourir à l'idée que la théorie pourrait être appliquée au monde dans son ensemble. Elle rend ainsi naturellement justice aux aspects interventionnistes de la pratique expérimentale, et ne repose pas sur une distinction

entre observable et inobservable qui n'est jamais réellement invoquée dans la pratique. Mais elle conserve en une certaine mesure la parcimonie métaphysique propre à l'empirisme : affirmer qu'une théorie est empiriquement adéquate, ce n'est pas affirmer qu'elle est vraie.

De plus, cette façon de concevoir l'adéquation empirique peut être rapprochée d'une sémantique des situations en philosophie du langage, qui s'est avérée fructueuse pour résoudre un certain nombre de problèmes, ce qui étend le parallèle entre théorie scientifique et langage suggérée dans le dernier chapitre.

Enfin nous avons vu qu'elle permet de différencier plusieurs formes d'empirisme au sein d'un même cadre, suivant le domaine de quantification des situations : l'empirisme sceptique, manifeste, factuel et modal. Dans les deux chapitres suivants, nous défendrons la dernière de ces positions : l'empirisme modal, qui affirme que nos théories sont empiriquement adéquates pour toutes les situations possibles, d'abord en la confrontant aux arguments réalistes, puis aux autres formes d'empirisme.

Annexe : formalisation des définitions

Notons :

- \mathcal{T} l'ensemble des théories physiques concevables
- \mathcal{M}_T l'ensemble des modèles physiques d'une théorie T
- \mathcal{E} l'ensemble des types d'expérience concevables
- \mathcal{S} l'ensemble des situations concrètes du monde actuel

Nous pouvons également définir des sous-ensembles de \mathcal{S} :

- $\mathcal{S}_m \subset \mathcal{S}$ l'ensemble des situations qui ont été ou seront expérimentées
- $\mathcal{S}_s \subset \mathcal{S}_m$ l'ensemble des situations qui ont été expérimentées jusqu'à maintenant

Pour gagner en lisibilité, nous omettrons de préciser l'appartenance à ces ensembles dans la suite, pour simplement utiliser les lettres qui leur correspondent (par exemple M_T pour un modèle d'une théorie T). Nous utiliserons des opérateurs modaux quand il s'agira de quantifier sur les situations possibles, indiquant par là qu'une adhésion aux modalités naturelles est requise.

On notera Es la proposition suivant laquelle une situation s peut donner lieu une expérience du type E . On dira que la situation s exemplifie le type d'expérience E . C'est la charge de l'expérimentateur que de déterminer si c'est le cas, à travers une transcription de l'expérience en langage. On

pourra imaginer qu'un type d'expérience s'exprime par une proposition complexe exprimée dans un langage pré-théorique, ou dans un langage théorique qui peut être objet de consensus dans son application indépendamment des croyances des expérimentateurs, et que son application à une situation concrète consiste à fixer la référence du contenu indexical de cette proposition par ostentation, et à constater empiriquement que cette proposition est vraie.

À chaque modèle d'une théorie on peut associer deux ensembles de types d'expériences que l'on formalisera ainsi :

1. $A_M \subset \mathcal{E}$ l'ensemble des types d'expériences auxquels le modèle M est applicable
2. $P_M \subset A_M$ l'ensemble des types d'expériences qui correspondent au succès prédictif du modèle M

Nous sommes maintenant doté d'une formalisation de l'application et des prédictions d'un modèle. Nous pouvons dire ce que signifie l'adéquation empirique. Nous proposons une définition de l'adéquation *factuelle* telle que définie plus haut. Les autres définitions s'obtiennent en modifiant le domaine des situations \mathcal{S} pour \mathcal{S}_s ou \mathcal{S}_m , ou en ajoutant un opérateur modal (voir plus bas).

Définition 1.

$$adequate_f(M) := (\forall E)(\forall s)(Es \rightarrow E \in A_M \rightarrow E \in P_M)$$

C'est-à-dire que quel que soit un type d'expérience exemplifié par une situation concrète, s'il appartient aux conditions d'application de M , il appartient aussi à ses conditions de bonnes prédictions. Ou encore, les types d'expérience invalidant les prédictions de M ne sont jamais exemplifiés.

Définition 2.

$$adequate_f(T) := (\forall M_T)adequate_f(M_T)$$

La théorie est adéquate si tous les modèles de la théorie sont adéquats.

On peut retrouver à ce stade nos contraintes épistémiques sur la notion d'applicabilité et de prédictibilité. Rappelons que la non-circularité stipule que l'applicabilité d'un modèle ne doit pas dépendre circulairement du fait qu'il fasse de bonnes prédictions. On peut montrer en effet que si $A_M = P_M$, c'est-à-dire si un modèle s'applique uniquement aux types d'expériences qui correspondent à son succès prédictif, l'adéquation empirique est obtenue trivialement, indépendamment du fait que la théorie s'applique ou non à des situations s .

Théorème 1.

$$(\forall T)((\forall M_T)(A_{M_T} = P_{M_T}) \rightarrow \text{adequate}_f(T))$$

Preuve : pour un modèle quelconque, si A_M est égal à P_M et si $E \in A_M$, alors $E \in P_M$. Si E ne s'applique pas à une situation le conditionnel $Es \rightarrow E \in P_M$ est vrai, et s'il s'applique aussi. Donc tous les modèles sont empiriquement adéquats.

La deuxième contrainte est la non ambiguïté, qu'on peut exprimer comme le fait que les modèles de la théorie doivent être compatibles : si plusieurs modèles s'appliquent à un même type d'expérience, par exemple en utilisant un référentiel différent ou en appliquant des idéalizations différentes, on peut exiger qu'ils fassent des prédictions équivalentes, sans quoi la théorie ferait des prédictions ambiguës. On exprimera l'incompatibilité de deux modèles comme suit :

Définition 3.

$$\text{incompatible}(M, M') := (A_M \subseteq A_{M'}) \wedge (P_M \cap P_{M'} = \emptyset)$$

Si un modèle couvre le domaine d'application d'un autre (on pensera à un modèle idéalisé qui couvre le domaine de plusieurs modèles plus précis) mais fait des prédictions systématiquement différentes, alors les deux modèles sont incompatibles. On remarquera que s'il existe des modèles incompatibles, alors la théorie ne peut être empiriquement adéquate pour peu que les modèles concernés s'appliquent dans le monde, ce qui explique pourquoi cette contrainte est souhaitable.

Théorème 2.

$$(\forall T)((\exists M_T, M'_T) (\text{incompatible}(M_T, M'_T) \wedge (\exists E \in A_{M_T}, s) Es) \rightarrow \neg \text{adequate}_f(T))$$

Preuve : Il existe deux modèles M et M' incompatibles et une situation E de A_M qui s'applique dans le monde. M' couvre le domaine d'application de M donc $E \in A_{M'}$. Si la théorie était empiriquement adéquate, on aurait $E \in P_M \cap P_{M'}$, ce qui est contradictoire avec $P_M \cap P_{M'} = \emptyset$.

Notre formalisation intègre donc naturellement les contraintes sur la notion d'applicabilité et de prédictibilité.

Pour l'empirisme modal, nous aurons la définition suivante pour l'adéquation empirique, qui consiste simplement à ajouter un opérateur modal :

Définition 4.

$$adequation_m(T) := (\forall M_T)(\forall E)\Box(\forall s)(Es \rightarrow \in A_M \rightarrow E \in P_M)$$

Les mêmes contraintes s'appliquent. Un critère d'application circulaire implique que la théorie est trivialement adéquate pour toutes les situations possibles. Des prédictions ambiguës empêchent que la théorie soit modalement adéquate pour peu l'application des modèles incompatibles soit seulement physiquement possible.

On peut se demander à ce titre si tous les modèles d'une théorie peuvent possiblement s'appliquer. Il se peut que ces applications ne soient pas physiquement possibles, mais alors la théorie, bien que modalement adéquate, est incomplète : elle échoue à exclure quelque chose qui est pourtant physiquement impossible. Pour exprimer ceci on peut introduire une notion de complétude modale :

Définition 5.

$$complete_m(T) := (\forall M_T)(\exists E \in A_{M_T})\Diamond(\exists s \in \mathcal{S})Es$$

C'est-à-dire que tous les modèles physiques de la théorie sont possiblement applicables. La théorie intègre toutes les contraintes de nécessité du monde physique sur son domaine d'application. Si une théorie est ainsi complète mais ne respecte pas la contrainte de non-ambiguïté, alors elle ne peut être modalement adéquate puisqu'elle fera des prédictions contradictoires dans certaines situations possibles. Ou encore, une théorie qui ne respecte pas la contrainte de non-ambiguïté ne peut être à la fois modalement adéquate et complète.

Théorème 3.

$$(\forall T)(\exists M_T, M'_T)incompatible(M_T, M'_T) \rightarrow \neg(adequate_m(T) \wedge complete_m(T))$$

Preuve : Supposons qu'il existe des modèles M et M' dont le domaine d'application couvre celui de M mais qui fait des prédictions différentes $P \cap P' = \emptyset$. Si T est complète, il existe un type d'expérience E physiquement possible pour ce domaine d'expérience. Si T était modalement adéquate on aurait $E \in P \cap P'$ ce qui mène à une contradiction.

Chapitre 6

Induction et abduction : l'empirisme contre le réalisme

English abstract

In this chapter, we examine how the modal empiricism proposed in the previous chapter might renew the debate between scientific realism and empiricism. We observe that the notion of empirical adequacy on which it rests involves two types of induction : an induction on situations, which corresponds to traditional induction, and an induction on models, to which correspond types of experience exemplified by situations. The latter allows one to respond to the no-miracle argument in favour of scientific realism, as novel predictions correspond to models of the theory. It could be threatened by a pessimistic meta-induction argument, but modal empiricism fares better than realism in this respect, since one can maintain that a theory is empirically adequate in a certain, limited domain of experience. Empiricism is distinct from realism in that it does not appeal to the notion of explanation for its justification. We emphasize that modal empiricism, although it is committed to natural modalities, is not a version of realism : modalities do not constitute an explanation to observed regularities, but are arrived at by induction. However modal empiricism can account directly for the capacity of theories to produce explanations, and in particular for the modal aspect of explanations. Finally, it constitutes the most robust and coherent form of induction on models, in that it is an induction on *all* models of the theory.

Dans le chapitre 4 nous avons présenté les théories physiques comme des systèmes conceptuels abstraits confrontés à la réalité par l'intermédiaire de modèles. Dans le chapitre 5 nous avons proposé une définition de l'adéquation empirique d'une théorie en termes de succès prédictif de tous ses modèles. Nous avons vu qu'elle pouvait se décliner en plusieurs versions suivant le domaine des situations auxquelles ces modèles s'appliquent : les situations déjà expérimentées, qui ont été ou seront expérimentées, toutes les situations actuelles ou encore toutes les situations possibles. À ces notions d'adéquation empirique correspondent différentes versions d'empirisme, que nous avons surnommées respectivement : empirisme sceptique, manifeste, factuel et modal. L'objet des chapitres qui vont suivre est de défendre l'empirisme modal : nous devrions penser que nos théories sont empiriquement adéquates pour toutes les situations possibles et non seulement actuelles ou expérimentées.

On peut voir l'empirisme modal comme une position intermédiaire entre les versions traditionnelles d'empirisme, qui s'en tiennent aux phénomènes actuels, et le réalisme scientifique qui s'engage généralement (bien que pas toujours) envers les modalités, mais aussi envers l'existence d'entités qui ne peuvent être données directement dans l'expérience. Sa défense doit donc avoir lieu sur plusieurs fronts : il nous faut d'abord savoir pourquoi nous devrions adopter une position empiriste plutôt que réaliste, c'est-à-dire nous en tenir à ce qui peut être donné dans l'expérience, et ensuite pourquoi nous devrions toutefois nous engager envers l'existence de modalités naturelles, de l'existence de possibilités dans le monde, plutôt que de s'en tenir aux phénomènes actuels, voire seulement aux phénomènes observés jusqu'à maintenant.

La défense de l'empirisme face au réalisme n'a rien de spécifique à l'empirisme modal, aussi nous pouvons nous appuyer sur les arguments existant de la littérature. Toutefois il se pourrait que la notion d'adéquation empirique que nous avons proposée et l'adhésion aux modalités naturelles permette de renouveler ces arguments. L'objet de ce chapitre est de défendre que c'est le cas.

Nous commençons par analyser les différents types d'inductions qui sont en jeu suivant notre conception de l'adéquation empirique : l'induction sur les situations exemplifiant un certain type d'expérience, qui correspond à l'induction telle qu'elle est traditionnellement comprise, et l'induction sur les modèles ou types d'expérience, plus spécifique (section 6.1). Nous examinons de quelle manière ces deux types d'induction s'articulent avec les différentes versions d'empirisme, et en quelle mesure ils permettent de répondre aux arguments traditionnels du débat épistémologique que nous

avons détaillé au chapitre 2 (section 6.2). Enfin dans la section 6.3, nous nous intéressons plus spécifiquement à la façon dont l'empirisme modal se différencie d'un réalisme, et à la façon dont il peut rendre compte du pouvoir explicatif des théories.

6.1 L'induction sur les modèles

Il existe deux formes de raisonnements « ampliatifs » (c'est-à-dire allant au-delà de ce que peut nous donner la simple déduction d'une conclusion à partir de prémisses) traditionnellement considérés en épistémologie : l'induction et l'abduction.

L'induction consiste à inférer une proposition générale à partir de cas particuliers. Toute forme d'empirisme qui prétend se démarquer d'un empirisme sceptique, qui se contenterait des constats empiriques dont nous disposons à présent, a besoin pour sa justification d'une forme d'induction : il s'agit de généraliser le succès prédictif d'une théorie au-delà des cas particuliers observés jusqu'à présent. On peut donc considérer que l'induction est la ligne de démarcation entre l'empirisme sceptique et les autres formes d'empirisme qu'on pourrait qualifier « d'ampliatifs ».

L'abduction est une forme de raisonnement courante à la fois dans la vie quotidienne et en science. Il s'agit de souscrire à la meilleure explication aux phénomènes observés. L'abduction est souvent invoquée pour justifier le réalisme scientifique (voir la section 2.2). Cependant dans la mesure où elle fait appel à des critères de justification non empiriques (les critères qui font une bonne explication), elle suscite généralement la suspicion de l'empiriste : selon van Fraassen (2002), un des principaux traits caractéristiques de « l'attitude empiriste » est de refuser les demandes d'explication du réaliste. On peut donc voir dans le raisonnement abductif la principale ligne de démarcation entre empirisme et réalisme scientifique.

Dans cette section nous commençons par examiner les types d'induction qui sont en jeu si l'on accepte notre définition de l'adéquation empirique : l'induction sur les situations et l'induction sur les modèles, qu'on peut associer à des types d'expérience (voir la section 5.2.3). Cette dernière étant spécifique à notre conception de l'adéquation empirique, et plus particulièrement requise dans le cas de l'empirisme modal, c'est elle qui nous intéressera en premier chef. Nous nous demanderons sur quel type de postulat elle repose.

6.1.1 *Différentes formes d'induction*

Nous avons proposé dans le chapitre précédent de comprendre l'adéquation empirique d'une théorie comme suit : une théorie est empiriquement adéquate si et seulement si, pour tous ses modèles, et pour toutes les situations auxquelles ces modèles sont applicables, les prédictions du modèle sont correctes. Si cette conception de l'adéquation empirique est juste, accepter qu'une théorie est empiriquement adéquate requiert de procéder à deux types d'induction : d'abord une induction sur les situations auxquelles un modèle donné s'applique, afin de justifier que ce modèle est empiriquement adéquat, ensuite une induction sur tous les modèles de la théorie.

L'induction sur toutes les situations auxquelles un modèle s'applique correspond à celle qui est traditionnellement étudiée dans la littérature en épistémologie : on se demande comment justifier une généralisation, par exemple, « tous les corbeaux sont noirs », à partir de cas particuliers. De la même manière, savoir qu'un modèle donné est empiriquement adéquat demande de produire une généralisation du type « toutes les applications (possibles ou effectives) du modèle sont couronnées de succès » sur la base de cas de succès particuliers. Du moins si l'on se restreint aux situations actuelles, on pourrait en effet assimiler, de manière un peu artificielle, l'énoncé « tous les corbeaux sont noirs » à l'affirmation suivant laquelle un modèle, dont les conditions d'application sont qu'il y a un corbeau et dont les prédictions sont que ce corbeau est noir, est empiriquement adéquat : chaque fois que le modèle s'applique (chaque fois qu'il y a un corbeau), ses prédictions sont correctes (le corbeau est noir). Ces conditions d'application peuvent s'exprimer de manière théoriquement neutre en termes de type d'expérience.

Le deuxième type d'induction est une induction sur tous les modèles de la théorie et sur les types d'expérience qui leur correspondent : étant donné que différentes configurations ont été testées avec succès, nous inférons qu'il en sera de même pour les autres configurations qu'on peut concevoir à partir de la théorie, du moins si ces configurations s'appliquent à des situations (si elles exemplifient le type d'expérience correspondant). Si la théorie prédit avec succès la trajectoire d'un solide en chute libre pour certaines vitesses initiales par rapport au sol, elle fera de bonnes prédictions pour un solide quelle que soit sa vitesse initiale. Ou encore, si elle prédit correctement la trajectoire de deux, trois ou quatre boules de billard qui s'entrechoquent, elle prédira correctement les configurations pour un nombre quelconque de boules de billard.

Il ne s'agit pas d'une induction du même genre que la précédente car même si elle va du particulier (quelques modèles) au général (tous les modèles), les entités sur lesquelles on généralise ne sont plus des entités du monde d'un même type, comme des situations, mais des entités abstraites, les modèles, ou encore des types d'expériences possibles qui se caractérisent par des conditions d'application variables. Il n'est plus possible de concevoir, par analogie avec un énoncé comme « tous les corbeaux sont noirs », que nous sommes en train d'attribuer une unique propriété à tous les objets du monde d'un certain type : nous sommes plutôt en train d'attribuer des propriétés hétérogènes (qui correspondent aux prédictions) à des situations exemplifiant des types différents (qui correspondent aux conditions d'application). L'induction porte sur l'association systématique que propose la théorie entre conditions d'application variées et prédictions, non plus sur l'attribution générale de certaines prédictions précises aux systèmes respectant une condition d'application particulière. C'est-à-dire qu'on généralise sur les types eux-mêmes plutôt que sur les objets particuliers du monde d'un certain type.

Mis à part la position que nous avons appelée empirisme sceptique, qui accepte seulement que les théories sont empiriquement adéquates pour les situations expérimentées jusqu'à maintenant, toute position empiriste requiert ces deux types d'induction pour être justifiée. Dans le cas contraire, on ne pourrait dire que la théorie est empiriquement adéquate, mais seulement que certains de ses modèles le sont. Cependant on peut se demander en quelle mesure l'empirisme modal peut être articulé différemment à ces deux types d'induction.

En effet, si l'on est empiriste factuel, avoir recours à une induction sur les modèles est problématique : nous ne voulons pas vraiment induire sur tous les modèles de la théorie, puisque tous les modèles ne s'appliquent pas forcément dans le monde actuel. Nous pourrions alors procéder à une induction sur les modèles qui s'appliquent uniquement, mais alors, notre domaine de quantification nous est inconnu. Il semble donc plus correct de commencer par induire sur les situations du monde, partant du principe que le domaine des situations actuelles peut être appréhendé, puis, pour chacune d'elles, considérer les modèles qui s'y appliquent. Nous pouvons constater que ces modèles sont empiriquement adéquats, et, à l'issue d'une induction sur les situations, postuler qu'il en ira de même pour toutes les situations du monde actuel, mais seule l'induction sur les situations semble réellement mise à contribution. Nous rencontrons alors un problème, qui fait écho à l'argument du miracle que nous examinerons plus loin : l'ensemble des situations du monde constitue un ensemble hétérogène, et on

peut se demander en quoi le fait que la théorie fasse de bonnes prédictions pour certaines d'entre elles devrait nous amener à penser qu'elle en fera pour toutes les situations.

Les choses sont différentes pour un empiriste modal. Au contraire, l'ensemble des situations possibles peut difficilement être appréhendé sans outils conceptuels, et ces outils conceptuels sont précisément les modèles de la théorie (ou les types d'expérience auxquels ces modèles s'appliquent). Considérant que chaque modèle s'applique potentiellement à un ensemble de situations possibles (qu'il y fasse de bonnes prédictions ou non)¹, nous devrions commencer par induire sur l'ensemble des modèles de la théorie. Il s'agit bien d'un ensemble qu'on peut appréhender mathématiquement, du moins si la théorie est axiomatisable : les axiomes de la théorie permettent justement de délimiter cet ensemble. Nous pouvons considérer, pour certains types de systèmes, les conditions initiales qu'il pourrait avoir, les propriétés qui pourraient être mesurées, etc. Puis, pour chaque modèle, nous pouvons considérer l'ensemble des situations possibles auxquelles ils s'appliquent. Constatant que le modèle prédit avec succès pour celles d'entre elles dont nous faisons l'expérience, nous pouvons, par induction, inférer que le modèle est empiriquement adéquat pour toutes les situations possibles. Puis testant des modèles variés, nous pouvons, par induction sur les modèles (ou plutôt, sur les types d'expérience correspondant) inférer qu'il en ira de même pour tous les modèles de la théorie.

Nous voyons déjà comment l'induction sur les modèles s'apparente à une inférence vers la nécessité : il s'agit de tester toutes les configurations possibles pour parvenir à établir des relations de nécessité. Pour être précis, il ne s'agit pas de justifier par induction qu'il existe du possible et de la nécessité dans le monde, mais plutôt, partant du principe qu'il existe du possible dans le monde, de justifier par induction certaines relations de nécessité. L'idée qu'il y a du possible dans le monde est requise au départ : nous venons de voir que c'est elle qui permet de justifier la possibilité d'une induction sur les modèles. Cette idée plus générale demande donc une justification distincte, qui sera l'objet du chapitre suivant, mais nous pouvons déjà constater que l'empirisme modal constitue une position cohérente.

6.1.2 *Remarques sur l'induction traditionnelle*

Nous ne tenterons pas ici de justifier l'induction sur les situations, puisqu'elle n'est pas spécifique à la position défendue ici. Contentons-nous

1. Ceci suppose que toutes les conditions d'application soient physiquement possibles. Nous revenons sur ce que ça implique au chapitre 9.

de brèves remarques.

Il est coutume de penser au moins depuis Hume que le raisonnement inductif est problématique. Il est basé sur le présupposé que le monde est régulier, mais cette hypothèse n'est pas connue a priori (l'hypothèse inverse n'a rien de contradictoire), et affirmer la connaître par induction serait circulaire (voir la section 2.2). Certains auteurs (Williams, 1963; Stove, 1986; Campbell, 2001) proposent toutefois de justifier l'induction par un argument probabiliste, basé sur le fait qu'un échantillon d'une population a plus de probabilité d'être représentatif de la population dans son ensemble que de ne pas l'être (et donc si l'on observe un échantillon de corbeaux noirs, il est raisonnable de penser que la plupart des corbeaux sont noirs). D'autres auteurs pensent que ce raisonnement est fallacieux (il suppose par exemple que notre accès aux échantillons n'est pas biaisé – ce à quoi Campbell répond qu'en l'absence d'information à ce sujet, il reste raisonnable de croire qu'il n'est pas biaisé).

Sans prétendre résoudre la question, remarquons que ce type de justification probabiliste de l'induction suppose de procéder à une inférence sur les populations et la répartition des propriétés parmi ces populations, plutôt que sur les individus. Ceci revient à supposer que le monde est régulier, et à se demander quelle est la bonne régularité (quel est le bon ratio de corbeaux noirs dans la population étant donné notre échantillon) plutôt que de voir le monde comme une mosaïque de propriétés indépendantes (chaque corbeau peut, ou non, être noir). Suivant qu'on adopte un principe d'indifférence vis-à-vis de répartitions possibles ou vis-à-vis de propriétés possibles pour chaque individu, un même raisonnement probabiliste, par exemple bayésien, nous fera aboutir à des conclusions différentes, soit justifiant l'induction, soit au contraire entretenant le scepticisme²

2. À titre d'illustration, imaginons que nous avons observé 9 corbeaux noirs dans une population de 10 corbeaux. Si l'on est a priori indifférent vis-à-vis des distributions possibles de propriétés dans la population, nous attribuerons la même probabilité a priori à la distribution 9/10 corbeaux noirs et à la distribution 10/10 corbeaux noirs. Mais nos observations appuient fortement l'hypothèse 10/10 (tous les corbeaux sont noirs) : ce serait un hasard incroyable que le seul corbeau non-noir soit précisément observé en dernier (il n'y a qu'une chance sur dix que cela se produise). Ceci confirme le raisonnement inductif. Si au contraire on est indifférent vis-à-vis de la possibilité, pour chaque corbeau, d'être noir ou non-noir, on attribuera une probabilité a priori dix fois supérieure à la distribution 9/10 qu'à la distribution 10/10, puisqu'il existe dix fois plus de façon d'obtenir cette distribution en répartissant les propriétés parmi les individus, et à la suite de nos observations, il restera toujours une chance sur deux que le dernier corbeau soit noir. Le raisonnement inductif n'est pas valide. Remarquons au passage que le principe d'indifférence adopté dépendra aussi des propriétés qu'on choisit (combien de couleurs possibles envisageons-nous ?) mais dans un cadre bayésien, cet aspect ne modifie que la vitesse à laquelle nos degrés de

La pratique scientifique semble requérir cette présupposition que le monde est régulier, et que nos hypothèses doivent porter sur des régularités plutôt que sur des propriétés individuelles (au moins pour les propriétés dont nous faisons l'observation), puisqu'une théorie ne formule jamais d'hypothèses particulières sur des individus, mais des hypothèses générales sur le monde (voir la section 4.5.1). S'il faut pouvoir rendre compte de la pratique scientifique comme d'une pratique rationnelle, nous avons donc besoin d'accorder du crédit à l'induction.

On peut tenter de justifier l'induction par un raisonnement probabiliste. On peut penser que tout doute n'est pas forcément raisonnable, et que rien n'indique que l'induction n'est pas une inférence valide. Ou bien on peut, à l'instar de van Fraassen, se contenter de remarquer qu'elle est requise pour rendre compte de l'activité scientifique comme d'une activité rationnelle. Quelle que soit la voie choisie nous considérerons dans la suite que l'induction est un type d'inférence rationnel.

6.1.3 *Induction sur les modèles et unification théorique*

Hume a montré que l'induction au sens traditionnel repose sur l'hypothèse que le monde est régulier. Une induction sur les modèles doit elle-même reposer sur une hypothèse de ce type, mais il ne s'agit pas exactement de la même hypothèse : disons, pour le différencier, qu'il s'agit de l'hypothèse que le monde est *structuré*. En fait cette hypothèse serait à rapprocher d'un critère épistémique souvent invoqué dans la littérature, qui est le critère d'unification théorique : affirmer que tous les modèles d'une théorie prédisent avec succès revient à affirmer que la même théorie peut être utilisée pour rendre compte de domaines divers de l'expérience. Il s'agit donc d'envisager qu'une unique théorie peut unifier ces domaines plutôt que d'avoir différentes théories s'appliquant chacune à un domaine particulier, à la manière dont, dans le cas de l'induction traditionnelle, on envisage qu'il existe une certaine distribution universelle de propriétés (« tous les corbeaux sont noirs ») plutôt que d'assigner des propriétés de manière indépendante à chaque objet particulier.

Le critère d'unification théorique n'est pas un postulat sur le monde puisqu'il concerne nos choix théoriques. L'hypothèse que le monde est structuré doit se comprendre, selon nous, comme l'hypothèse qu'il existe toujours une théorie unifiée qui rend aussi bien ou mieux compte des phénomènes que la combinaison de plusieurs théories disparates s'appliquant

crédence convergeront vers la bonne répartition.

à des domaines différents, ce qui justifie d'utiliser ce critère dans le choix théorique si notre but est de produire des théories empiriquement adéquates. Cette hypothèse est requise pour qu'une induction sur les modèles soit justifiée. En effet, si l'empiriste ne pensait pas que le critère d'unification théorique était valide, il n'aurait aucune raison de penser que nos théories continueront de fonctionner quand on en utilisera des modèles différents, c'est-à-dire quand on appliquera la théorie à de nouveaux domaines d'expériences (ici conçus en termes de conditions d'application des modèles) dont une autre théorie distincte pourrait rendre compte.

On peut craindre qu'invoquer un critère d'unification théorique revienne à importer un critère non empirique dans notre justification de l'empirisme. Certains empiristes seront prompts à juger que le critère d'unification théorique est essentiellement pragmatique : il est pratiquement plus utile d'avoir une théorie unifiée que des théories diverses, mais celle-ci n'est pas forcément plus empiriquement adéquate. Cependant il existe un parallèle suffisamment fort entre l'induction sur les situations et l'induction sur les modèles pour dissiper ce type d'inquiétudes. Après tout, les arguments de Hume montrent que l'hypothèse que le monde est régulier n'est pas non plus une hypothèse empirique (sauf à justifier l'induction par elle-même, ou par une méta-induction), et tout comme certains auteurs défendent l'idée que l'induction au sens traditionnel peut être justifiée par un argument probabiliste de type bayésien, on peut défendre l'idée que l'induction sur les modèles peut être justifiée de la même manière : Myrvold (2016), par exemple, montre qu'une certaine forme d'unification théorique peut aussi être justifiée par un raisonnement bayésien. Ainsi si deux dés donnent systématiquement les mêmes résultats lors de lancers, l'hypothèse qu'ils continueront à donner les mêmes résultats est confirmée par l'expérience. Myrvold montre que l'exemple artificiel des dés peut correspondre à des cas réels rencontrés en science quand il s'agit d'unifier des régularités diverses sous une même théorie. Si ses arguments sont corrects, alors l'unification théorique est bien d'ordre empirique, et l'induction sur les modèles n'est pas moins justifiée que l'induction traditionnelle³.

Si cette hypothèse que le monde est structuré, qui soutient l'induction sur les modèles, peut paraître un peu plus mystérieuse que l'hypothèse que le monde est régulier (de quelle affirmation sur le monde s'agit-il exactement ?), on peut toutefois l'appréhender sous l'angle des ingrédients des modèles théoriques que nous avons identifiés section 4.2.2. Un modèle est

3. Voir aussi Votsis (2015) pour une défense de l'aspect empirique de l'unification théorique.

construit à partir d'une spécification du type de système, de ses conditions initiales, de la manière dont il interagit avec son environnement et des propriétés mesurées sur le système. Procéder à une induction sur les modèles, c'est donc procéder à une induction sur ces quatre types d'ingrédients : sachant que des modèles prédisent avec succès pour certaines conditions initiales et certaines propriétés mesurées, on infère que tous les modèles variant uniquement par leurs conditions initiales et les propriétés mesurées prédiront également avec succès. Par exemple, si la loi de réflexion des rayons lumineux sur un miroir fonctionne pour différents angles de rayons incidents, on inférera qu'elle est valable pour tous les angles incidents. Sachant qu'un électron soumis à certaines valeurs de champ électromagnétique est dévié de telles façons, on inférera qu'il sera dévié de telle façon pour d'autres valeurs du champ électromagnétique. Enfin, sachant que deux ou trois électrons se comportent collectivement de telle façon, on en induira la façon dont un nombre indéterminé d'électrons se comportent collectivement.

On pourrait craindre que puisque les aspects sur lesquels nous effectuons notre induction (les ingrédients des modèles) dépendent de la théorie elle-même, l'hypothèse dont nous aurions besoin n'est pas celle suivant laquelle le monde est structuré « en général » (ce qui pourrait n'avoir aucun sens en dehors d'une théorie particulière), mais celle suivant laquelle le monde est structuré tel que l'affirme notre théorie. Cette hypothèse semble trop forte : elle revient quasiment à adopter une position réaliste vis-à-vis de notre théorie (ou a minima un réalisme structural). Mais cette inquiétude est infondée, dans la mesure où l'on peut penser que les critères d'application des modèles d'une théorie, qui concernent chacun de ces ingrédients (conditions initiales ...), sont relativement indépendant des théories elles-mêmes. Nous avons justifié ce point section 5.2.3 en remarquant que les théories différentes sont généralement comparables sur la base de types d'expériences qui peuvent être conçus a priori (c'est le cas, précisément, de la déviation de la lumière par les corps massifs qui a permis de justifier la théorie de la relativité face à la théorie gravitationnelle de Newton). Si en effet notre induction a bien lieu sur les types d'expériences « vus par la théorie » (puisque une théorie propose une certaine façon de classier les types d'expériences en leur attribuant des propriétés), c'est bien finalement sur ces aspects objectivables des situations, théoriquement neutres, que porte l'hypothèse d'unification théorique en elle-même : nous postulons qu'ils peuvent être classifiés ou structurés de manière unifiée, et la question que l'on se pose est : quelle est la bonne structure, à la manière dont, en effectuant une induction traditionnelle, on suppose que le monde

est régulier, et l'on se demande quelle est la bonne régularité.

Remarquons, en outre, que notre manière de classer les types d'expérience jouit d'une certaine continuité lors des changements théoriques : par exemple, on continuera d'attribuer approximativement la même masse aux objets dans le cadre de la théorie de Newton ou dans le cadre de la relativité, au moins dans les contextes où la théorie de Newton est bien vérifiée expérimentalement (nous revenons en détail sur ces aspects au chapitre 8).

Nous allons voir dans la section suivante que le recours à l'induction sur les modèles ainsi compris permet de renouveler le débat sur le réalisme scientifique.

6.2 L'empirisme modal dans le débat sur le réalisme scientifique

Le fait que l'adéquation empirique, comprise en termes de succès prédictif des modèles, requiert une induction sur les modèles d'une théorie peut permettre d'approcher le débat épistémologique entre empirisme et réalisme sous un angle différent. Dans cette section, nous défendons l'idée qu'elle peut permettre de répondre à certains arguments en faveur du réalisme scientifique, en particulier l'argument du miracle. Nous examinons ensuite en quelle mesure elle peut être victime d'un argument de type méta-induction pessimiste.

6.2.1 *Induction sur les modèles et argument du miracle*

Selon nous, l'induction sur les modèles offre une réponse à l'argument du miracle (voir section 2.2). Cet argument en faveur du réalisme scientifique s'appuie sur le succès prédictif des théories, qui, selon le réaliste, demande une explication que l'anti-réaliste ne peut fournir : ce dernier doit se contenter de constater que les théories scientifiques continuent de prédire avec succès, et en l'absence d'explication, ceci semble relever d'une coïncidence cosmique.

Nous avons vu que l'argument était particulièrement convaincant quand il s'agissait de rendre compte des nouvelles prédictions, quand une théorie est étendue à de nouveaux domaines d'expériences. En effet, il n'y a rien de miraculeux à ce qu'une théorie rende compte de régularités connues, quand cette théorie a été spécifiquement conçue pour en rendre compte. Ce qui, au contraire, semble miraculeux, c'est le fait qu'une théorie soit

capable de rendre compte de nouvelles régularités encore inconnues, ou encore de connexions entre certaines régularités connues (voir la citation de Psillos section 2.2).

Or, à l'inverse d'une induction sur les situations exemplifiant un type d'expérience donné, qui porte en effet sur des « régularités connues », une induction sur les modèles, c'est-à-dire sur les types d'expérience eux-mêmes, devrait porter, justement, sur les « connexions entre régularités connues », ou encore, pourrait-on dire, sur des régularités d'ordre supérieur qui concernent les régularités de premier ordre entre conditions d'applications et prédictions de modèles particuliers. Donc les « boîtes noires » que sont nos théories sont précisément construites pour prédire les connexions entre régularités qu'évoque Psillos. Les nouvelles prédictions correspondront à des modèles de la théorie. Si donc notre conception de l'adéquation empirique est correcte, cet argument réaliste est affaibli : il n'y a pas plus besoin d'explication pour le fait que les prédictions correspondant à des expériences déjà réalisées continuent d'être vérifiées que pour le fait que de nouvelles prédictions inattendues soient vérifiées. Dans les deux cas il s'agit de régularités observables, prédites par la théorie, que l'empiriste affirme, et pour lesquelles le réaliste demande une explication.

Ceci est lié au fait que l'induction sur les modèles repose sur l'hypothèse qu'une unification théorique est possible. Nous pouvons illustrer ceci à l'aide des nouvelles prédictions fournies par les théories dans l'histoire des sciences. Parmi les exemples fréquemment cités, on trouve la prédiction par la théorie ondulatoire de Fresnel de la présence d'un point blanc au centre de l'ombre d'un objet circulaire. On peut justifier cette prédiction par induction sur le comportement de la lumière dans des configurations variées, et en particulier, sur les phénomènes d'interférence qui avaient été observés dans d'autres situations. Un autre exemple typique est celui de la déviation de la lumière par les corps massifs, prédite par la théorie de la relativité. Il s'agit dans ce cas d'une induction sur les types de systèmes : étant donné la manière dont différents corps sont déviés, on peut en inférer que la lumière doit se comporter de la même façon.⁴

4. Il ne s'agit pas ici d'affirmer que les scientifiques procèdent réellement à ce type d'induction. En général, les inférences vers les nouvelles prédictions passent par un contenu ontologique : l'équivalence entre accélération et gravitation implique que la lumière est déviée par les corps massifs. Cependant ce contenu ontologique a bien pour conséquence empirique que tous les corps sont tous déviés de la même façon sous l'effet de la gravitation. La théorie de la relativité apporte une unification théorique entre différentes classes de phénomènes, et pour un empiriste, seules les conséquences empiriques de cette unification théorique, non le contenu ontologique, peuvent être justifiées par induction. On pourrait, à la limite, réduire ce contenu ontologique au rôle unificateur qu'il joue.

Si cette prédiction peut paraître plus risquée, et si l'on pourrait douter, intuitivement, qu'on puisse l'avoir obtenue par simple induction, remarquons qu'il s'agissait à l'époque de confirmer une théorie qui n'était pas encore bien établie : c'est en fait à la suite du succès de cette prédiction que la théorie de la relativité a été largement acceptée. Autrement dit, le processus inductif qui nous amène à penser que la théorie de la relativité est empiriquement adéquate pour tous les types de système commence *après* cette prédiction, quand on constate qu'en effet la lumière, comme les autres objets, est déviée par les corps massifs. C'est alors qu'on peut affirmer, par induction sur les modèles, que la relativité prédira correctement la déviation de tout type d'objet physique. Les nouvelles prédictions, une fois couronnées de succès, constituent la première étape d'une induction sur les modèles d'une théorie.

Ainsi le simple fait d'envisager que les théories s'appliquent à des situations particulières plutôt qu'à l'univers dans son ensemble, et qu'en conséquence l'adéquation empirique doive être comprise en termes d'induction sur les situations *et* sur les modèles, permet de retrouver les atouts du réalisme scientifique quand il s'agit de rendre compte des nouvelles prédictions, sans pour autant s'engager envers le fait que nos théories sont vraies, ce qui pourrait permettre d'éviter les difficultés du réalisme.

On peut penser que l'induction sur les modèles rapproche l'empirisme d'un réalisme, au risque de rencontrer les mêmes difficultés, et notamment celles liées au changement théorique. La section suivante vise à examiner en quelle mesure un argument de type méta-induction pessimiste pourrait menacer ce type d'induction.

6.2.2 *Induction sur les modèles et méta-induction pessimiste*

Si l'induction sur les modèles offre une réponse à l'argument du miracle, on pourrait craindre qu'il s'agit d'un pas de trop qui nous rende victimes d'autres arguments à l'encontre du réalisme scientifique, en particulier l'argument de la méta-induction pessimiste.

Il existe en effet une différence entre ces deux types d'induction. Dans le cas de l'induction sur les situations, ces dernières exemplifient, par stipulation, le même type d'expérience. Il semble donc légitime de postuler que les situations que nous avons rencontrées jusqu'à présent constituent un échantillon représentatif de l'ensemble des situations qui exemplifient ce type dans l'univers. Mais on peut se demander en quel sens les types d'expériences réalisées jusqu'à présent sont représentatives ou non des expériences réalisables, et cette notion de représentativité n'est pas la

même que dans les cas des situations du premier argument, puisqu'il s'agit précisément d'expériences de types différents. S'il est aisé d'induire sur les situations du même type dans l'univers, puisqu'il s'agit d'un ensemble homogène, on peut se demander si c'est le cas pour les types d'expérience.

Rappelons que nous entendons par type d'expérience un ensemble de propriétés objectivables qui permettent de savoir a priori quels modèles d'une théorie s'appliquent. Il s'agit en particulier de spécifier un type de système, ses conditions initiales et les propriétés qui seront mesurées. Il peut sembler intuitivement qu'une certaine forme d'induction est applicable, *en une certaine mesure*, aux types d'expérience, si l'on fait varier les conditions initiales, les propriétés mesurées, et même les types de système considérés : la mécanique de Newton nous permet de construire des ponts ou des immeubles de différentes tailles, qui seront modélisés différemment, et on ne doute pas qu'ajouter quelques piliers à nos ponts ne posera pas de problème majeur à la bonne applicabilité de cette théorie. Après tout les modèles qui nous servent à construire des ponts sont plutôt des classes de modèle que des modèles particuliers au sens où nous l'avons défini au chapitre 4 : on envisage non pas des conditions initiales particulières, mais des conditions variées (par exemple différentes forces de vent). Donc ce type d'induction sur plusieurs modèles théoriques est en effet réalisé dans la pratique scientifique dès qu'on développe une technique qu'on souhaitera confronter à des environnements variés, et à plus forte raison quand on s'appuie sur des techniques éprouvées pour en développer de nouvelles.

Toutefois remarquons d'une part que le développement de nouvelles techniques ou leur application à de nouveaux contextes sont plus incertains que la réutilisation de techniques éprouvées dans des contextes maîtrisés : ceci demande généralement de nouveaux ajustements imprévus. Certes ces ajustements exigent rarement une révision de la théorie, mais il se peut que le cas se présente. Par exemple, la supraconductivité a été découverte expérimentalement sans que la théorie n'en rende compte. C'est le lot, plus généralement, de tout ce que Kuhn (1962) appelle des « énigmes à résoudre » quand elles se transforment, sous l'éclairage d'une nouvelle théorie, en contre-exemples de l'ancienne : l'extension de la théorie à de nouveaux cas cesse de fonctionner. Il se peut donc que l'induction sur les modèles ne soit pas si bien justifiée par l'expérience.

D'autre part, on sera sûrement plus suspicieux à l'égard de ce type d'induction si l'on envisage des changements drastiques : que se produirait-il si le matériau utilisé pour construire un pont avait la densité d'un trou noir ? Pourrait-on toujours calculer le bilan des forces pour construire notre

pont avec les mêmes méthodes ? Un bon scientifique répondra qu'il faudrait cesser d'utiliser la mécanique de Newton : elle ne s'applique plus. C'est une façon rétrospective de voir les choses, car nous disposons aujourd'hui d'une théorie qui nous permet de prévoir à quel moment la mécanique de Newton cessera de fonctionner, mais elle permet de jeter le doute sur ce type d'induction en général, même dans le cas où nous ne disposons pas de meilleure théorie.

Ce qui est en jeu ici, c'est l'hypothèse suivant laquelle le monde serait structuré d'une manière qui nous permette d'induire sur tous les modèles d'une théorie. Ce dont nous aurions besoin dans l'idéal pour pouvoir procéder à une telle induction sans limite, c'est de l'hypothèse que le monde est structuré *précisément comme l'affirme notre théorie*, mais comme nous l'avons remarqué dans la section précédente, ce ne serait qu'une pétition de principe. Puisque nous ne sommes pas dans le cas idéal, nous pourrions procéder à une méta-induction, en nous intéressant à la manière dont l'induction sur les modèles s'est avérée ou non efficace par le passé. Mais à ce titre les données historiques sont contradictoires.

En effet, les nouvelles prédictions couronnées de succès vont dans un sens positif. La déviation des rayons lumineux par les corps massifs, prédite par la relativité, a été confirmée par une expérience inédite : il s'agissait d'un nouveau type d'expérience, encore jamais réalisé. On peut citer également la découverte du positron, qui correspond à un modèle de la théorie quantique que les physiciens pensaient ne pas être physiquement possible, et qui pourtant a été confirmé par l'expérience. On peut aussi juger que chaque construction d'un pont d'un nouveau type confirme ce type d'induction à propos de la mécanique de Newton. Mais d'autres observations historiques vont dans le sens contraire : la plupart de nos théories ont été remplacées par de nouvelles ayant un domaine d'application plus large. La théorie de Newton ne s'applique pas aux trous noirs. Il est fort probable, sur la base des théories passées, que nos théories actuelles ne s'appliquent pas à tous les types d'expériences.

6.2.3 *La méta-induction pessimiste n'est pas fatale*

Nous avons affaire ici, en quelque sorte, à une transposition du débat sur le réalisme scientifique à propos de l'adéquation empirique elle-même : nous retrouvons une version de l'argument du miracle (mais sans référence à la notion d'explication, sur laquelle nous nous pencherons bientôt) qui joue le rôle d'une « méta-induction optimiste » mettant en avant les nouvelles prédictions inattendues pour nous convaincre de la fiabilité des théories

scientifiques, et une version de la méta-induction pessimiste qui vient au contraire jeter le doute sur elles (et c'est en soi un point intéressant que ces deux arguments peuvent être compris comme portant sur la possibilité d'une induction sur les modèles plus ou moins poussée). Le bilan est donc plutôt mitigé.

Cependant ces remarques ne sont pas fatales pour l'empirisme. La méta-induction pessimiste est beaucoup moins problématique appliquée à l'adéquation empirique des théories qu'au réalisme scientifique, puisqu'on peut mettre en avant une notion d'adéquation empirique approximative. Nous n'avons pas, par souci de simplicité, mis en avant cet aspect dans notre définition de l'adéquation empirique, mais comme nous l'avons observé en nous intéressant à la confrontation expérimentale (section 4.3), le fait pour un modèle de prédire avec succès est une affaire de probabilités, si bien qu'en principe l'adéquation empirique d'un modèle est une question de degré. La méta-induction pessimiste est problématique pour le réalisme scientifique quand celui-ci est formulé en termes de référence à des propriétés naturelles (voir la section 2.3) : l'ontologie postulée par la théorie doit être vraie ou fausse ; il ne peut être question qu'elle soit approximativement vraie, ou vraie dans un domaine et fausse dans un autre : toute frontière entre des domaines d'application semblera arbitraire et les cas limites poseront des problèmes de compatibilité. Mais la frontière entre les domaines d'expérience pour lesquels une théorie est empiriquement adéquate n'a pas à être aussi marquée, puisque la théorie peut être approximativement adéquate dans des domaines limites⁵.

Un autre aspect positif est qu'il est parfois possible de prévoir quels sont les domaines qui risquent d'infirmer une théorie. C'était un fait reconnu, avant que la relativité générale et la mécanique quantique ne soient conçues, que la mécanique de Newton posait des problèmes de compatibilité avec la théorie électromagnétique de Maxwell. Il est vrai que les physiciens ont persisté à essayer de sauver la théorie, y compris après que l'expérience de Michelson et Morley ait attesté du sérieux de ces problèmes. Il est vrai également que nous n'avions pas anticipé que l'orbite de Mercure pouvait constituer un cas limite où la théorie ne s'applique plus parfaitement. Mais aujourd'hui nous sommes en position de savoir que la théorie de la relativité et la mécanique quantique ne peuvent s'appliquer conjointement à certains niveaux d'énergie élevés, et donc nous savons d'ores et déjà que leurs domaines d'application sont restreints, et nous en connaissons certaines

5. Nous pouvons comprendre ici la notion de domaine d'application / d'expérience en termes de type d'expériences : voir la section 5.2.3.

limites.

Un autre aspect positif est que les nouvelles théories permettent en général de spécifier précisément le domaine d'application des anciennes théories. À la lumière de la théorie de la relativité, nous pouvons savoir à quelles conditions un modèle de la théorie de Newton ne fera plus de bonnes prédictions. Il semble, paradoxalement, que l'adéquation empirique des anciennes théories soit mieux circonscrite que celle des nouvelles théories : nous pourrions très bien exclure par simple décret de la théorie de Newton tous les modèles dont on sait, à la lumière de la théorie de la relativité ou de la mécanique quantique, qu'ils ne prédiront pas avec succès. Nous pourrions alors affirmer avec une assez grande certitude que cette théorie restreinte est, strictement, empiriquement adéquate^{6 7}. Nous pourrions alors être prêts à affirmer (par méta-induction) que nos théories actuelles sont également empiriquement adéquates restreintes à un domaine d'application, même si leur domaine d'application est imparfaitement connu. Nous avons de plus des raisons de penser que ce domaine est relativement large : plus large que celui de la théorie de Newton.

Notons qu'il s'agit d'un avantage de notre définition de l'adéquation empirique en termes de situations qu'elle permette une extension en ce sens. Envisager l'adéquation empirique en termes d'un unique modèle de l'univers ne permettrait pas d'appliquer de telles restrictions de domaines, puisque le domaine est universel par stipulation. Après tout, c'est bien un argument de méta-induction pessimiste qui nous a permis de motiver initialement l'empirisme modal face au réalisme structural, et nous avons noté à l'occasion qu'un problème pour le réalisme structural ontique est que d'hypothétiques relations primitivement modales ne peuvent survivre aux changements théoriques (section 3.3.3). L'empiriste modal conçoit quant à lui que nos énoncés modaux peuvent être évalués pragmatiquement, en

6. à moins que de nouvelles avancées limitent encore ce domaine. S'il s'avérait par exemple que le problème des courbes de rotation des galaxies, qu'on résout en invoquant la matière noire, était en fait une anomalie de nos théories gravitationnelles actuelles, comme certains théoriciens (minoritaires) le prétendent, cela limiterait le domaine d'application non seulement de la relativité, mais aussi de la théorie de Newton.

7. De manière à peu près équivalente, sans toucher à la théorie elle-même, on pourra faire porter la révision sur les conditions d'applicabilité des modèles : au lieu d'affirmer que la théorie de Newton n'est pas vraiment adéquate pour tous ces modèles, nous pourrions aussi bien considérer que certains de ses modèles (comme ceux qui décrivent des corps ayant la densité d'un trou noir) ne s'appliquent finalement à aucune situation, c'est-à-dire que la théorie n'est pas applicable à ces cas, et ainsi maintenir que nos anciennes théories sont strictement empiriquement adéquates selon notre définition. Le problème de cette stratégie est qu'elle semble réintroduire une circularité entre prédiction et critères d'application, qui risque de trivialisier l'adéquation empirique.

tenant notre contexte épistémique pour fixe, c'est-à-dire, précisément, un domaine d'application pour la théorie, et nous avons noté que le langage des situations possibles permet mieux que celui des mondes possibles de rendre compte de ces aspects pragmatiques (section 5.3.2).

Enfin un dernier aspect positif est que le domaine d'application des théories s'élargit lors des changements théoriques, si bien qu'il est légitime de penser que la science fonctionne par accumulation de connaissances empiriques.

Si donc le bilan est mitigé, il semble raisonnable d'adopter la position suivante : nos théories sont empiriquement adéquates, appliquées à un domaine d'expérience large, mais pas universel, à savoir pour l'ensemble des types d'expériences qui ne sont « pas trop éloignés » de celles que nous avons réalisées jusqu'à présent. Elles sont empiriquement adéquates « à un degré supérieur » quand nous restons « proches » de ce domaine d'expérience. Formuler précisément ce qu'on entend par proximité et éloignement d'un type d'expérience, et par degrés d'adéquation empirique, dépasse le cadre de notre travail, mais nous avons déjà donné quelques indices : la proximité d'un type d'expérience peut se comprendre en termes de condition d'application des modèles (conditions initiales, type de système, propriétés mesurées) ou de type d'expérience, et le degré d'adéquation empirique en termes de significativité des prédictions. En tout cas, nous pouvons conserver l'idée que la science procède par accumulation de connaissances, et progresse, au fil des changements théoriques, vers une adéquation empirique s'appliquant à un domaine d'expérience de plus en plus large.

Dans la suite, par souci de concision, nous continuerons d'affirmer simplement que nous sommes en position d'affirmer que nos théories sont empiriquement adéquates en omettant ces restrictions.

L'empirisme tel que nous le comprenons permet donc de répondre à l'argument du miracle tout en conservant les avantages de l'empirisme traditionnel vis-à-vis du changement théorique.

6.3 Empirisme et explication

Nous avons vu dans la section précédente que l'empirisme devait avoir recours au raisonnement inductif pour justifier que nos théories sont empiriquement adéquates. L'induction sur les modèles permet d'amoinrir le fossé entre empirisme et réalisme, notamment en permettant de répondre à l'argument du miracle. L'induction cependant n'est pas suffisante pour

être réaliste.

Si l'on considère que le réalisme scientifique est la position suivant laquelle nos meilleures théories sont vraies, la différence entre empirisme et réalisme dépendra de la conception de la vérité qu'on adopte. Il est possible qu'une conception pragmatiste de la vérité ne permette pas de distinguer foncièrement l'empirisme modal et le réalisme : on jugera de la vérité d'une théorie à son succès dans toutes les situations possibles, ce qui n'est qu'une formulation de l'empirisme modal (et nous pensons qu'en effet l'empirisme modal *est* un réalisme en ce sens). Mais une conception pragmatiste peut être jugée insuffisante pour le réalisme, du moins si par « réalité » on entend ce qui existe indépendamment de nous et de nos procédures de vérification, même possibles (il s'agit en fait d'adopter un réalisme interne : voir la section 1.2.4). Or une conception plus ambitieuse de la vérité, comme correspondance, devrait nous amener à penser qu'une théorie pourrait en principe être fautive bien qu'elle prédise avec succès dans toutes les situations possibles. Il faudra alors autre chose que l'induction pour justifier le réalisme, et nous devons faire appel à d'autres critères que le succès prédictif : par exemple, le pouvoir explicatif.

Dans cette section nous nous intéressons aux arguments en faveur du réalisme liés à la notion d'explication. Nous commençons par rappeler en quoi le raisonnement abductif (ou inférence à la meilleure explication) marque le contraste entre empirisme et réalisme, et les quelques arguments qui amènent l'empiriste à rejeter ce type de raisonnement. Nous expliquons en quoi l'empirisme modal, même s'il est engagé envers les modalités naturelles, n'est pas selon nous un réalisme. Puis nous nous intéressons au pouvoir explicatif des théories en général, dont toute position voulant rendre compte de l'activité scientifique devrait rendre compte. Nous défendons que l'empirisme modal permet de rendre compte assez directement de la notion d'explication.

6.3.1 *L'abduction*

Nous avons évoqué section 2.2 le raisonnement abductif, ou inférence à la meilleure explication. Il s'agit là d'une première marque distinctive importante entre empirisme et réalisme : l'empiriste sera généralement enclin à refuser les demandes d'explication que le réaliste appelle de ses vœux. Pour le réaliste, notamment quand il invoque une méta-abduction (l'idée que le réalisme serait lui-même la meilleure explication au succès empirique des sciences), il ne suffit pas de constater que les phénomènes obéissent à certaines régularités : il faut pouvoir expliquer ces régularités,

non seulement les affirmer. Mais pour l'empiriste une telle demande d'explication n'est que le début d'une régression à l'infini (van Fraassen, 1989, ch. 5.2).

Nous avons cité différents arguments contre le raisonnement abductif. Nous acceptons pour notre part ces arguments, et considérons que le raisonnement abductif tel qu'il est utilisé en science ou dans la vie courante n'est au mieux qu'une forme libérale d'induction probabiliste intégrant des aspects pragmatiques. On peut juger que le choix d'une hypothèse ou d'une théorie scientifique relève soit de l'induction probabiliste (qui nous permet de sélectionner l'hypothèse la plus probablement empiriquement adéquate), soit du pragmatisme (qui nous permet de sélectionner l'hypothèse à tester en premier pour aboutir plus rapidement à une théorie empiriquement adéquate), et on voit mal comment il pourrait exister un troisième terme qui serait autre chose qu'une question de préférences psychologiques ayant peu à voir avec la vérité ou avec l'adéquation empirique.

Ces critiques de l'abduction ne sont pas spécifiques à la notion d'adéquation empirique que nous défendons. Si nous les évoquons ici, c'est d'une part pour spécifier clairement l'endroit où, selon nous, se situe la ligne de démarcation entre empirisme et réalisme, et d'autre part, pour expliquer en quoi l'empirisme modal, qui est la position que nous défendons, est bien un empirisme plutôt qu'un réalisme.

On pourrait craindre en effet qu'une adhésion aux modalités naturelles, c'est-à-dire à l'existence de rapports de nécessité dans la nature, soit issue d'un raisonnement abductif : ces rapports de nécessité constitueraient une explication aux régularités observées. Cette idée est parfois invoquée par les réalistes, et il semble bien qu'un engagement envers l'existence de rapports de nécessité dans la nature nous rapproche d'un réalisme. Mais ce n'est pas selon nous la bonne manière de concevoir l'empirisme modal. Ce dernier ne prétend pas offrir une explication aux régularités du monde.

S'il est vrai que la nécessité d'une régularité implique logiquement que cette régularité soit vraie, et donc pourrait constituer une certaine forme d'explication déductive, on peut se demander, à l'instar de van Fraassen, en quoi le fait d'invoquer des mondes possibles ou des situations possibles explique en quoi que ce soit ce qui est actuel, plutôt qu'il ne s'agirait d'affirmer une régularité plus étendue. Il s'agit précisément, pour nous, d'affirmer une régularité plus étendue, et de la justifier non pas par un pouvoir explicatif propre, mais à la manière dont on peut justifier les autres formes d'empirisme : par un processus inductif.

Nous parlons ici uniquement de justification. Il est possible, comme nous le verrons plus loin, que l'empirisme modal parvienne mieux que

d'autres formes d'empirisme à rendre compte de la notion d'explication en science (du fait du caractère modal des explications), ce qui constitue un avantage pour cette position quand il s'agit de rendre justice aux différents aspects de la pratique scientifique. Cependant l'empirisme modal n'a pas pour objet de constituer une explication aux régularités empiriques *en général* (même s'il peut permettre de déployer des explications particulières à certains phénomènes), et le fait de constituer une bonne (ou la meilleure) explication aux régularités empiriques *en général*, à la manière dont un réaliste peut prétendre que le réalisme est la meilleure explication au succès empirique des sciences, ne constitue pas selon nous une justification ou une motivation indépendante de cette position. Il s'agit seulement d'étendre notre base d'induction, non seulement aux situations actuelles, mais aux situations possibles.

Toutefois, il nous faut motiver cette extension de notre base d'induction aux situations possibles de manière indépendante : ce n'est pas l'induction en elle-même qui permet de justifier cette extension, ou l'adoption de l'empirisme modal, et l'engagement envers l'existence d'une nécessité physique qui le caractérise, face aux autres formes d'empirisme. Nous développerons notre défense de l'empirisme modal face aux autres formes d'empirisme de manière plus approfondie dans le chapitre suivant, mais nous pouvons déjà donner ici quelques indications en ce sens. C'est l'objet de la sous-section suivante.

6.3.2 *Induction et abduction selon l'empirisme modal*

Si le raisonnement abductif ne peut servir, selon nous, à justifier un engagement envers tel ou tel rapport de nécessité postulé pour expliquer telle ou telle régularité, puisque c'est un raisonnement inductif qui nous le permet, on pourrait croire qu'il est requis pour justifier l'existence de possibilités et de rapports de nécessité dans le monde *en général*, c'est-à-dire pour le fait d'étendre notre base d'induction à toutes les situations possibles. En effet, avant de procéder à une induction sur les situations possibles, nous devons déjà accepter qu'il existe quelque chose comme des situations possibles (sans nécessairement croire qu'il s'agit de situations concrètes : voir la section 5.3.2). Cependant on voit mal en quoi une simple extension de notre base d'induction pourrait constituer une explication de quelque forme que ce soit.

Nous pensons qu'il existe en fait d'autres raisons indépendantes de quantifier sur les situations possibles plutôt qu'actuelles ou expérimentées, qui tiennent principalement au fait que les autres bases d'induction mènent

à des positions instables, peinant à rendre compte de l'activité scientifique, tandis que l'induction sur les situations possibles pousse le processus inductif à son terme. L'induction sur les situations possibles est, selon nous, la forme la plus cohérente d'induction.

En effet, l'empirisme modal est la seule version d'empirisme qui pousse l'induction à son terme : une fois que nous acceptons qu'une théorie prédit avec succès pour toutes les situations possibles, nous ne pouvons aller plus loin sans invoquer un raisonnement d'une nature différente de l'induction, c'est-à-dire sans effectuer un saut qualitatif (de type abduction par exemple) qui nous permettrait de dépasser l'adéquation empirique, et de parler d'autre chose que de situations. S'il est a priori cohérent de pousser l'induction à son terme, c'est qu'on pourrait se demander pourquoi s'arrêter dans notre induction à une certaine étape (aux situations expérimentées, aux situations actuelles). Il existe peut-être certaines raisons particulières, auxquelles nous nous intéresserons dans le chapitre suivant quand il sera question de sous-détermination, mais on peut soupçonner que les mêmes arguments qui pourraient invalider un tel processus inductif s'appliqueraient aussi bien aux formes plus faibles d'empirisme et nous ramèneraient à un scepticisme.

De cette cohérence découle une certaine forme de complétude qui permet de nous affranchir d'une part d'arbitraire. Il ne s'agit pas d'induire uniquement sur les modèles d'une théorie qui s'appliquent dans le monde actuel, ou seulement sur ceux qui seront effectivement appliqués, mais sur tous les modèles de la théorie. Or une induction seulement partielle rencontre des difficultés qui font écho à celles dont nous avons discuté section 5.1.4 à propos de l'idée que l'adéquation empirique impliquerait l'existence d'un modèle de l'univers. Nous avons remarqué que cette façon d'envisager les choses nous demande d'accepter qu'une théorie est empiriquement adéquate sans être capable de formuler ce que sont les conséquences empiriques de cette théorie (puisque nous ne connaissons pas ce modèle de l'univers). Ici, un problème similaire se pose pour ce que nous avons appelé empirisme factuel et empirisme manifeste : nous devons accepter que nos théories sont empiriquement adéquates pour tous les modèles qui s'appliqueront à des situations actuelles, voire qui seront en effet appliqués, mais sans savoir par avance quels sont ces modèles. Nous devons donc accepter que les conséquences empiriques de notre théorie sont correctes sans connaître par avance ces conséquences. Il semble alors que les implications de notre acceptation ne nous sont pas parfaitement transparentes. Nous avons signalé que, pour cette raison, un empiriste factuel ne devrait pas faire reposer sa position sur une induction sur les

modèles. L'empirisme modal ne rencontre pas cette difficulté, puisque les modèles dont nous acceptons l'adéquation empirique nous sont connus a priori : il s'agit de tous les modèles physiques de la théorie, dans la mesure où ces modèles pourraient s'appliquer quelque part dans l'univers. Le fait de pousser l'induction à son terme nous évite une forme d'indétermination problématique qui fait de l'empirisme modal une position plus cohérente.

Nous avons certes été amenés à tempérer cette extension maximale à tous les modèles quand il était question de méta-induction pessimiste (section 6.2.2). Cependant, cette restriction inévitable s'applique aussi bien aux autres formes d'empirisme. De plus, contrairement à la restriction aux modèles qui s'appliquent dans le monde actuel, ou qui seront expérimentés, il s'agit d'une restriction que nous sommes capables, en une certaine mesure, d'appréhender : nous pouvons affirmer que notre théorie est empiriquement adéquate dans un domaine relativement proche de celui pour lequel nous avons expérimenté. Il ne s'agit donc pas de se restreindre par principe à une classe de modèles dont nous ignorons tout, et les implications de l'adéquation empirique de nos théories nous restent en grande partie transparentes.

Il n'est finalement pas surprenant qu'en acceptant une induction sur tous les modèles de la théorie nous en venons à accepter l'existence de modalités naturelles. Il est commun en effet d'interpréter la nécessité physique comme ce qui est « vrai dans tous les modèles de la théorie », les modèles étant alors conçus comme des représentations de mondes (ou de situations) possibles. Cette interprétation est partagée y compris, nous l'avons vu, par des empiristes comme van Fraassen, même quand ils refusent que les énoncés modaux aient des valeurs de vérité. Si comme nous l'avons défendu l'adéquation empirique doit se comprendre en termes de succès prédictif de tous les modèles de la théorie plutôt qu'en termes d'un hypothétique modèle de l'univers, accepter qu'une théorie est empiriquement adéquate demande une inférence qui est précisément le type d'inférence qui pourrait nous amener à adopter des modalités naturelles : il s'agit d'une inférence sur tous les types d'expériences *possibles*⁸. Le processus inductif

8. Cette restriction du domaine des modèles sur lesquels porte cette inférence, à laquelle la méta-induction pessimiste nous oblige, menace l'idée qu'il s'agisse d'une inférence vers la nécessité au sens strict, puisque la nécessité est comprise comme ce qui est vrai dans *tous* les modèles, pas dans une sous-partie des modèles. Cependant, dans le cadre d'une évaluation pragmatiste des modalités (voir sections 3.4 et 5.3.2), ce type de restriction ne pose pas de problème particulier. Il est implicite dans le discours modal des langues naturelles, quand par exemple nous faisons usage de modalités techniques. Ce serait un problème si nous prétendions que les relations de nécessité exprimées doivent correspondre à des relations modales primitives, mais ce n'est pas le cas ici.

sur les modèles, idéalement mené à son terme, nous porte vers l'adéquation modale.

Certes, les types d'expérience possibles qui correspondent aux modèles d'une théorie ne sont pas les situations possibles : il peut exister plusieurs occurrences de situations exemplifiant le même type. L'induction sur les modèles semble donc être plus faible qu'une induction sur toutes les situations possibles. Cependant si nous différencions les occurrences de situations par la manière dont elles se rapportent les unes aux autres au sein d'une méréologie (voir la section 5.3.2), il est possible de les caractériser par leur appartenance à des situations plus englobantes exemplifiant des types différents, et celles-ci seront caractérisées par des modèles différents. Dans ce cas l'induction sur tous les modèles couvre bien l'induction sur toutes les situations possibles.

On voit donc que le bon choix de base d'induction pour aboutir à une position empiriste cohérente est l'ensemble des situations possibles, plutôt qu'actuelles ou expérimentées. Reste qu'il peut exister chez l'empiriste une suspicion à l'égard de la notion de possible physique (ou de nécessité physique) elle-même, c'est-à-dire qu'on pourrait juger illégitime ce choix de base d'induction pour la simple raison que les situations possibles (ou de la nécessité physique) n'existent pas. Nous pensons que cette attitude est infondée, et nous reviendrons en détail dans le chapitre suivant sur cette question à propos des arguments de sous-détermination. Nous mettrons en particulier l'accent sur le rôle de l'intervention en science.

6.3.3 *Le pouvoir explicatif des théories*

Nous avons vu que l'on peut répondre à différents arguments réalistes sur la base d'un engagement envers l'induction, sans pour autant faire appel au raisonnement abductif. C'est bien ce type de raisonnement faisant appel à la notion de meilleure explication qui marque la frontière entre réalisme et empirisme. Pour terminer cette section, intéressons-nous à d'autres aspects liés à la notion d'explication qui peuvent être invoquées à l'encontre des positions empiristes.

L'activité scientifique ne consiste pas seulement en la production de modèles destinés à représenter des domaines de la réalité. L'expérimentation, la présentation des théories ou encore les inférences scientifiques font usage d'énoncés qui vont au-delà de la simple formulation de modèles : il s'agit d'énoncés contrefactuels, ou causaux. Ceux-ci sont impliqués en particulier quand il s'agit de produire des explications aux phénomènes. Ainsi, il est reconnu que la plupart des explications peuvent être formulées

à l'aide d'énoncés contrefactuels (on expliquera par exemple un incendie en affirmant que s'il n'y avait pas eu d'étincelles, ou s'il n'y avait pas eu de matériaux inflammables, l'incendie n'aurait pas eu lieu).

Même si le raisonnement abductif n'est pas justifié, on peut juger qu'une position épistémologique concernant le statut des théories scientifiques doit pouvoir rendre compte de ces aspects. Il s'agit non plus de justifier nos théories comme les meilleures explications aux phénomènes, mais de remarquer que le but des scientifiques semble être de produire des explications aux phénomènes, et non seulement des théories bien confirmées par l'expérience, et qu'en tout cas nos théories peuvent servir de support et faire usage d'un discours modal.

Ce peut être un problème pour l'empiriste que de rendre compte du discours modal en général quand ce dernier est sceptique vis-à-vis des modalités naturelles. Comment comprendre que nous produisons ainsi, sur la base de nos théories, des énoncés dénués de valeurs de vérité ? Sur quoi peut porter ce discours ?

Certaines solutions ont été proposées, notamment par van Fraassen (1980, ch. 6) qui développe une théorie pragmatiste de l'explication. Selon lui, produire une explication, c'est répondre à une question « pourquoi ? », et ce type de question implique un contraste entre les phénomènes à expliquer et un ensemble d'autres phénomènes (qui « auraient pu se produire »), ainsi qu'une relation de pertinence (par exemple causale, ou finale) entre l'explication et le phénomène à expliquer. Il met en avant la dépendance de l'explication vis-à-vis des intentions du locuteur qui formule la question. La réponse impliquera alors généralement de contraster différents modèles de la théorie qui sert à produire l'explication : de cette manière, il est possible de rendre compte de l'aspect modal de l'explication, si l'on comprend le discours modal comme rien de plus qu'un discours sur les modèles de la théorie : ce qui est nécessaire est ce qui est vrai dans tous les (ou une classe des) modèles de la théorie. Cette façon de concevoir le discours modal ne nous engage pas envers l'existence d'une nécessité physique. Ainsi, selon van Fraassen, il n'est demandé rien de plus à une théorie pour pouvoir fournir des explications que d'être empiriquement adéquate.

Notre objet n'est pas d'évaluer en détail la théorie de l'explication que propose van Fraassen, ou les solutions proposées par les empiristes pour rendre compte du discours modal, mais de mettre en avant la façon dont notre conception de l'adéquation empirique en général, et l'empirisme modal en particulier, peut permettre de rendre assez directement compte du discours modal, donc de la production d'explication.

Commençons par remarquer qu'une théorie n'a pas besoin d'être vraie

pour être à même de produire des explications. Comme le remarque van Fraassen (1980, p. 92-96), des théories fausses, comme la théorie gravitationnelle de Newton, peuvent produire de bonnes explications, comme l'explication des marées. Il remarque également que les scientifiques ne cherchent généralement pas à produire des explications au-delà de ce qui est nécessaire pour rendre compte des phénomènes : ils n'invoquent pas, par exemple, de variables cachées en mécanique quantique, et Newton refusait d'expliquer ce que sont les forces de gravitation qu'il postulait, se contentant de remarquer que sa théorie rendait correctement compte des phénomènes (van Fraassen, 1980, p. 94). On peut donc voir le pouvoir explicatif d'une théorie comme une conséquence de son adéquation empirique plutôt que comme une caractéristique supplémentaire qui serait désirable pour elle-même.

Si l'on accepte en outre que le discours modal en science peut s'analyser en termes de comparaison entre différents modèles de la théorie (qui diffèrent par exemple par leurs conditions initiales), le fait de concevoir une théorie comme s'appliquant à des situations diverses par l'intermédiaire de modèles variés plutôt que comme produisant un modèle de l'univers permet de comprendre immédiatement pourquoi les énoncés modaux jouent ce rôle central dans l'activité scientifique. Ceux-ci peuvent par exemple jouer un rôle quand il s'agit de tester l'adéquation empirique des théories ou de développer des techniques : on envisagera plusieurs modèles à appliquer, qui diffèrent d'une manière ou d'une autre, et on comparera leurs prédictions. C'est bien le genre de chose qui doit être requis si nous voulons procéder à une induction sur les modèles de la théorie.

Ceci vaut en particulier pour un certain type d'énoncés « modalement chargé » : les énoncés causaux. Bien que développer une théorie de la causalité adaptée à notre conception de l'adéquation empirique, ou à l'empirisme modal, dépasse largement le cadre de cette étude, nous pouvons au moins esquisser la forme que pourrait prendre une telle théorie : il s'agirait d'affirmer qu'un événement ou un objet (ou un aspect objectif quelconque d'une situation) *A* en cause un autre *B* si *A* appartient aux conditions d'application des modèles de la théorie qui s'appliquent à cette situation, si *B* fait partie des prédictions des modèles dont les conditions d'application contiennent *A*, et si *B* ne fait pas partie des prédictions des modèles qui diffèrent uniquement par le fait que *A* ne fait pas partie de leurs conditions d'application (ou si la probabilité de *B* est plus faible pour ces modèles).⁹

9. Il doit être possible de répondre au problème de préemption lié à ce type de conception de la causalité. Si Pam lance un caillou sur une vitre et brise la vitre, et si Bob était prêt à lancer un caillou sur la vitre au cas où Pam ratait son tir, on pourrait penser que le

Un avantage de cette façon de voir les choses est qu'elle unifie d'emblée différentes formes de causalité. En effet, la notion d'applicabilité se distingue de celle d'observabilité, et on peut distinguer dans les conditions d'application d'un modèle des choses qui relèvent de l'intervention et d'autres qui relèvent du constat empirique. Si donc un énoncé modal consiste à comparer différents modèles qui correspondent à différentes conditions d'application possibles, alors il existe plusieurs modes de comparaison pertinents, auxquels on peut associer différentes conceptions de la causalité : interventionniste ou probabiliste. Il resterait à voir si ces deux aspects de la notion d'applicabilité peuvent toujours être distingués¹⁰.

De nombreux auteurs remarquent que le discours causal, comme la notion d'explication, sont contextuels. Prenons un exemple : on expliquera l'origine d'un incendie dans une forêt par la présence d'une étincelle. Il s'agit, de manière schématique, de comparer un modèle de la situation dans lequel les conditions initiales correspondent à la présence d'une étincelle, et un modèle d'une situation alternative dans lequel il n'y aurait pas d'étincelle, et de constater que les prédictions de ces modèles sont différentes : dans le premier, on prédit qu'un incendie se produit, mais pas dans le second. Mais nous aurions pu aussi bien remarquer que s'il n'y avait pas eu d'oxygène dans l'air, il n'y aurait pas eu d'incendie, et notre conclusion aurait été différente : ce n'est pas l'étincelle qui a causé l'incendie, mais l'oxygène. Ou bien on pourra faire valoir que c'est la municipalité qui a causé l'incendie, en échouant à déblayer les feuilles mortes de la forêt qui se sont enflammées.

Cette contextualité peut être un problème pour qui voudrait rendre compte du « véritable lien causal », ou de la « véritable explication » à un ensemble de phénomène, ce lien causal ou cette explication devant être unique. Mais dans le cadre d'une analyse du discours modal en termes de contraste entre différents modèles, rien n'interdit de contraster le modèle d'une situation à différents modèles alternatifs en fonction de l'aspect qui nous intéresse. Rien n'interdit non plus d'envisager des découpages de

jet de Pam ne cause pas le bris de la vitre, puisque s'il n'avait pas eu lieu, le résultat aurait été le même. Dans ce cas, c'est le système composite Pam+Bob qui cause le bris de la vitre. Cependant, on peut très bien porter notre attention non pas sur cette situation globale, mais sur une situation plus restreinte qui ne contient que Pam et la vitre, et arriver à la conclusion que c'est bien Pam qui a causé le bris de la vitre. Le simple fait de penser en termes de situations possibles plutôt que de mondes possibles permet de résoudre le problème, le prix à payer étant d'accepter que les rapports causaux qu'on peut identifier sont contextuels, et dépendent de notre manière de « découper » le monde en situations.

10. Dans le cadre de la mécanique quantique, il est tentant d'assimiler les conditions initiales à l'observation, si elles concernent le résultat constaté d'une mesure préparatoire, et les propriétés mesurées à l'intervention, mais nous ne développerons pas ce point ici.

situations différents, incluant plus ou moins d'éléments (par exemple la municipalité), de manière à porter notre attention sur certains contrastes plutôt que d'autres.

Dans le cas de l'incendie on pourrait vouloir affirmer que la présence de l'oxygène est un aspect de l'environnement moins pertinent que la présence de l'étincelle. Si l'on reprend les différents critères d'application d'un modèle à une situation que nous avons identifiés section 4.2.2, on y trouvera non seulement des conditions initiales et des propriétés mesurées, mais aussi le type de système (ses degrés de liberté et la manière dont il interagit avec son environnement). Or il est légitime de penser qu'un contraste qui concernerait le type de système lui-même serait moins pertinent, puisque c'est le type de système qui détermine les conditions initiales possibles et les mesures possibles : contraster deux modèles qui spécifient des types de système différents revient à comparer des modèles qui n'ont plus beaucoup de points communs. Si rien n'exclut que certaines explications puissent impliquer un tel type de contraste (« la porte a cédé parce que les gens étaient suffisamment nombreux »), on peut au moins comprendre que différents niveaux d'explication puissent être invoqués, certains moins pertinents que d'autres quand les modèles invoqués sont très différents. On peut donc rendre compte non seulement du fait que les explications ou rapports causaux sont contextuels, mais aussi du fait que certaines explications ou certains rapports causaux semblent objectivement moins pertinents que d'autres.

Ici nous proposons une façon de rendre compte du discours modal en science en général en l'illustrant à partir d'exemples de sens commun. Tout ceci est plus ou moins indépendant de la théorie de l'explication que l'on adopte. On pourra affirmer qu'une théorie est explicative parce qu'elle unifie les phénomènes, et donc permet une comparaison de différents modèles qui sont tous des modèles de la théorie (après tout, nous avons remarqué que l'induction sur les modèles présuppose qu'une unification théorique est possible, section 6.2.1). Ou on pourra affirmer qu'une théorie est explicative parce qu'elle insère les phénomènes dans un réseau causal, et analyser le discours causal en termes de comparaison entre modèles. Ou encore, on pourra adopter une conception pragmatiste de l'explication comme consistant à comparer des modèles d'une théorie pour répondre à une question ou réguler nos actions. Dans tous les cas, nos comparaisons portent sur les conditions d'application et les prédictions des modèles : ceci nous permet de considérer qu'en effet le pouvoir explicatif d'une théorie est une simple conséquence de son adéquation empirique, quand une conception de l'adéquation empirique en termes de modèle de l'univers rendrait ce lien

moins évident. On voit que le fait de comprendre l'adéquation empirique en termes d'application de modèles à des situations permet d'établir un lien assez direct entre l'adéquation empirique et le discours modal, y compris sous ses aspects contextuels

Nous ne prétendons pas forcément rendre compte de toutes les formes de discours modal qui peuvent être employées, en particulier quand le discours scientifique est utilisé en combinaison avec le langage naturel¹¹. Remarquons cependant que le fait d'analyser les modalités en termes de situations possibles, plutôt que de mondes possibles, peut constituer un avantage y compris dans une analyse du langage ordinaire, puisque la notion de situations possible est aussi invoquée en philosophie du langage pour résoudre certains problèmes, et notamment à propos des énoncés modaux comme les contrefactuels. En effet, on peut produire en langage naturel des énoncés qui quantifient sur un ensemble de situations plutôt qu'ils ne portent sur une situation du monde actuel : par exemple, « si, chaque fois qu'il avait neigé, il avait neigé un peu plus, la ville aurait débarrassé la neige ». Ces exemples illustrent le fait que le langage naturel dispose des ressources pour quantifier sur les situations possibles. Le type d'analyse que nous proposons n'est donc pas foncièrement déconnecté des analyses qu'on peut faire du discours modal dans le langage ordinaire.

Enfin remarquons que si l'on adopte en plus l'empirisme modal, il est possible d'attribuer au discours modal (qu'il concerne les explications ou les énoncés causaux) une valeur de vérité. On peut considérer que les rapports causaux ou les explications sont objectifs plutôt que simplement pragmatiques, sans pour autant nier les aspects contextuels qui peuvent être invoqués par les pragmatistes. C'est un avantage certain pour cette position : considérer que les scientifiques qui emploient un discours modal (des contrefactuels ou des énoncés causaux) sont systématiquement dans l'erreur, qu'il ne s'agit pour eux que d'une façon de parler à laquelle ils ne croient pas vraiment, ou encore que l'objet de ce discours n'est pas celui qu'il paraît être (qu'il s'agirait de la théorie plutôt que du monde), semble à première vue irréaliste. Mais si l'on est empiriste modal, il nous est tout loisir de prendre ce discours pour argent comptant.

En bref, on voit que l'empirisme modal possède un certain nombre de vertus : il ne s'agit pas d'un réalisme, et donc il ne fait pas appel au raisonnement abductif qu'on peut juger problématique ; il constitue la forme la plus cohérente d'induction, en ce qu'il ne nous demande pas

11. Il faudrait au moins ajouter à ceci des modalités épistémiques, portant par exemple sur des hypothèses ou théories possibles.

d'induire sur un ensemble dont nous ignorons les éléments (les modèles qui s'appliquent dans l'univers actuel par exemple); enfin, il peut rendre compte assez directement du fait que nos théories produisent des explications aux phénomènes ou des énoncés causaux modalement chargés, sans exiger une réinterprétation de ce type de discours.

Conclusion

Suivant la conception de l'adéquation empirique proposée au chapitre précédent, l'empirisme repose sur deux types d'induction : une induction sur les situations exemplifiant un certain type d'expérience, et une induction sur les modèles associés à des types d'expérience. Selon nous, l'induction sur les modèles, spécifique à notre conception de l'adéquation empirique, permet de répondre à l'argument du miracle en faveur du réalisme : le fait qu'une théorie fasse de nouvelles prédictions couronnées de succès n'est en rien un miracle, puisque ces nouvelles prédictions correspondent à des modèles de la théorie qu'on peut juger, par induction, empiriquement adéquats. Tout au plus ceci requiert d'adopter l'hypothèse que l'univers est structuré d'une manière qui autorise l'induction sur les modèles d'une théorie, mais selon nous cette hypothèse, liée au critère d'unification théorique, n'est pas problématique pour l'empiriste. L'empirisme modal conserve toutefois les avantages de l'empirisme traditionnelle vis-à-vis de la méta-induction pessimiste : même si l'induction sur les modèles trouvera ses limites, on peut maintenir l'idée d'accumulation de connaissances au fil du développement scientifique.

L'empirisme modal se distingue nettement du réalisme en ce qu'il ne fait pas appel au raisonnement abductif pour sa justification. Les rapports de nécessité ne constituent pas une explication aux régularités observées mais leur extension aux situations possibles, et celles-ci sont toujours connues par induction.

Nous avons donné quelques raisons d'entendre ainsi notre base d'induction aux situations possibles : il s'agit de la forme la plus poussée et la plus cohérente d'induction, en ce qu'elle ne nous demande pas de savoir quelles situations sont ou non instanciées dans l'univers, et elle permet de rendre directement compte du discours causal ou explicatif produit par les théories scientifiques, y compris sous ses aspects contextuels.

Si les théories sont des systèmes conceptuels plutôt que des descriptions du monde, ces arguments nous indiquent l'attitude que nous devrions adopter vis-à-vis de nos systèmes conceptuels : ceux-ci doivent être jugés

sur la base de leur efficacité, par le passé, à prédire adéquatement les phénomènes, et par induction, il est raisonnable de penser qu'ils sont efficaces *en général*, et qu'ils continueront de l'être étendus à de nouveaux domaines d'expérience. Pour autant il n'y a pas lieu de penser qu'ils nous permettent de produire des descriptions de ce qui existe dans le monde au-delà de l'expérience.

Nous poursuivrons dans le chapitre suivant notre défense de l'empirisme modal face aux autres versions d'empirisme. Nous commencerons par le justifier en relation à la pratique scientifique, puis pour répondre au scepticisme de l'empiriste vis-à-vis des modalités naturelles, nous nous intéresserons aux arguments de sous-détermination : il s'agira de montrer de manière formelle que les modalités ne sont pas sous-déterminées par l'expérience.

Chapitre 7

La sous-détermination des modalités par l'expérience

English abstract

We defend modal empiricism against other versions of empiricism. We argue that it best accounts for scientific activity as rational, in particular when scientists bring about, by intervention, situations that would not naturally arise in the universe. We argue that intervention allows an induction on all models of a theory, and that such an induction works as an inference toward modalities. An argument from under-determination could be used against modal knowledge. We define strict under-determination as a marker of « metaphysical inflation » and argue that so long as modalities are construed in terms of possible situations, rather than possible worlds, they are not threatened by strict under-determination. A strict under-determination could only be achieved if one were in a position to know which models of a theory apply or not in the actual world, but this is not the kind of knowledge that is acquired when testing theories. It follows that modal empiricism is no more under-determined by experience than other versions of empiricism. Without any under-determination argument, the burden is on the modal sceptic to show that modal discourse has no truth value, but if scientific discourse is to be interpreted literally, this is an unfounded selectivism.

Nous avons vu dans le chapitre précédent (chapitre 6) en quoi une notion d'adéquation empirique comme succès prédictif des modèles pouvait répondre à certains arguments réalistes, ou rendre compte de la capacité des théories à produire des explications, en particulier dans le cadre d'un empirisme modal. Il nous reste cependant à justifier notre engagement envers les modalités naturelles face aux autres versions d'empirisme. C'est l'objet de ce chapitre.

Aucune position empiriste ne peut prétendre se justifier uniquement sur la base de l'expérience. C'est pour cette raison que van Fraassen conçoit l'empirisme non comme une position épistémologique, mais comme une attitude envers la science, consistant à adopter le minimum de croyance permettant de rendre justice à la pratique scientifique comme activité rationnelle. Il s'agit alors de se prononcer sur ce que sont les « règles du jeu » de la science (voir la section 1.2.3).

Nous défendons section 7.1 l'empirisme modal sous cet angle : comme permettant de rendre compte de la pratique scientifique, en particulier quand il s'agit de mener à bien des expériences inédites. Selon nous les modalités permettent de mieux rendre compte de l'activité scientifique. Cependant l'empiriste entretient traditionnellement une méfiance à l'égard de l'idée qu'il y ait une nécessité dans la nature. Cette méfiance peut se justifier par un argument de sous-détermination, qui indiquerait que les relations de nécessité ne peuvent être connues par l'expérience. Si c'était le cas, l'empirisme modal ne pourrait constituer la bonne attitude à avoir envers la science, puisqu'il attribuerait à la science un but qu'elle ne peut réellement atteindre. Dans la section 7.2, nous tentons de répondre à ce type d'argument. Nous distinguons sous-détermination stricte et hypothétique, et défendons que seule une sous-détermination stricte peut jeter le doute sur nos inférences, et qu'il s'agit de la ligne de démarcation entre les inférences justifiées et « l'inflation métaphysique ». Dans la section 7.3, nous montrons que l'empirisme modal ne peut être strictement sous-déterminé par l'expérience. Si l'on part du principe qu'il existe du possible dans le monde, les rapports de nécessité que nous postulons ne relèvent donc pas de l'inflation métaphysique. Si les modalités en général permettent de mieux rendre compte de la pratique scientifique, et si les rapports modaux particuliers ne sont pas sous-déterminés par l'expérience, c'est à la charge du sceptique d'expliquer pourquoi nous devrions douter de l'existence de possibilités dans la nature.

7.1 Quel empirisme pour rendre justice à la pratique scientifique ?

L'empirisme constructif défendu par van Fraassen se présente comme une doctrine portant sur le but de la science : il s'agit non pas de justifier de manière définitive certaines croyances à propos de nos théories, mais de rendre compte de la pratique scientifique comme d'une activité rationnelle (section 1.2.3).

Dans cette première section nous allons envisager l'empirisme modal suivant cette approche. La question que nous nous posons est donc la suivante : quelle version d'empirisme est-elle requise pour rendre compte de la pratique scientifique comme d'une activité rationnelle ? Quand les scientifiques mènent à bien des expériences, cherchent-ils à produire des théories empiriquement adéquates pour tous les phénomènes expérimentés, expérimentables, ou possibles ?

On s'accordera pour dire que l'empirisme sceptique est une position trop faible pour rendre compte de la pratique des scientifiques. Si l'on ne croyait pas que nos théories continueront d'être empiriquement adéquates à l'avenir, on cesserait de les développer et on ne les utiliserait pas pour mettre en œuvre des techniques. Il nous reste à choisir entre les positions restantes : faut-il penser que la théorie sera empiriquement adéquate chaque fois que nous la mettrons en œuvre (empirisme manifeste), qu'elle l'est appliquée à toutes les situations actuelles de l'univers (empirisme factuel), ou enfin à toutes les situations possibles (empirisme modal) ?

Parmi ces options, l'empirisme factuel semble être une position instable quand il s'agit de rendre compte de la pratique scientifique. Dans cette section nous mettons en avant certaines de ses insuffisances, et défendons l'idée qu'il faut adopter un empirisme modal pour comprendre les aspects interactifs (et non seulement passifs) de l'expérimentation. Nous relierons ces aspects aux processus inductifs impliqués, en particulier l'induction sur les modèles de la théorie, dont nous défendons qu'il s'agit d'une inférence vers les modalités.

7.1.1 *L'empirisme factuel : une position instable.*

Il est vrai que le discours scientifique, interprété littéralement, ne différencie pas les situations dont nous avons fait ou feront l'expérience de celles qui ne sont pas expérimentées. Il étend l'application des théories à l'univers dans son ensemble : par exemple, la physique décrit les réactions ayant cours au cœur de *toutes* les étoiles, non seulement celles que nous

avons observé. Ceci pourrait jouer en faveur d'un empirisme factuel plutôt que manifeste s'il fallait prendre ce discours au sérieux. Mais ce n'est certainement pas un argument qu'un empiriste serait prêt à employer s'il pense qu'il existe une différence entre accepter une théorie, ce qui inclut l'utilisation de son langage, et la croire vraie. Après tout, à prendre le discours scientifique au sérieux, nous devrions tout aussi bien croire que nos théories s'appliquent à toutes les situations *possibles* puisque le discours modal (par exemple les énoncés contrefactuels) est omniprésent en science. Et peut-être finirait-on aussi par défendre le réalisme si l'on insiste, au niveau sémantique, sur le fait d'interpréter littéralement ce discours, c'est-à-dire si l'on comprend la vérité de ce discours en termes d'une correspondance à la réalité. S'il faut, pour résister à « l'inflation métaphysique » du réaliste, concevoir que le discours scientifique est simplement accepté plutôt que cru, on pourrait aussi bien penser que l'extension des théories aux cas non expérimentés (aux étoiles que nous n'avons pas observé) est du même ordre que son extension à l'inobservable, et qu'elle est de l'ordre de l'acceptation plutôt que de la croyance.

Ce n'est donc pas dans le discours scientifique, mais dans la pratique scientifique qu'un empiriste sensible à ces arguments pourra chercher une justification au fait de s'en tenir à l'une ou l'autre des versions d'empirisme. Il s'agirait plutôt d'extraire de cette pratique des aspects normatifs : les « règles du jeu » auxquelles elle obéit. Mais qu'est-ce qui, dans la pratique, pourrait jouer en faveur d'un empirisme factuel plutôt que manifeste ou modal ?

Van Fraassen justifie le fait d'aller au-delà de ce qui est et sera observé par le fait que les scientifiques choisissent de mettre en œuvre de nouveaux types d'expériences : ils s'intéressent à des phénomènes qui n'ont pas encore fait l'objet d'expériences scientifiques. S'ils pensaient que l'adéquation empirique concernait uniquement les expériences que l'on a faites et que l'on fera, les scientifiques n'essaieraient pas d'étendre la théorie à de nouveaux cas (Monton et van Fraassen, 2003).

Une première objection qui vient à l'esprit est que ces nouveaux cas seront aussi bien des cas qui seront expérimentés, et donc entrent dans le cadre de l'adéquation empirique manifeste. Mais on peut comprendre l'argument de van Fraassen comme portant sur les raisons de faire de telles expériences. Nous constatons en effet que les scientifiques s'intéressent fréquemment à de nouvelles configurations jamais expérimentées, à des phénomènes qui ne sont pas encore expliqués par la théorie, et qu'ils essaient d'étendre la théorie à ces nouveaux cas. Ce comportement est-il rationnel ? Si le but de la science était de produire des théories empirique-

ment adéquates pour toutes les situations expérimentées uniquement, il n'y aurait pas de raison de chercher à étendre ainsi la théorie. On pourrait au contraire s'abstenir de faire de nouvelles expériences, évitant ainsi le risque de rendre notre théorie non empiriquement adéquate quand il suffit de ne rien expérimenter de nouveau pour qu'elle le soit par défaut. Pourtant ce n'est pas ce que font les scientifiques. Si donc ils essaient d'étendre la théorie à de nouveaux domaines, c'est qu'ils veulent s'assurer qu'elle est empiriquement adéquate y compris pour les phénomènes qui n'ont pas encore été observés.

L'argument suppose que l'objectif des scientifiques quand ils s'intéressent à ces nouveaux cas est de s'assurer de l'adéquation empirique de la théorie (et pas, par exemple, de développer des techniques). Nous pouvons y concéder, mais même alors, on ne voit pas pourquoi se restreindre aux situations actuelles plutôt que possibles. En effet, ces nouveaux domaines auxquels on s'intéresse pourront très bien être des domaines qui n'existeraient pas dans le monde sans nos interventions. Mais alors nous n'aurions aucune raison de les produire si tout ce que nous voulions était de nous assurer que la théorie est empiriquement adéquate pour les situations actuelles. Nous prendrions moins de risque en nous restreignant aux phénomènes qui se produisent déjà ou se produiront sans doute quelque part dans l'univers pour s'assurer de l'adéquation empirique de notre théorie. Mais ce n'est pas ce que font les scientifiques : ils cherchent au contraire à appliquer la théorie à de nouveaux domaines, à produire des situations inédites : c'est le cas par exemple quand ils tentent d'implémenter une expérience de pensée de type EPR.

On pourrait arguer que les scientifiques soupçonnent que des expériences de ce type se produisent déjà quelque part dans l'univers, ou se produiraient à l'avenir même si nous ne faisons pas ce type d'expérience, et que c'est la raison pour laquelle ils veulent les implémenter : pour s'assurer de ce qu'il se passe dans l'univers quand elles se produisent. Mais cet argument demanderait à être appuyé par l'observation de la pratique scientifique, en montrant par exemple que les scientifiques se refusent à considérer des expériences sous prétexte qu'elles ne correspondent pas à des phénomènes qui se produiraient sans nos interventions. Or il est douteux que cette raison soit invoquée dans la pratique scientifique : tester l'adéquation empirique dans une situation dont on sait qu'elle ne se produirait pas sans nos interventions ne manque pas, a priori, d'intérêt théorique (non seulement pratique). Les physiciens font rarement une distinction entre phénomènes artificielles et naturels : les phénomènes observés sont toujours naturels, même quand ils sont produits par nos interventions. Le

point important est que le fait qu'un type d'expérience soit plus ou moins susceptible d'être exemplifié dans l'univers ne semble pas entrer en compte de manière importante dans les priorités des scientifiques quand ils mettent en œuvre des expériences en physique fondamentale. Ce sont plus souvent des considérations théoriques qui entrent en jeu (par exemple confronter deux hypothèses modalement concurrentes, confirmer la relativité face à la théorie de Newton), et ces considérations théoriques peuvent généralement s'exprimer par un énoncé modal : « que se passerait-il si ... ? ». Si leur but est de tester l'adéquation empirique d'une théorie, il ne peut s'agir que d'une adéquation empirique *modale*.

Bien sûr, les types d'expérience que nous implémenterons finiront par être actuels, mais le point sur lequel nous voulons appuyer est que le fait qu'un type d'expérience soit ou non susceptible d'être actuellement instancié dans l'univers n'entre pas en considération pour motiver une expérience : à notre connaissance, les scientifiques ne refusent pas de mener à bien des expériences pour tester leurs théories sous prétexte que ce type d'expérience ne sera jamais exemplifié dans l'univers si l'on ne l'implémente pas.

Si donc l'activité scientifique est rationnelle et que son but est de produire des théories empiriquement adéquates, l'adéquation empirique doit être comprise en termes de situations possibles. À ceci s'ajoute les difficultés que nous avons déjà relevées concernant l'aspect apparemment modal de la notion d'observabilité (ou d'applicabilité), qui entre en tension avec le fait de s'en tenir aux phénomènes du monde actuel (voir la section 5.1.2). Pourquoi, finalement, différencier les situations actuelles dont on *pourrait* faire l'expérience par simple observation des situations *possibles* dont on *pourrait* faire l'expérience par intervention ? Dans la mesure où confronter un modèle à l'expérience demande un ajustement des situations du monde par intervention, on peut juger qu'un grand nombre de phénomènes seulement observables mais non observés ne sont en fait pas des phénomènes actuels, mais seulement possibles, puisqu'ils ne pourraient être révélés que par les interventions appropriées.

Il semble donc que l'empirisme modal soit une position plus cohérente que l'empirisme factuel (ou constructif), qui est une position intermédiaire instable, ne poussant pas les arguments qui la soutiennent à leur terme. Si en effet rendre compte de la pratique scientifique demande d'aller au-delà de ce qui est simplement observé, nous devrions adopter l'empirisme modal plutôt que factuel. Il s'agit de mettre l'accent sur le fait que l'expérimentation est un processus actif consistant à mettre en œuvre des situations par intervention plutôt qu'un processus passif de simple observation de la

nature. Nous allons maintenant développer ce point.

7.1.2 *Interventions et modalités*

Selon nous la principale motivation pour adopter un empirisme modal plutôt que factuel ou manifeste tient au fait que ces dernières formes d'empirisme semblent cantonner l'agent épistémique au statut de simple observateur passif (ce que Dewey (1930) appelait « *spectator conception of knowledge* ») au détriment d'aspects actifs, comme l'intervention. Personne bien sûr ne nie que nous sommes des agents, mais cet aspect ne semble pas jouer de rôle épistémique particulier dans les versions traditionnelles d'empirisme : pour savoir qu'une théorie est empiriquement adéquate pour toutes les situations actuelles observables ou observées, on pourrait en principe se contenter d'enregistrer des observations sans chercher à provoquer de nouvelles situations (si par exemple nous disposions de moyens de nous déplacer partout dans l'univers). Mais alors le rôle central de l'intervention dans la pratique scientifique semble difficilement compréhensible.

L'importance de l'intervention dans l'acquisition de la connaissance a été fréquemment mise en avant par des auteurs pragmatistes, comme Peirce (qui, au passage, acceptait l'existence de modalités objectives) ou Dewey, et plus récemment par Woodward. Et en effet, comme nous l'avons noté section 4.3, la plupart des expériences scientifiques ne consistent pas en une simple observation de la nature mais requiert un ajustement entre nos modèles et les situations qu'ils représentent. Les dispositifs expérimentaux sont mis en place pour répondre à des objectifs précis. On cherchera, par exemple, à isoler des phénomènes en apportant les contraintes adéquates, ou à comparer des hypothèses alternatives en mettant délibérément en œuvre les situations pour lesquelles elles font des prédictions différentes. Le fait que ces situations se produisent ailleurs dans l'univers n'est pas pertinent quand il s'agit de motiver la confrontation de ces hypothèses (même si ces hypothèses concernent par ailleurs également des domaines naturels). Ces situations n'ont pas à être des situations qui se produisent dans la nature : elles peuvent être artificielles, et avoir pour seul but de tester certains aspects de la théorie.¹

Il y a quelque chose de très réducteur dans l'empirisme, s'il est conçu naïvement comme la restriction de notre engagement aux manifestations

1. Si les physiciens font rarement une distinction entre phénomènes artificielles et naturels, c'est selon nous précisément parce qu'ils considèrent que le possible, ce qu'on pourrait implémenter par intervention, fait partie de la nature, et qu'ils cherchent à établir des lois ayant une force modale.

observables des entités postulées par nos théories, au détriment des aspects interactifs *possibles*. Prenons un exemple de la biologie : quelles sont exactement les manifestations observables d'une protéine ? « Observer » une protéine *in vitro* requiert d'abord de rompre la membrane cellulaire de cellules vivantes pour libérer leur contenu (de manière mécanique, ou par l'introduction d'agents chimiques). Il faut ensuite procéder à une ultracentrifugation permettant de séparer le contenu des cellules en différentes composantes (protéines solubles, lipides, organelles...). On isolera alors, parmi ces composantes les protéines, par relargage, puis par chromatographie. Ce n'est qu'alors, après les avoir isolées artificiellement, qu'on pourra éventuellement voir les fameuses « manifestations observables » des protéines : par exemple en les soumettant à une spectroscopie. Il va de soi que si nous nous étions contenté d'observer des organismes vivants sans interagir, nous n'aurions jamais postulé l'existence des protéines.

Les protéines ne visent donc pas uniquement à « sauver les phénomènes observables ». Les manifestations observables des protéines sont le résultat d'interventions contrôlées. Or ces interventions jouent un rôle épistémique dans la confrontation expérimentale. Il ne s'agit pas simplement d'observer l'effet d'interventions que nous aurions effectuées de toute façon : c'est la volonté de tester nos théories qui motivent certaines interventions particulières, et celles-ci ne produisent pas des situations physiques qui se produisent déjà naturellement. Ce qui est vrai des entités de la biologie l'est tout autant de celles de la physique : nous ne pourrions « observer » les manifestations des particules du modèle standard sans accélérateur de particule, c'est-à-dire sans produire les situations qui nous intéressent. Un empiriste modal peut comprendre ce qui motive ces interventions : il s'agit de tester certaines configurations possibles en les actualisant. Un empiriste factuel devrait se contenter de constater que nous effectuons ces interventions, et que la théorie rend compte des résultats obtenus, mais ne pourrait rendre compte de ce qui motive ces interventions particulières.

En outre, considérer que tester l'adéquation empirique d'une théorie consiste seulement en des observations exclurait d'emblée des champs de recherche actifs, comme l'informatique quantique, qui sont explicitement orientés vers des applications possibles de la théorie plutôt que vers l'explication de phénomènes naturels. Les chercheurs de ces domaines s'intéressent à produire des phénomènes artificiels qui nous permettraient par exemple d'effectuer des calculs hors de portée des ordinateurs classiques. Or on peut douter que ces champs de recherche ne produisent pas d'authentiques résultats théoriques qui ne dépendent qu'indirectement

d'applications possibles².

Le rôle épistémologique central de l'intervention justifie l'empirisme modal : les scientifiques ne se contentent pas de chercher à rendre compte des situations qu'ils rencontrent, mais mènent à bien des interventions pour créer les situations qu'ils imaginent, et la meilleure manière de comprendre leurs motivations est de faire référence à des situations possibles qui seront actualisées par leurs interventions. Ce type d'activité est ce qui permet de procéder à une induction sur toutes les situations *possibles*, et donc de s'assurer qu'une théorie est modalement adéquate. Autrement dit, si l'on prend en compte le rôle central de l'intervention en science au moment de la confrontation expérimentale des théories, la conclusion est que le but de la science est de produire des théories modalement adéquates, non des théories factuellement adéquates.

S'il y a des domaines comme la cosmologie où l'intervention n'est pas vraiment possible, et donc ne peut jouer ce rôle central, remarquons qu'il s'agit précisément de domaines pour lesquels le discours modal s'avère problématique. Il n'est pas toujours aisé, par exemple, de différencier en cosmologie ce qui serait une loi, ou un fait concernant les conditions initiales de l'univers. Les cosmologistes sont souvent prompts à penser que les conditions initiales de l'univers (ou, par exemple, les valeurs des constantes fondamentales) devraient être expliquées d'une autre manière que par un « principe anthropique », c'est-à-dire par le simple fait qu'elles permettent de rendre compte de notre situation dans l'univers. On peut arguer de plus que les hypothèses cosmologiques s'appuient sur des théories plus fondamentales servant de cadre, comme la relativité ou la mécanique quantique, et qu'on tente d'appliquer à l'univers dans son ensemble. Or ces théories sont, par ailleurs, testées par intervention. De quoi penser que finalement, ce que produit la cosmologie, ce ne sont pas des théories fondamentales, mais des modèles : la cosmologie enrichit le contenu factuel de la théorie (voir section 4.5).

À titre d'illustration, comparons les lois de Kepler et les lois de Newton. Elles permettent chacune de rendre compte du mouvement des planètes

2. L'informatique quantique explore de manière intéressante les liens entre la théorie quantique et des concepts abstraits qui relèvent de la logique mathématique, comme la calculabilité. Il est étonnant qu'un champ semblant relever de l'application de la théorie invoque ainsi des concepts mathématiques abstraits. On pourrait être tenté d'y voir un indice du fait que des concepts purement logique ou mathématique peuvent jouer un rôle non seulement quand il s'agit de décrire la nature, mais aussi de penser nos actions possibles. C'est le cas également de la théorie de la décision, qui est invoquée dans certaines interprétations de la physique.

dans le système solaire. Cependant les lois de Kepler sont généralement considérées comme des lois d'observation. Et en effet, il est plus aisé de les interpréter comme la description d'une harmonie du système solaire que comme description de relations causales entre le soleil et les planètes. Certes, Kepler lui-même pensait qu'il existait une action du soleil sur les planètes, mais ces lois ne permettent pas d'identifier cette action (au mieux elles semblent décrire les conséquences de cette action), et ce n'est qu'avec les lois de Newton qu'on parvient à mieux se la représenter, en l'identifiant aux forces de gravitation induites par le soleil, et altérant le mouvement des planètes. Ce faisant, le contenu théorique s'enrichit non seulement d'entités inobservables (comme les forces) mais aussi de l'aspect modal qui leur est associé à travers les lois qui régissent ces entités, et qui permettent de construire des modèles variés.

La principale différence pratique entre les lois de Kepler et celles de Newton est que les lois de Newton, en plus de s'appliquer au système solaire, peuvent être testées ici-bas, sur terre, par des interventions appropriées. Dans le cas des lois de Kepler, c'est impossible : nous ne pouvons nous permettre de tester différentes configurations du système solaire pour s'assurer qu'elles sont valides en toutes circonstances (et de fait elles ne le sont qu'approximativement, quand la masse des planètes est négligeable devant celle du soleil et que les planètes sont suffisamment éloignées les unes des autres). On est généralement tenté de qualifier les lois de Newton de lois fondamentales, et celles de Kepler de lois d'observations, et on pourrait faire valoir que la possibilité de tester ces lois dans des configurations variées par intervention directe joue un rôle crucial : c'est ce qui permet d'élever le processus inductif à un niveau supérieur, c'est-à-dire, en somme, de procéder à une induction sur tous les modèles d'une théorie plutôt que de se contenter d'une seule classe de modèles appliquée à un système particulier.

Une remarque du même ordre est que les scientifiques s'appliquent généralement à faire la différence entre simple corrélation et causalité. Nous pouvons l'illustrer par un exemple de sens commun : il peut y avoir une corrélation entre le fait de porter un briquet dans sa poche et le fait de mourir du cancer du poumon, ce qui n'implique pas que le port du briquet cause le cancer du poumon. Une corrélation peut s'expliquer par une cause commune (en l'occurrence le fait d'être fumeur). Ce qui pratiquement peut permettre de faire la différence entre un rapport de causalité et une simple corrélation est l'intervention : si le fait de placer des briquets dans la poche de différents individus n'augmente pas de manière significative la probabilité qu'ils aient un cancer, c'est probablement qu'il s'agissait

d'une simple corrélation. Cette observation de sens commun permet de comprendre pourquoi les scientifiques réalisent des interventions pour tester leurs hypothèses. Cet exemple n'est pas issu de la physique, mais on peut comprendre de la même façon le fait que la plupart des expériences de physique consistent à faire varier les paramètres libres d'un système par intervention : elles visent à établir des lois causales plutôt qu'à constater des régularités.³

La causalité est généralement analysée en termes modaux (par exemple par des énoncés contrefactuels) et il semble que l'intervention joue un rôle crucial quand il s'agit de distinguer de simples régularités accidentelles de relations modales entre les phénomènes. On peut comprendre l'intervention, le contrôle des conditions expérimentales, comme le fait d'implémenter des modèles particuliers de la théorie en vue de procéder à une induction sur tous les modèles de la théorie (en testant un ensemble suffisamment varié de modèles). Si l'adéquation empirique suppose de procéder à une induction sur les modèles d'une théorie, il est légitime de penser que s'assurer de l'adéquation empirique d'une théorie doit permettre de mettre au jour des rapports modaux entre les phénomènes, ou encore, que l'adéquation empirique doit être mieux exprimée en termes modaux.

7.1.3 *L'induction sur tous les modèles*

Ce qui s'avère crucial, dans les remarques précédentes, est le fait que les scientifiques, quand ils confrontent leurs théories, semblent tenter de procéder à une induction sur tous les modèles de la théorie, en testant des configurations variées. L'emphase traditionnellement mise par les empiristes sur l'induction temporelle (toutes les situations/phénomènes, passés, présents et futurs) semble finalement mal placée. Les physiciens se préoccupent généralement peu de s'assurer que les modèles qui ont été testés avec succès sont *toujours* empiriquement adéquats après quelques années, quand on les applique en de nouveaux lieux ou à des moments différents. Plus souvent quelques tests et répliques sont considérés comme significatifs, et tenant pour acquis ces résultats, on s'attachera ensuite à tester des configurations différentes.⁴

3. On pourrait aussi faire un parallèle avec le développement cognitif en général, en particulier chez l'enfant, et le rôle que joue la manipulation. Cet aspect a notamment été mis en avant par Piaget. Si en effet les théories scientifiques sont des systèmes conceptuels, il est naturel que leur développement se fasse suivant les mêmes procédés qui nous permettent, dans l'enfance, de développer nos propres systèmes conceptuels.

4. C'est peut-être moins le cas dans d'autres disciplines, notamment les sciences historiques, mais nous nous intéressons ici principalement aux théories fondamentales de

Ces remarques portent sur l'activité scientifique en elle-même : celle-ci est mieux comprise si l'on pense que les scientifiques essaient de produire des théories modalement adéquates. Alors le fait qu'ils mettent en œuvre des situations artificielles par intervention ou qu'ils contrôlent les paramètres d'une expérience est parfaitement compréhensible. Mais ces remarques peuvent paraître insuffisantes si l'on pense que la connaissance modale est en principe impossible, soit que les énoncés modaux n'aient pas de valeur de vérité, soit qu'ils en aient, mais qu'elle nous soit en principe inaccessible. Peut-être, alors, les scientifiques agissent-ils comme s'ils souhaitaient produire des théories modalement adéquates, et peut-être est-ce là le but de la science, mais alors, ce but ne pourrait être atteint : ce serait un problème pour notre position, et l'on ferait aussi bien de s'en remettre à une position plus parcimonieuse.

Pour notre part, nous ne pensons pas que la connaissance modale soit impossible. On peut douter qu'il existe du possible dans la nature, et ce fait n'est pas vraiment connaissable par l'expérience, mais au fond, aucune position épistémologique n'est réellement démontrable par l'expérience, et aucune ne se passe de certains présupposés. Or, si l'on accepte parmi ces présupposés l'idée qu'il existe du possible (pour les raisons exposées jusqu'ici : cela donne sens à la pratique scientifique), alors il y a de bonnes raisons de croire que les relations de nécessité (comprises comme régularités sur un ensemble large de possibles, accessibles depuis notre position épistémique) sont connaissables par l'expérience.

Comme nous l'avons déjà remarqué, on peut légitimement penser qu'une induction qui procède sur *tous* les modèles de la théorie est une induction sur des situations *possibles*, c'est-à-dire une inférence vers la nécessité, notamment si l'on conçoit la nécessité postulée par une théorie comme ce qui est vrai dans tous ses modèles (voir la section 6.3.2). En effet, nous serions bien en mal de procéder à une induction sur tous les modèles *qui s'appliquent dans le monde actuel* alors que nous sommes dans l'incapacité de savoir par avance quels sont les modèles qui seront, de fait, actualisés ou expérimentés. À ce stade, il s'agit plutôt d'un argument intuitif, mais nous essayerons de lui donner corps dans la section 7.3 de ce chapitre.

Un argument contre l'idée que nous puissions avoir une connaissance modale est que nous ne disposons pas de « microscope modal » pour explorer les autres mondes possibles : ceux-ci sont causalement déconnectés du nôtre ; comment alors pourrions-nous connaître quoi que ce soit à leur

la physique.

sujet ? Et en quoi une telle connaissance serait pertinente pour agir dans le monde ? Mais ce type d'argument ne menace pas directement les thèses développées ici, du fait que nous comprenons les modalités en termes de situations possibles dans le monde plutôt qu'en termes de mondes possibles. Les situations possibles, si on les conçoit comme déroulements alternatifs de situations actuelles, ne sont pas forcément déconnectées causalement (au contraire, on pourrait interpréter le langage des situations possibles en termes de rapports causaux, comme nous le verrons dans la partie III), et de fait, nous disposons d'un microscope modal pour explorer les types d'expérience possibles : il suffit de les mettre en œuvre.

Ceci ne nous dit pas exactement de quelle manière nous pouvons savoir par intervention qu'il existe certains rapports causaux (ou modaux) dans le monde si, comme l'observait Hume, les rapports de nécessité ne nous sont jamais donnés dans l'expérience. Mais ces remarques peuvent nous donner quelque indice. Nous pouvons envisager qu'un test empirique d'un énoncé modal a lieu de manière contrastive : si deux théories ne peuvent être distinguées sur la base des observations passées, mais si ces deux théories diffèrent quant à leurs prédictions pour certaines expériences possibles, alors le meilleur moyen de les différencier est de réaliser ces expériences. C'est exactement ce que nous faisons quand nous testons l'adéquation empirique d'une théorie : nous la comparons aux hypothèses alternatives qu'on pourrait envisager, de manière à éliminer ces hypothèses, et ce qui différencie ces hypothèses, c'est ce qu'elles déclarent possible ou impossible. C'est le lot commun de l'activité scientifique que de procéder à de tels tests d'hypothèses alternatives. Il n'y a donc aucune raison que des énoncés modaux ne puissent, en principe, être départagés par l'expérience.

La méprise de l'empirisme traditionnel tient au fait qu'il considère que la nécessité doit être directement donnée dans l'expérience pour pouvoir être objet de connaissance, par analogie avec les entités inobservables postulées par nos théories, ou encore que la nécessité constituerait une explication aux régularités. Mais selon nous, s'il y a une analogie à faire, les rapports modaux sont à rapprocher des régularités postulées par les théories elles-mêmes, que l'empiriste est prêt à accepter, plutôt que des entités inobservables. La nécessité n'a pas pour objet d'expliquer les régularités, mais de rendre compte des phénomènes à la manière dont le fait de postuler une régularité permet de rendre compte de nos observations. Il ne s'agit finalement que de régularités étendues à tous les possibles, et c'est par induction, non par observation directe, que nous aboutissons à une connaissance des régularités comme des rapports de nécessité. Ce que nous devons postuler au départ n'est pas l'existence d'une nécessité,

mais seulement l'existence de possibilités, afin de pouvoir connaître les régularités parmi ces possibles. Si l'on accepte ceci, et si l'on accepte, avec l'empiriste non sceptique, l'induction, c'est-à-dire si l'on est prêt à aller au-delà de ce qui a été observé jusqu'à présent, il n'a aucune raison de ne pas accepter que nous ayons également une connaissance qui est de l'ordre de la nécessité, poussant l'induction à son terme.

Il est vrai qu'une fois une situation expérimentale mise en œuvre, il ne s'agit plus d'une situation simplement *possible*, mais d'une situation *actuelle*. Mais ceci n'est pas plus un problème pour l'empirisme modal que ne doit l'être le fait, pour l'empirisme factuel ou constructif, que les situations observables, une fois mises en œuvre, ne sont plus simplement observables mais observées. Ou le fait, pour l'empirisme manifeste, que les situations mises en œuvre deviennent ipso facto « observées jusqu'à maintenant ». Dans tous les cas il s'agit d'affirmer que nous sommes en position de généraliser, sur la base de notre observation d'une infime portion des situations (possibles / observables / observées), à une classe plus large, celle de *toutes* les situations (possibles / observables / observées). Les rapports de nécessité ne sont pas plus donnés dans l'expérience que ne le sont les généralisations universelles, mais ce n'est en aucun cas un problème si on peut les établir par induction.

On peut penser que si l'on teste correctement l'adéquation empirique d'une théorie, on en vient à éliminer peu à peu les théories concurrentes, du moins celles qui font des prédictions différentes pour certaines situations possibles. L'aboutissement naturel d'une telle démarche, idéalement poussée à son terme, serait la sélection d'une théorie modalement adéquate, c'est-à-dire d'une théorie n'ayant plus aucune concurrente différant pour aucune situation possible. À l'inverse si nous savons qu'il existe une théorie concurrente faisant des prédictions différentes pour certaines situations possibles, mais que ces théories ont jusqu'à présent fait des prédictions similaires, on peut considérer que l'adéquation empirique de l'une ou de l'autre théorie n'est pas acquise tant que ces situations n'ont pas été testées. Pousser l'induction à son terme demanderait bien sûr une infinité d'expérience, tout comme connaître avec certitude l'existence d'une régularité demanderait une infinité d'observations : c'est bien le propre de l'induction que de procéder à une inférence vers une limite idéale que nous ne sommes pas pratiquement en mesure d'atteindre. Et dans le cas de l'induction sur les modèles, cette limite idéale est bien l'adéquation modale d'une théorie.

En somme, croire qu'une théorie est empiriquement adéquate requiert de procéder par intervention à une induction sur tous les modèles de la théorie, mais un tel procédé inductif idéalement mené à son terme mènerait

à une adéquation empirique modale, puisqu'il éliminerait de facto toute forme de sous-détermination qui concernerait les aspects modaux des théories.

C'est en gros l'argument que nous allons élaborer section 7.3. Mais il nous faut d'abord nous intéresser aux arguments de sous-détermination. Ceci nous permettra de proposer un critère permettant de savoir ce qui relève ou non de « l'inflation métaphysique ».

7.2 La sous-détermination

L'empirisme modal propose d'adhérer aux modalités naturelles. Est-ce que cette adhésion relève de « l'inflation métaphysique » au même titre que, par exemple, le fait de postuler l'existence d'entités inobservables ? À partir de quel moment nos engagements dépassent-ils ce qui est supporté par l'expérience ?

Une manière d'aborder cette question est sous l'angle de la sous-détermination (voir la section 2.1). On peut penser que si certains aspects de nos théories sont sous-déterminés par l'expérience, alors nous n'avons aucune raison d'y adhérer. Si, par exemple, il peut exister plusieurs théories différentes quant à ce qu'elles postulent comme entités inobservables, et si l'expérience seule ne peut nous permettre de choisir entre ces théories parce qu'elles sont toutes empiriquement adéquates, alors on peut penser que rien ne justifie d'adopter une théorie plutôt que l'autre⁵ – du moins si nous rejetons les critères non empiriques que les empiristes sont peu enclins à accepter (voir section 6.3).

Nous examinons dans cette section les différentes formes de sous-détermination, et défendons une notion de sous-détermination stricte, qui serait la marque de « l'inflation métaphysique ».

5. Il s'agit de sous-détermination contrastive, c'est-à-dire entre plusieurs théories concurrentes. Nous avons évoqué dans la section 2.1 la sous-détermination holistique, à laquelle nous ne nous intéressons pas ici. Elle pourrait être basée sur l'idée que les conditions d'application, plutôt que le contenu d'une théorie, pourraient être révisées face à un échec expérimental. Ayant traité les questions d'application des modèles lors du chapitre 5, nous considérons qu'elle ne menace pas l'empirisme : l'adéquation empirique présuppose déjà que l'applicabilité d'un modèle à une situation soit déterminée de manière robuste.

7.2.1 Différentes formes de sous-détermination

On doit pouvoir envisager que l'argument de sous-détermination puisse s'appliquer à différents aspects des théories (les modalités, les objets inobservables). Parlons de théorie « *correcte* » de manière à rester neutre quant à l'aspect sur lequel nous faisons porter l'argument (imaginant que « *correcte* » puisse se décliner suivant différents aspects). L'argument peut alors être formalisé comme suit :

1. Quelle que soit T empiriquement adéquate, il existe au moins une autre théorie T' empiriquement adéquate, telle que T et T' ne peuvent être toutes deux *correctes*.
2. Si l'adéquation empirique d'une théorie suffisait pour inférer que cette théorie est *correcte*, T et T' seraient toutes deux *correctes*, ce qui est contradictoire.
3. Donc l'adéquation empirique ne suffit pas pour inférer qu'une théorie est *correcte*.
4. Nous ne disposons pas d'autres critères que l'adéquation empirique pour juger si une théorie T est *correcte*⁶.
5. Donc nous ne pouvons savoir si T est *correcte*.

On voit que l'argument repose sur deux notions : la notion de théorie *correcte* et la notion d'adéquation empirique. Mais la notion d'adéquation empirique utilisée n'est pas plus spécifiée que la notion de théorie *correcte*. Par empiriquement adéquate on peut entendre modalement, factuellement, manifestement ou encore empiriquement adéquate jusqu'à maintenant, suivant qu'on s'intéresse aux situations possibles, actuelles, expérimentées, etc. Il en résulte au moins quatre versions de sous-détermination, qu'on pourra ensuite décliner en plusieurs sous-versions suivant la notion de théorie *correcte* choisie (par souci de concision nous parlerons de théories incompatibles, signifiant par là que deux théories ne peuvent être toutes deux *correctes*) :

Sous-détermination temporaire Quelle que soit une théorie empiriquement adéquate jusqu'à présent, d'autres théories incompatibles le sont aussi.

Sous-détermination manifeste Quelle que soit une théorie empiriquement adéquate pour toutes les expériences qui ont été ou seront réalisées, d'autres théories incompatibles le sont aussi.

6. Cette prémisse consiste à refuser les critères de justification non empiriques.

Sous-détermination factuelle Quelle que soit une théorie empiriquement adéquate pour toutes les situations du monde actuel (même celles qui ne seront jamais expérimentées), d'autres théories incompatibles le sont aussi.

Sous-détermination métaphysique Quelle que soit une théorie empiriquement adéquate pour toutes les situations physiquement possibles, d'autres théories incompatibles le sont aussi.

On voit alors qu'il existe une tension entre l'induction (dont on a besoin pour l'adéquation empirique) et la sous-détermination (ce point avait déjà été noté section 2.1). En effet, rien n'empêche de formuler un argument de sous-détermination à l'encontre de l'adéquation empirique elle-même, pour peu qu'il s'agisse d'une version plus forte que celle qui est utilisée pour l'argument. Par exemple : il peut exister plusieurs théories différentes empiriquement adéquates jusqu'à maintenant, mais nous ne pouvons savoir sur la base des expériences passées laquelle des deux continuera d'être empiriquement adéquate pour toutes les situations futures, c'est-à-dire laquelle est factuellement adéquate. Au fond, on peut penser que toute version de l'adéquation empirique est sous-déterminée par une version plus faible. Étant donné qu'une théorie prédit avec succès jusqu'à maintenant, nous ne pouvons savoir si elle continuera à le faire, et étant donné qu'une théorie prédit avec succès chaque fois que nous faisons des expériences, nous ne pouvons savoir si c'est le cas quand nous ne faisons aucune expérience, et ainsi de suite.

Si l'on est empiriste modal, seule la sous-détermination métaphysique est pertinente. Il semble que cette version corresponde à celle fréquemment rencontrée dans la littérature. Il est affirmé que deux théories sont sous-déterminées si elles ne *peuvent* faire des prédictions différentes, c'est-à-dire si elles font les mêmes prédictions dans toutes les situations *concevables* si bien qu'aucune situation physiquement possible ne pourrait les départager. On parle également de théories empiriquement équivalentes. C'est à juste titre, selon nous, que cette notion d'adéquation empirique est utilisée. Elle vise à se prémunir de l'inflation métaphysique : nous ne devrions pas nous prononcer sur des aspects qu'il est impossible, même en principe, de vérifier par l'expérience. Mais ce type de sous-détermination métaphysique ne menace pas l'empirisme modal, puisqu'il serait possible de départager deux théories faisant des prédictions différentes pour certaines situations possibles si ces situations étaient actualisées (elles ne sont pas empiriquement équivalentes), et si deux théories sont empiriquement équivalentes, il n'y a pas de problème à considérer qu'elles sont toutes deux modalement

adéquates : elles ne sont pas modalement incompatibles.

Cependant les autres versions de sous-détermination existent, et il semble que toute notion d'adéquation empirique soit sous-déterminée par une notion plus faible, qui quantifie sur un domaine de situation plus restreint. Si l'on accepte la validité de la sous-détermination en général, pourquoi ne pas aller jusqu'au scepticisme vis-à-vis de toute forme d'induction ?

Pour répondre à cette difficulté, on pourra chercher à distinguer différentes formes de sous-détermination qui n'affectent pas toutes les positions de la même manière. En particulier on pourra distinguer sous-détermination stricte et hypothétique.

7.2.2 *Sous-détermination stricte et hypothétique*

Il va de soi que l'idée qu'une théorie est *correcte* (quel que soit le sens choisi) ne devrait pas être connaissable a priori, sinon l'argument n'a pas vraiment de sens. Cependant, on pourrait exiger que la notion d'incompatibilité, c'est-à-dire le fait pour deux théories de ne pas pouvoir être toutes deux correctes, soit a priori pour que l'argument fonctionne à plein. En effet, dans le cas contraire, la prémisse 1 est affaiblie et nous obtenons une sous-détermination hypothétique. Si l'incompatibilité entre deux théories n'est pas a priori mais connue par l'expérience, tout ce que nous pouvons dire a priori est qu'il est *concevable* qu'une autre théorie incompatible existe, et donc qu'il est *concevable* que nous ne sachions pas vraiment que notre théorie est correcte. Mais une fois qu'une expérience permet de déterminer qu'en effet deux théories sont incompatibles, il se peut que cette même expérience invalide du même coup l'une des deux théories, levant ainsi la sous-détermination. Si c'est le cas nous ne serions jamais en position d'affirmer qu'une théorie est strictement sous-déterminée : nous avons affaire à une sous-détermination hypothétique.

C'est généralement le cas notamment si par « correcte » on entend « empiriquement adéquate » en un sens plus ou moins fort (manifeste ou factuel), puisque savoir que deux théories ne sont pas toutes deux empiriquement adéquates exige de savoir que certains types d'expériences pour lesquels elles font des prédictions contradictoires sont exemplifiés dans le monde, et ce type de savoir ne peut être qu'a posteriori. Or si nous savons que ce type d'expérience est exemplifié, dans la plupart des cas nous pouvons aussi bien savoir laquelle des deux théories fait de bonnes prédictions. Les moyens à notre disposition pour savoir si un modèle s'applique ou non dans le monde sont du même ordre que ceux qui nous permettent de savoir

s'il fait de bonnes prédictions.

Un autre problème concerne le fait de disposer ou non d'une concurrente incompatible avec notre meilleure théorie physique. Si nous n'en disposons pas, de nouveau nous nous trouvons dans un cas de sous-détermination hypothétique : on soupçonne qu'une telle théorie alternative pourrait exister, bien qu'on n'ait aucune telle alternative sous la main. Or on trouve peu de réels cas de sous-détermination dans l'histoire des sciences, et ce type de problème philosophique ne semble pas inquiéter outre mesure les scientifiques. Généralement, quand une alternative à nos meilleures théories se présente (la théorie de la relativité comme alternative à la théorie de Newton), nous nous trouvons alors en position de lever la sous-détermination par des tests adéquats. S'il peut exister une sous-détermination persistante, elle portera plus souvent sur l'interprétation métaphysique des théories que sur les théories elles-mêmes (nous y revenons un peu plus loin).

Certains auteurs ont proposé de construire artificiellement des cas de sous-détermination. On invoque par exemple les théories alternatives suivantes :

1. une théorie qui fait les prédictions de la théorie de la relativité jusqu'à aujourd'hui, mais des prédictions différentes à partir de demain. La théorie de la relativité serait donc temporairement sous-déterminée.
2. une théorie qui fait les prédictions de la théorie de la relativité quand nous effectuons des mesures, mais des prédictions différentes quand nous n'en faisons pas. La théorie de la relativité serait donc manifestement sous-déterminée.
3. on peut construire un troisième cas sur le même mode : une théorie qui ferait les prédictions de la théorie de la relativité dans le monde actuel mais des prédictions différentes dans des situations possibles non actualisés (pour des modèles qui ne s'appliquent jamais dans le monde actuel). La théorie de la relativité serait factuellement sous-déterminée.

Pendant de telles « théories » artificiellement construites ne sont pas, en fait, des théories scientifiques dans le sens où nous l'entendons ici. En effet, suivant le principe d'indexicalité des modèles, une théorie scientifique ne nous dit jamais où et quand s'appliquent ses modèles, ce qui exclut le premier cas. Elle ne nous dit pas si ses modèles sont effectivement appliqués ou seulement applicables à une situation, puisque les critères d'application des modèles sont externes à la théorie, ce qui exclut le second cas. Enfin elle ne nous dit pas lesquels de ses modèles concernent des situations actuelles ou seulement possibles, ce qui exclut le troisième cas.

On voit donc que dans ces cas artificiels, l'argument de la sous-détermination n'est pas appliqué à des théories physiques, mais plutôt à des propositions sur nos théories et leur rapport au monde : l'une qui affirme que nos théories sont correctes et l'autre qu'elles ne sont correctes que jusqu'à maintenant, ou seulement quand nous faisons des mesures, ou seulement pour les situations actualisées. Et on peut se demander quel sens il y a à affirmer qu'une proposition sur nos théories (plutôt qu'une théorie) est empiriquement adéquate. Notre conception des théories scientifiques et de l'adéquation empirique permet de justifier pourquoi ces exemples sont fréquemment jugés comme des exemples triviaux : ils ne peuvent correspondre à de véritables théories physiques, ce sont plutôt des propositions sur nos théories.

On pourrait cependant interpréter ces exemples différemment. Peut-être s'agit-il de dire qu'il pourrait exister une théorie scientifique qui fait les mêmes prédictions que la théorie de la relativité pour toutes les situations observées jusqu'à maintenant, parce qu'il se trouve que, de manière contingente, seules certaines situations ont été jusqu'ici observées et qu'il s'agit précisément de situations pour lesquelles elle fait les mêmes prédictions que la théorie de la relativité. Une telle théorie n'a pas forcément besoin d'invoquer un moment particulier du temps pour exister. Mais en l'absence d'une proposition précise, c'est-à-dire de la formulation d'une telle théorie alternative, nous nous trouvons dans un cas de sous-détermination hypothétique plutôt que stricte.

La sous-détermination hypothétique menace peut-être l'idée que nous devrions accepter que nos théories sont correctes, mais à l'inverse d'une sous-détermination stricte, pour laquelle nous n'avons aucune justification envers l'une ou l'autre des théories (si ce n'est des critères non empiriques, voir la section 6.3), elle demande au moins un argument supplémentaire : il faut pouvoir affirmer que tout doute concevable est justifié. À ce titre, on peut aussi bien douter de nos sens puisqu'il est *concevable* qu'un malin génie nous trompe de manière systématique et que nous ne sachions pas vraiment que nous sommes en train d'observer telle ou telle chose.

Nous considérerons dans la suite qu'une sous-détermination hypothétique est insuffisante pour mettre en doute une position à l'égard de nos théories scientifiques (comme la position suivant laquelle elles sont empiriquement adéquates).

7.2.3 *Quels cas de sous-détermination stricte ?*

Si nous mettons de côté les cas de sous-détermination hypothétique, nous pouvons nous demander ce qu'il reste de la sous-détermination.

Pour obtenir une sous-détermination stricte, nous avons d'abord besoin d'une notion d'incompatibilité entre théories qui soit a priori. C'est le cas si par « correcte » on entend « vraie » : nous savons a priori que deux théories ne peuvent être toutes deux vraies si elles font des affirmations contradictoires. Si les deux sont empiriquement adéquates, nous ne savons laquelle choisir. Ce type de sous-détermination menace d'ailleurs déjà au niveau des modèles (et non de la théorie dans son ensemble) : si plusieurs modèles différents peuvent s'appliquer à la même situation, et font les mêmes prédictions, nous ne pouvons savoir lequel représente correctement la situation. C'est le cas d'exemples typiques de sous-détermination, comme celui, analysé par van Fraassen (1980, ch. 3), d'univers newtoniens différant uniquement par la vitesse de leur centre de gravité : ces deux univers seraient empiriquement indiscernables. On peut également construire des exemples avec la théorie de la relativité (Earman, 1993).

Nous avons vu qu'une sous-détermination stricte ne pouvait menacer l'empirisme factuel, puisque la notion d'incompatibilité correspondante n'est pas a priori. Cependant elle risque de menacer l'empirisme modal, car la notion d'incompatibilité est également a priori si par « correcte » on entend « modalement adéquate ». En effet, nous pouvons savoir a priori que deux théories ne sont pas toutes deux modalement adéquates si certains de leurs modèles s'appliquent aux mêmes types d'expériences, mais font des prédictions incompatibles, c'est-à-dire si ces deux théories ne sont pas empiriquement équivalentes. Alors pour peu que ces expériences soient physiquement possibles, les deux théories ne peuvent toutes deux prédire avec succès pour toutes les situations possibles, et nous pouvons le savoir a priori. Bien sûr ces expériences contradictoires pourraient être physiquement impossibles, mais alors nos théories ne seraient pas complètes : elles échoueraient à inclure certaines contraintes sur ce qui est physiquement possible ou non dans leur domaine d'application.

Si donc on adopte une conception de l'empirisme modal forte suivant laquelle nos théories sont à la fois modalement adéquates et complètes (c'est-à-dire que tous ses modèles peuvent s'appliquer à des situations possibles), alors nous pouvons dire que l'empirisme modal pourrait être strictement sous-déterminé par une adéquation empirique plus faible. Il pourrait notamment être sous-déterminé par une adéquation empirique factuelle, qui concerne toutes les situations du monde actuel : s'il existe

deux théories modalement incompatibles et toutes deux empiriquement adéquates en ce sens factuel, et si l'on accepte que l'induction nous permet de savoir que ces deux théories sont factuellement adéquates, alors nous ne pouvons savoir laquelle est modalement adéquate.⁷

Ici nous ne faisons finalement que retrouver un argument traditionnel à l'encontre des modalités. Il est en effet traditionnellement avancé que les modalités sont sous-déterminées par l'expérience, pour la simple raison que nous ne disposons pas de microscope modal qui pourrait nous permettre d'explorer les autres mondes possibles. Nous ne pouvons donc jamais savoir si ce que dit une théorie à propos de situations seulement possibles mais jamais actualisées est correct : il peut exister une théorie alternative qui fait des prédictions différentes, bien que ces deux théories fassent exactement les mêmes prédictions pour toutes les situations qui sont actualisées dans le monde, et nous ne pouvons savoir laquelle choisir.

Nous pouvons illustrer ceci par des exemples fréquemment utilisés dans la littérature (pas forcément aux mêmes fins) : imaginons qu'il n'existe aucune sphère en or de plus d'un kilomètre de diamètre dans l'univers. Si une théorie affirme qu'il est impossible qu'il existe une telle sphère en or (par exemple parce qu'elle serait instable) et une autre théorie n'affirme rien de tel, si ces deux théories font exactement les mêmes prédictions pour toutes les situations du monde actuel, et si ces prédictions sont toujours correctes, alors elles sont strictement sous-déterminées.

Il est donc possible qu'un argument de sous-détermination stricte s'applique au réalisme ou à l'empirisme modal. Il reste à savoir si des théories alternatives existent, et si, par exemple, il est possible d'en construire artificiellement, ou s'il ne s'agit toujours finalement que d'une sous-détermination hypothétique.

Dans le cas du réalisme, nous avons remarqué qu'il n'existe pas de cas historique de sous-déterminations à même d'inquiéter les scientifiques, mais ces derniers rechignent souvent à spéculer sur l'interprétation métaphysique de leurs théories⁸, et on peut simplement faire valoir que l'interprétation métaphysique des théories est sous-déterminée en ce sens, et

7. On pourrait même avancer qu'il s'agit de la bonne façon d'interpréter la sous-détermination telle qu'elle est définie dans la littérature : quand on dit qu'aucune observation concevable ne pourrait nous permettre de départager deux théories, il faudrait comprendre : aucune observation concevable d'un phénomène actuel... Cependant, on ne comprendrait pas alors pourquoi il y est question d'équivalence empirique, à moins d'assimiler théorie et modèle de l'univers.

8. Selon nous c'est parce qu'ils sont généralement empiristes : ils considèrent que deux théories empiriquement équivalentes sont la même théorie. Mais nous n'essaierons pas ici de justifier ce point d'ordre sociologique. Voir la section 4.4.

qu'il est avéré qu'il existe plusieurs interprétations des mêmes théories, ou de certains aspects des théories. Nous avons remarqué, section 2.1, que cet aspect menace le réalisme, puisqu'en l'absence d'une interprétation univoque, la thèse réaliste est ambiguë. Dans le cadre d'un réalisme sémantique, on pourra y voir d'authentiques cas de sous-détermination métaphysique : nous avons affaire à des théories empiriquement indiscernables, mais différentes quant à leur interprétation dans un cadre réaliste.

La sous-détermination stricte constitue un bon critère pour savoir à quel moment nous pénétrons dans le domaine de « l'inflation métaphysique ». Si en effet face à une sous-détermination hypothétique on peut toujours répondre que tout doute ne se justifie pas, et qu'en l'absence d'alternative, il est raisonnable de penser que notre théorie est correcte (vraie, empiriquement adéquate...), la sous-détermination stricte nous oblige à invoquer des critères non empiriques pour justifier le choix d'une théorie plutôt que d'une autre. Nous avons évoqué section 6.3 que nous considérons que ces critères ne peuvent être que pragmatiques, et non servir de justification pour une théorie. Ce problème est suffisamment inquiétant pour jeter le doute sur certains aspects de nos théories, y compris quand nous pouvons seulement imaginer que nous pourrions, en principe, rencontrer un tel cas de sous-détermination stricte, c'est-à-dire que la sous-détermination ne serait pas immédiatement levée une fois avérée, mais au contraire serait impossible à lever.

Si les modalités peuvent être strictement sous-déterminée, nous faisons face à un problème pour l'empirisme modal, qui est que plusieurs théories que nous savons modalement incompatibles (c'est-à-dire faisant des prédictions différentes pour certaines situations possibles) pourraient être toutes deux aussi bien confirmées par l'expérience, et ne pourrait donc être départagées sur la seule base de l'expérience. Mais il n'est pas si évident que la sous-détermination stricte menace l'empirisme modal.

En effet, il s'agirait, pour qu'il y ait sous-détermination stricte, de construire des théories qui font les mêmes prédictions pour toutes les situations du monde actuel, mais des prédictions différentes pour des situations seulement possibles. Or ceci nous demande de savoir quels types d'expériences sont et ne sont pas exemplifiés dans l'univers, et on peut douter que l'on puisse accéder à une telle connaissance. De plus, si vraiment nous rencontrions un tel cas de sous-détermination, il nous suffirait de mettre en œuvre une expérience correspondant au domaine pour lequel les théories sont incompatibles pour lever cette sous-détermination : elle ne pourrait être que temporaire. Et on peut juger que c'est précisément ce que font les scientifiques pour départager les théories concurrentes. Ceci ex-

plique pourquoi la forme de sous-détermination la plus souvent rencontrée dans la littérature est une sous-détermination métaphysique, qui concerne toutes les conséquences empiriques possibles de la théorie et non ses conséquences actuelles (on parle de théories *empiriquement équivalentes*, qui ne *peuvent* faire des prédictions différentes, et non de théories qui n'en font pas pour des raisons accidentelles) : une telle sous-détermination serait en principe impossible à lever.

L'argument central de ce chapitre vise précisément à montrer que la sous-détermination stricte ne peut menacer l'empirisme modal pour cette raison. L'empirisme modal se retrouve donc au même niveau que les autres formes d'empirisme : on ne peut en douter que par un argument de sous-détermination hypothétique. Nous montrerons également que les doutes qu'on peut lever envers l'empirisme modal menacent aussi bien les formes plus faibles d'empirisme.

7.3 Les modalités ne sont pas (strictement) sous-déterminées par l'expérience

Si les arguments développés dans la première section sont corrects, il se peut que l'empirisme factuel ne soit pas une position défendable, puisqu'il nécessite une adhésion aux modalités pour rendre sa position cohérente. Il faudrait alors se rabattre soit sur l'empirisme manifeste, niant ainsi de manière cohérente l'aspect modal de la notion d'applicabilité (ou d'observabilité, puisque le problème se pose dans les mêmes termes) soit sur l'empirisme modal, assumant cet aspect modal jusqu'au bout.

Nous avons donné quelques raisons de préférer l'empirisme modal. Cependant une raison de rejeter l'empirisme modal pourrait être que l'aspect modal des théories est sous-déterminé par l'expérience : il pourrait en principe exister des théories modalement incompatibles (qui font des prédictions différentes pour certaines situations possibles, mais non actuelles) et nous serions dans l'incapacité de départager ces théories. Dans cette section nous proposons un argument qui montre qu'aucune sous-détermination de ce type ne peut en fait menacer l'empirisme modal, à moins qu'elle ne menace également l'empirisme factuel. Il ne s'agit pas de montrer qu'aucun cas de sous-détermination ne peut en principe menacer l'empirisme modal, mais plutôt que tout cas avéré menacerait aussi bien les formes plus faibles d'empirisme, si bien que la connaissance modale n'est pas plus difficile à accepter que la connaissance de régularités universelles.

7.3.1 *Un argument contre la sous-détermination des modalités*

Commençons par définir le type de sous-détermination qui pourrait menacer l'empirisme modal. On considérera que deux théories sont factuellement sous-déterminées si elles sont toutes deux factuellement adéquates, mais modalement incompatibles, ou, de manière plus précise :

Incompatibilité modale : deux théories sont modalement incompatibles si elles ont des modèles qui s'appliquent aux mêmes types d'expériences, mais font des prédictions contradictoires.

Sous-détermination factuelle : deux théories sont factuellement sous-déterminées si elles sont modalement incompatibles, mais toutes deux factuellement empiriquement adéquates (les modèles qui s'appliquent à des situations du monde actuel font de bonnes prédictions).

Il s'agit bien du type de sous-détermination qui pourrait menacer l'empirisme modal, puisque si deux théories sont ainsi sous-déterminées, nous n'avons aucun moyen de savoir laquelle des deux est modalement adéquate.

Nous pouvons imaginer, à titre d'illustration, deux théories T_1 et T_2 identiques à une différence près : l'une affirme qu'une sphère en or de plus d'un kilomètre serait instable, et l'autre affirme que de telles sphères seraient parfaitement stables. Les deux théories sont modalement incompatibles : elles font des prédictions contradictoires quand les conditions sont réunies pour former une sphère en or de plus d'un kilomètre. Cependant, il se peut que les conditions ne soient jamais réunies dans l'univers pour former une sphère en or de plus d'un kilomètre, mais que pour toutes les autres situations effectivement instanciées dans l'univers, les prédictions des deux théories sont toujours correctes. Dans ce cas les deux théories sont factuellement sous-déterminées : elles font toutes deux de bonnes prédictions partout dans l'univers, mais sont modalement incompatible, et on ne peut savoir laquelle des deux est modalement adéquate.

Nous voyons à partir de cette illustration qu'une sous-détermination factuelle ne peut se présenter que si les types d'expérience pour lesquels les théories font des prédictions différentes ne sont jamais exemplifiés dans l'univers, c'est-à-dire que les modèles incompatibles ne s'appliquent jamais. En effet, si ces types d'expérience étaient exemplifiés, les deux théories feraient des prédictions contradictoires, et donc l'une des deux au moins ne serait pas empiriquement adéquate (voir en annexe de ce chapitre pour une preuve formelle).

Mais à ce stade nous aboutissons à une situation quelque peu étrange. Pourrait-on, à un moment donné du développement des sciences, *savoir*

que deux théories T_1 et T_2 sont ainsi sous-déterminées ? Sans doute : si nous savons a priori qu'elles sont modalement incompatibles, il suffirait de savoir qu'elles sont également empiriquement adéquates. Si nous pensons que l'induction est une forme d'inférence rationnelle, alors nous pourrions le savoir en testant chacune de ces théories dans des configurations suffisamment variées. Constatant qu'elles prédisent toujours avec succès, nous pourrions induire qu'elles sont probablement factuellement adéquates.

Mais si nous savons que T_1 et T_2 sont ainsi sous-déterminées, nous savons également, par simple déduction, que les modèles incompatibles de ces théories ne s'appliquent jamais dans l'univers. Or il s'agit d'une conséquence quelque peu indésirable, puisque nous ne devrions disposer d'aucun moyen de savoir une telle chose. En effet, le type d'induction qui est en jeu quand on teste l'adéquation empirique d'une théorie n'est pas celui qui pourrait nous permettre d'atteindre un tel savoir : nous induisons d'abord sur toutes les situations d'un type donné pour arriver à la croyance qu'un modèle est empiriquement adéquat, puis sur tous les modèles pour arriver à la croyance que la théorie dans son ensemble est empiriquement adéquate, mais jamais nous n'effectuons d'induction sur toutes les situations de l'univers, tous types confondus, pour savoir que certains types d'expérience (correspondant aux conditions d'application des modèles incompatibles) ne sont jamais exemplifiés. Comment pouvons-nous arriver à la conclusion que certains modèles des théories ne s'appliquent jamais si nous n'avons pas procédé à ce type d'induction ? Nous avons une situation paradoxale.

On pourrait voir dans ce paradoxe un indicateur du fait que l'induction en général est incohérente. Mais la conclusion à en tirer, selon nous, est plutôt que notre hypothèse initiale est absurde : nous ne pouvons jamais savoir par induction que deux théories sont factuellement sous-déterminées, c'est-à-dire modalement incompatibles et toutes deux factuellement adéquates. Si nous savons de deux théories qu'elles sont modalement incompatibles, alors nous ne pouvons jamais affirmer savoir qu'elles sont toutes deux empiriquement adéquates : le processus inductif qui nous permettrait de savoir si elles sont empiriquement adéquates devrait nous amener à éliminer au moins l'une des deux théories, levant ainsi la sous-détermination. Si ce n'est pas le cas, nous n'avons pas mené l'induction à son terme et nous ne sommes pas vraiment en position de savoir qu'elles sont empiriquement adéquates. Autrement dit, le paradoxe montre seulement que la sous-détermination qui menace l'empirisme modal ne peut être qu'hypothétique, jamais stricte.

Pour illustrer le paradoxe, imaginons deux populations, chacune adhérent à une théorie différente parmi T_1 et T_2 . Ces deux populations savent

que leurs théories sont incompatibles pour certains types d'expériences particuliers : celles dans lesquelles on rencontre des sphères en or de plus d'un kilomètre de diamètre. Imaginons de plus que, par souci de bon voisinage, ces deux populations évitent systématiquement de mettre en œuvre les types d'expériences qui pourraient départager ces deux théories. Elles ne cherchent pas à fabriquer ces sphères. Mais elles mettent en œuvre tous les autres types de tests dans le but de s'assurer, autant que faire se peut, que leurs théories sont bien empiriquement adéquates. Peut-on dire qu'elles savent que leurs théories sont empiriquement adéquates (et donc sous-déterminées par l'expérience) ?

Ce ne semble pas être le cas. En effet cela demanderait de savoir que les types d'expériences qui permettent de départager les deux théories ne se produisent jamais dans l'univers. Or nos deux populations ne se sont pas assurés d'une telle chose. Peut-être que de telles sphères se produisent naturellement, ou peut-être qu'une civilisation extraterrestre les fabrique. On peut donc douter que ces deux populations savent que leurs théories sont toutes deux empiriquement adéquates tant qu'elles n'ont pas procédé à ce type d'expérience. Il est raisonnable de penser qu'une des deux théories ne l'est pas, puisqu'il n'est pas a priori impossible que ce type d'expérience se produise quelque part dans l'univers. Autrement dit, tant qu'on est dans l'ignorance de quelles situations se produisent ou non dans l'univers, toute raison de douter de l'adéquation modale d'une théorie est également une raison de douter de son adéquation factuelle, et inversement, toute raison de croire qu'une théorie est factuellement adéquate est également une raison de croire qu'elle est modalement adéquate : le processus inductif aboutissant à l'une ou l'autre des versions d'adéquation empirique est toujours le même.

L'argument peut être formulé comme suit :

1. Soit deux théories T_1 et T_2 dont on sait qu'elles sont modalement incompatibles.
2. Hypothèse : je sais par induction que T_1 et T_2 sont factuellement adéquates.
3. Si T_1 et T_2 sont factuellement adéquates, les modèles incompatibles de ces deux théories ne s'appliquent jamais dans l'univers.
4. De 2 et 3, je sais donc par induction que certains modèles de ces théories ne s'appliquent jamais dans l'univers.
5. Je ne sais jamais par induction que certains modèles ne s'appliquent jamais dans l'univers

6. Contradiction (2, 4, 5) : notre hypothèse est absurde. Donc je ne sais jamais par induction que deux théories T_1 et T_2 modalement incompatibles sont factuellement adéquates.

L'argument montre que si nous ne savons pas qu'une théorie est modalement adéquate (parce qu'elle serait sous-déterminée), alors nous ne savons pas non plus qu'elle est factuellement adéquate. La contraposition est encore plus parlante : si nous savons qu'une théorie est factuellement adéquate, alors nous savons également qu'elle est modalement adéquate. Autrement dit, il ne peut y avoir de cas de sous-détermination stricte menaçant l'empirisme modal : le contenu modal des théories n'est pas strictement sous-déterminé⁹. Savoir qu'une théorie est empiriquement adéquate au sens factuel nous demande d'éliminer toutes ses concurrentes modales, et alors, il n'y a aucune raison de ne pas croire qu'elle est modalement adéquate. Au mieux nous pourrions rencontrer une sous-détermination hypothétique, mais nous verrons que celle-ci menacerait alors aussi bien l'empirisme factuel.

La prémisse 3 semble difficilement discutable (nous proposons une preuve en annexe du chapitre). L'affirmation 4 semble également raisonnable : elle découle de la transmission de la justification épistémique par inférence (si je sais A par induction et si je sais que A implique B , je sais B par induction)¹⁰. C'est la prémisse 5 qui est finalement la plus discutable. Nous allons la défendre dans la section qui suit.

7.3.2 *Peut-on savoir que des modèles ne s'appliquent jamais dans l'univers ?*

Pour répondre à l'argument de la section précédente, on pourrait postuler que savoir qu'une théorie est empiriquement adéquate requiert deux types de processus inductifs distincts : le premier consisterait à savoir quels sont les modèles d'une théorie qui s'appliquent ou non dans le monde actuel, et le second, à tester les modèles qui s'appliquent en effet, ou une

9. Remarquons que l'argument pourrait être transposé à la sous-détermination par l'empirisme manifeste : nous ne savons pas quelles situations seront expérimentées à l'avenir, et donc nous ne sommes jamais en position d'affirmer que deux théories sont manifestement sous-déterminées. Cependant dans ce cas nous pourrions avoir connaissance de limites techniques en principe indépassables, et alors nous saurions que certaines situations ne seront jamais expérimentées.

10. Il existe des contre-exemples à ce principe, notamment les cas où la prémisse A dépend circulairement de la conclusion B (Wright, 1986), mais nous ne nous trouvons pas dans un tel cas ici.

variété suffisante de ces modèles. Si tel est le cas, deux théories modalement incompatibles pourraient être sous-déterminées par l'expérience, si l'on apprend que les situations à même de révéler leur incompatibilité ne se produisent jamais.

Cependant on peut douter que les choses se produisent de la sorte. Comment, en effet, pourrions-nous être amenés à croire, par exemple à l'issue d'un processus inductif, que certains types d'expériences qui ne sont pas exclus par nos théories ne se produisent jamais dans l'univers ? De quel type de connaissance peut-il s'agir ?

On peut envisager plusieurs possibilités :

- Il s'agit d'une connaissance a priori
- Il s'agit d'une connaissance d'ordre nomologique, c'est-à-dire une proposition générale à laquelle nous aboutissons par induction, et qui pourrait en principe être intégrée dans une théorie scientifique
- Il s'agit d'une connaissance d'ordre factuelle, c'est-à-dire ni a priori, ni nomologique. On distinguera par ailleurs :
 - Les faits particuliers, qui concernent des lieux, instants ou objets concrets particuliers du monde
 - Les faits cosmologiques, qui sont des propositions générales, mais qui, pour une raison ou pour une autre, ne devraient pas être intégrées à nos théories sous forme de lois (peut-être parce qu'ils ne sont pas connus par induction : ce pourrait être, par exemple, un fait concernant les conditions initiales de l'univers)

Nous allons montrer que seuls les faits cosmologiques peuvent nous renseigner sur le fait que certains modèles ne s'appliquent jamais.

Nous pouvons déjà éliminer l'hypothèse qu'il s'agisse d'une connaissance a priori. Si certains modèles ne pouvaient s'appliquer au monde pour des raisons logiques, par exemple, il n'y aurait aucune raison de considérer qu'il s'agit de modèles de la théorie – à moins que nos théories soient conceptuellement incohérentes. Une impossibilité conceptuelle devrait se traduire en une impossibilité théorique.

La deuxième option, l'idée qu'il s'agisse d'une connaissance d'ordre nomologique que certains modèles ne s'appliquent jamais, peut être éliminé pour des raisons similaires. Si nous apprenons par induction que les types d'expériences auxquels ces modèles s'appliqueraient sont impossibles, il n'y a aucune raison de ne pas intégrer cette connaissance dans nos théories. Dans le cas contraire, nos théories seraient incomplètes : elles échoueraient à exclure des situations physiquement impossibles de leur domaine d'application. Si nous comprenons l'adéquation modale en un sens fort, qui inclut la complétude, nous pourrions dire que nos théories

ne sont pas modalement adéquates. Il nous faudrait les remplacer par des théories T_1^* et T_2^* qui intègrent cette nouvelle contrainte, mais ces deux théories ne seraient plus modalement incompatibles, puisque les modèles incompatibles seraient de facto éliminés.¹¹

Remarquons que les théories elles-mêmes ne nous disent jamais quels sont les modèles qui s'appliquent ou non dans le monde, ou quels sont ceux qui s'appliquent plus probablement que d'autre. Elles se contentent de nous fournir des axiomes et des règles pour construire des modèles. Les critères d'applicabilité de ces modèles sont externes à la théorie, et relèvent de la pratique expérimentale. Apprendre par induction que certains modèles de nos théories ne s'appliquent pas, ou probablement pas dans le monde suppose de disposer d'une mesure sur les situations du monde et les types d'expérience qu'elles exemplifient. Mais une telle mesure ne peut exister en dehors d'un cadre théorique qui fournirait une classification des situations du monde. Sitôt que nous disposons d'une mesure sur les types d'expérience exemplifiés par les situations du monde, nous sommes déjà dans un cadre théorique, et il n'y a aucune raison de ne pas intégrer ce cadre à nos théories. Or si nous le faisons, nous éliminons en même temps les cas de sous-détermination puisque les situations incompatibles sont exclues par nos théories elle-mêmes.

La seule possibilité est donc que nous ayons une connaissance d'ordre factuel du fait que certains modèles ne s'appliquent jamais dans le monde. Mais il ne peut s'agir de faits particuliers si les modèles sont purement indexicaux. En effet, acquérir une connaissance à propos de faits particuliers, localisés dans l'espace ou le temps, ne peut permettre d'éliminer la possibilité que certains types d'expériences se produisent ailleurs dans l'univers.

Si les modèles de nos théories faisaient référence à des objets, lieux ou instants particuliers, nous pourrions facilement obtenir une sous-détermination sur la base de faits particuliers. Si, par exemple, un modèle a pour conditions initiales d'application la présence d'un accélérateur de particule en Grèce à l'époque d'Aristote, nous savons que ce modèle ne s'applique jamais dans l'univers. Des théories qui diffèrent uniquement sur leurs prédictions pour cette situation particulière pourraient être sous-déterminées. Mais si nos théories et leurs modèles ne font pas référence, dans leur formulation, à

11. C'est en tout cas le cas si l'on accepte un certain critère d'unification théorique. On pourrait envisager des contraintes nomologiques externes, provenant d'une autre théorie, par exemple une théorie de haut niveau qui ne demanderait pas à être unifiée avec nos théories fondamentales. Nous avons vu que le critère d'unification théorique est requis pour l'empirisme modal section 6.2.1, mais qu'il pouvait être justifié par induction.

des objets, lieux ou instants particuliers (suivant le principe d'indexicalité proposé en section 4.5.2), il est impossible qu'elles diffèrent dans leurs prédictions uniquement dans ce cas particulier : les modèles pertinents ne s'appliqueront pas uniquement à cette situation, mais, par exemple, à toutes les situations dans lesquelles un accélérateur de particule quelconque est présent. Seul un fait général, d'ordre cosmologique, pourrait nous renseigner sur le fait que ce type d'expériences ne se présente jamais.

Nous pouvons imaginer quel genre de fait cosmologique pourrait provoquer une sous-détermination. Si par exemple nous savons qu'il n'existe pas suffisamment d'or dans l'univers pour qu'une sphère en or d'un certain diamètre puisse se former, alors les deux théories que nous avons proposées à titre d'illustration plus haut pourraient être sous-déterminées. Ou pour prendre un exemple plus réaliste, si deux théories demandent, pour être départagées, de faire une expérience dans un accélérateur de particule de la taille de l'univers, ou de réaliser une expérience sur une durée qui dépasse l'âge de l'univers, il serait raisonnable d'affirmer que ces théories sont sous-déterminées par l'expérience. Il nous faut supposer non seulement que ces expériences sont irréalisables, mais aussi que ces types d'expériences ne se produisent jamais de manière naturelle : en effet, si les conditions permettant de départager deux théories étaient réunies par exemple quelques secondes après le big-bang, nous saurions qu'une des deux théories n'est pas empiriquement adéquate (sans savoir laquelle) et la sous-détermination frapperait l'adéquation empirique factuelle, non seulement modale.

À ce point, on voit que les conditions pour qu'il y ait sous-détermination factuelle de deux théories modalement incompatibles sont très contraignantes : elles doivent dériver d'un fait cosmologique, c'est-à-dire d'une généralisation qui, pour une raison ou pour une autre, ne peut être intégrée à nos théories sous forme de loi. Nous avons mentionné plus haut qu'il n'est pas évident de distinguer, en cosmologie, les lois des faits concernant l'univers dans son ensemble¹². Remarquons également que les énoncés modaux susceptibles d'être sous-déterminés en vertu de faits cosmologiques sont assez particuliers : ils doivent concerner des situations possibles qui ne se produisent que dans des univers complètement différents du nôtre. Nous ne sommes plus très loin d'énoncés métaphysiques, qui concerneraient les mondes possibles plutôt que les situations possibles dans le monde actuel. Si l'on adopte un actualisme, c'est-à-dire que nous ne considérons les

12. Quelqu'un qui conçoit les lois comme les énoncés appartenant au « meilleur système » en termes de balance entre informativité et simplicité pourra être tenté d'intégrer ces faits comme des lois.

situations possibles que tant qu'elles peuvent se produire dans l'univers actuel, alors nous pouvons également rejeter le cas où la sous-détermination concernerait les conditions initiales de l'univers : il ne s'agit pas de sous-détermination, puisque l'empirisme modal ne se prononce pas sur ce qui se produit dans les autres univers possibles (nous revenons sur cet aspect au chapitre 9). Il ne nous reste que les situations qui auraient pu se produire à un moment particulier de l'univers, mais qui ne se sont pas produites, et qui ne peuvent plus se produire dans le futur. Ce type de cas est assez limité, et les hypothèses modales plus mondaines ne sont pas sous-déterminées par l'expérience. Nous pouvons donc affirmer que de manière générale, nous ne pouvons jamais savoir que certains modèles théoriques ne s'appliquent pas dans l'univers.

Si l'on ne sait pratiquement jamais que certains modèles de nos théories ne s'appliquent pas dans l'univers, la sous-détermination qui pourrait menacer l'empirisme modal ne peut être qu'hypothétique. Il s'agit d'affirmer qu'il existe peut-être une alternative à nos meilleures théories que nous n'avons pas envisagé. Mais remarquons qu'une telle sous-détermination hypothétique menace aussi bien l'empirisme factuel. En effet, imaginons que nous ayons de bonnes raisons de croire qu'il existe une alternative non envisagée T_u à une théorie T , tel que ces deux théories sont factuellement adéquates, mais modalement incompatibles, et que seule T_u est modalement adéquate. Les modèles qui rendent ces théories incompatibles ne s'appliquent jamais dans l'univers. Puisque nous n'avons en général aucun moyen de savoir que ces modèles ne s'appliquent jamais, nous avons d'aussi bonnes raisons de croire qu'ils s'appliquent en fait, c'est-à-dire que T_u est factuellement adéquate, tandis que T ne l'est pas, et ce type de sous-détermination menace tout autant l'adéquation empirique factuelle.

Tout ceci ne signifie pas qu'aucune forme de sous-détermination ne peut en pratique menacer l'empirisme modal. On pourrait très bien, à un stade de l'enquête scientifique, se trouver en position de ne pas pouvoir créer les situations à même de départager deux théories. Il pourrait même s'agir de limitations de principes, mais qu'on ne souhaiterait pas intégrer à nos théories parce qu'elles dépendent de notre situation épistémique, qu'on jugera indépassable, mais contingente.

Cependant, le but de cet argument n'est pas de montrer qu'aucun cas de sous-détermination ne peut se présenter à nous. Il peut exister une sous-détermination hypothétique, à laquelle on répondra comme nous l'avons fait plus haut. Il peut également exister une sous-détermination technique, à laquelle on pourra apporter des réponses : nous pourrions rester agnostique sur ces cas particuliers, ou bien restreindre l'adéquation

empirique à un domaine restreint d'expérience. Nous avons remarqué à propos des arguments de méta-induction pessimiste (section 6.2.2) que notre adhésion envers l'adéquation empirique des théories devait de toute façon être restreinte à un domaine d'expérience suffisamment large, mais pas universel. Mais quel que soit le cas de sous-détermination rencontré, celui-ci menace aussi bien l'empirisme factuel que l'empirisme modal, et c'est précisément ce que nous souhaitons montrer ici.

7.3.3 *Obtient-on les modalités ?*

La conclusion de cet argument un peu technique est que tout processus inductif qui peut nous amener à croire en l'adéquation factuelle de plusieurs théories nous amènera aussi à éliminer les cas de sous-détermination. Il ne peut s'agir que d'une induction sur tous les modèles de la théorie, puisque nous ne savons pas par avance quels sont les modèles qui s'appliquent dans le monde.

En l'absence de sous-détermination, il semble justifié de penser que nos théories sont modalement adéquates. En effet, si une théorie T n'est pas factuellement sous-déterminée, c'est-à-dire qu'il n'existe aucune autre théorie modalement incompatible et factuellement adéquate, alors il n'existe aucune théorie crédible qui pourrait contredire T en termes de prédictions dans des situations possibles. Nous n'avons aucune raison de douter que T est modalement adéquate.¹³

Un empiriste pourrait objecter à cet argument que nous postulons dès le départ qu'il existe quelque chose comme des situations possibles. Il existe en effet une manière plus radicale de rejeter l'empirisme modal, qui consiste à faire valoir que les situations possibles n'existent pas, que le discours modal n'a aucune valeur de vérité, ou encore que les modalités ne sont que des fictions utiles. Dans ce cadre, la question de savoir si nous pouvons ou non acquérir une connaissance modale ne se pose même plus. Cependant, en l'absence d'un argument de sous-détermination, l'empiriste nous doit une justification indépendante de ce scepticisme à l'égard des modalités. La charge de la preuve est déplacée : pourquoi devrions-nous croire que le discours modal n'a pas de valeur de vérité ? Peut-il y avoir des raisons autres que métaphysique pour ne pas prendre au sérieux des pans entiers du dis-

13. Nous montrons formellement en annexe du chapitre que s'il existe au moins une théorie modalement adéquate, au moins aussi précise que T et couvrant son domaine d'expérience, et si T est factuellement adéquate et non sous-déterminée, alors T est modalement adéquate. Autrement dit, si une théorie non sous-déterminée n'est pas modalement adéquate, alors aucune théorie plus précise ne peut l'être.

cours scientifique ? Peut-être qu'un argument de parcimonie ferait l'affaire pour l'empiriste traditionnel (si tant est qu'il ne s'applique pas aux objets inobservables). Mais il n'est pas si sûr, au fond, que l'empirisme modal soit moins parcimonieux que l'empirisme factuel (ou constructif). En effet, il n'est pas requis, pour l'empirisme modal, de quantifier sur toutes les situations passées, présentes et futur : nous pourrions aussi bien abandonner l'éternalisme implicite des conceptions traditionnelles de l'empirisme, au profit de l'idée que les théories scientifiques sont empiriquement adéquates *en général*, pour toutes les situations possibles.

Nous avons remarqué section 5.3.2 que dans le cadre d'un réalisme sémantique (ce qui est le cas de l'empirisme constructif), il n'y a aucune bonne raison de rejeter l'idée que les énoncés aient une valeur de vérité. En effet, les difficultés à réduire le discours modal à des observations effectives fait partie des arguments importants en faveur du réalisme sémantique. Un réalisme sémantique est sans doute insuffisant pour tirer des conclusions métaphysiques, et peut-être parlons-nous de situations possibles bien qu'il n'existe pas de telles choses dans le monde. Peut-être, pour employer une distinction de van Fraassen, devrait-on accepter le discours modal, pour des raisons pragmatiques, mais pas le croire (comme le propose Dicken (2007)). Mais nous avons vu que ce type de position posait problème pour rendre compte de l'activité scientifique comme d'une activité rationnelle, ou pour donner sens à la notion d'observabilité ou d'applicabilité dont l'empiriste a besoin. En somme, les modalités nous sont indispensables.

Une autre façon de dire les choses est de remarquer que suivant le principe d'indexicalité, les modèles d'une théorie ne font pas référence à des objets concrets ou à des lieux ou instants particuliers de l'univers. Pourtant, ce n'est qu'en faisant référence à des objets particuliers lors de l'application de ses modèles que la théorie peut être confrontée à des situations concrètes. Une théorie, considérée indépendamment des faits qui lui sont associés, s'apparente donc en quelque sorte à une construction purement modale : elle nous indique, à travers ses modèles, ce qui est possible ou impossible si elle est vraie. Si nous soustrayons de nos théories leurs affirmations modales, plus rien ne reste. Dans ce cadre il est difficile de voir comment nous pourrions avoir une quelconque attitude d'acceptation envers ces théories sans pour autant être engagé envers l'existence de modalités. L'idée qu'il existe un modèle de l'univers est ce qui permet, pour l'empirisme constructif, de se défaire de cet aspect purement modal : l'hypothétique modèle de l'univers est destiné à porter à lui seul tout le contenu non modal d'une théorie. C'est son principal rôle. Mais nous avons vu que l'existence d'un tel modèle ne semble pas pertinente pour rendre

compte de notre compréhension commune de l'adéquation empirique, et finalement, il peut sembler peu surprenant que la notion d'adéquation empirique soit mieux exprimée en termes modaux.

En adoptant un empirisme modal nous ne faisons pas de l'inflation métaphysique : nous troquons une métaphysique implicite (un éternalisme, qui, après tout, n'est pas vraiment testable empiriquement) contre une autre (une adhésion aux modalités naturelles). Au fond, on peut douter qu'il soit possible de formuler la moindre position épistémologique sans un engagement métaphysique minimum. L'empirisme qui voudrait s'affranchir de *toute métaphysique* est une impasse. L'empirisme se caractérise toujours par une attitude de défiance envers les spéculations sans aboutissants. La question est simplement de savoir à quel moment nous franchissons la frontière. Les arguments de cette section ont montré que ce n'est pas en adhérant aux modalités si l'inflation métaphysique doit se comprendre en termes de sous-détermination stricte. En adoptant l'empirisme modal, nous ne sommes pas en train de spéculer : nous ne faisons qu'adopter un cadre minimal indispensable pour rendre compte de la rationalité et du discours scientifique.

Conclusion

Nous avons défendu dans ce chapitre l'empirisme modal, ou l'idée que nos théories sont empiriquement adéquates pour toutes les situations possibles, face aux autres versions d'empirisme. Notre argument est, d'une part, que nous avons besoin de l'idée générale qu'il y a du nécessaire et du possible pour comprendre les motivations des scientifiques quand ils mènent à bien des expériences inédites, et d'autre part, que s'il y a du possible et du nécessaire dans le monde, alors les énoncés modaux impliqués par nos théories ne sont pas plus sous-déterminés par l'expérience que ne le sont les généralisations universelles. Seule une sous-détermination stricte, c'est-à-dire une impossibilité de principe de départager plusieurs hypothèses, devrait être considérée comme une marque d'inflation métaphysique. Or tout processus inductif qui peut nous permettre de savoir qu'une théorie est empiriquement adéquate doit porter sur tous les modèles de la théorie, puisque nous n'avons aucun moyen extra-théorique de savoir quels modèles s'appliquent ou non dans le monde. Mais un tel processus inductif, poussé à son terme, tendra à éliminer tous les cas de sous-détermination. Si une sous-détermination persiste, elle menace aussi bien l'empirisme factuel et on peut penser que le processus inductif n'a pas

été mené suffisamment loin.

L'idée générale qui motive cet argument est que tester l'adéquation empirique d'une théorie est un processus actif, au cours duquel des interventions contrôlées permettent d'éliminer les cas de sous-détermination pertinents. Il s'avère qu'à bien des titres, l'empirisme modal est mieux à même de rendre compte de la pratique scientifique : si les scientifiques mettent en œuvre des expériences qui ne se produiraient pas sans leurs interventions, c'est bien qu'ils essaient de déterminer quelle théorie est empiriquement adéquate pour toutes les situations possibles. Si nous ne disposons pas de microscope modal pour explorer les autres mondes possibles, explorer les situations possibles dans le monde est une affaire triviale et un lieu commun de la pratique scientifique, puisqu'il suffit de les implémenter par intervention. Les scientifiques ne peuvent se permettre de laisser des cas de conflits entre plusieurs hypothèses en suspend, quand bien même ils sauraient que ces cas ne se présenteraient pas naturellement.

Tout ceci n'est pas indépendant de l'idée qu'il faudrait considérer les théories scientifiques comme des systèmes conceptuels abstraits, qu'on peut être amené à appliquer à tous les possibles, plutôt que comme des descriptions d'un monde « déjà là ». Nous n'avons pas besoin, pour comprendre ce qu'est l'adéquation empirique des théories, de postuler que ces dernières doivent nous fournir un « modèle de l'univers ». C'est paradoxalement un acte de modestie épistémologique qui nous permet de réhabiliter le discours modal : si le modèle de l'univers n'est pas pertinent, ce qui importe, c'est le fait de tester nos théories dans des configurations variées, et ce qui ressort de ce processus est mieux compris en termes modaux. Nous pouvons voir l'expérimentation comme la mise en compétition de nos systèmes conceptuels à travers leur confrontation au monde. Nos théories en ressortent de mieux en mieux adaptées pour faire face à toutes les situations possibles : l'enquête scientifique vise à sélectionner le meilleur système conceptuel, c'est-à-dire celui qui est modalement adéquat.

Annexe : formalisation

L'argument de la sous-détermination est basé sur l'idée que pour toute théorie empiriquement adéquate, il peut exister une autre théorie empiriquement adéquate mais incompatible avec la première. Nous pouvons reprendre la notion d'incompatibilité entre modèles que nous avons formalisée dans l'annexe du chapitre 5. Deux modèles sont incompatibles si le domaine d'application de l'un couvre celui de l'autre, et si les types de dérou-

lement d'expériences pour lesquels ils font de bonnes prédictions ne sont jamais les mêmes. Nous dirons alors que deux théories sont incompatibles si elles ont certains modèles incompatibles.

Définition 6.

$$incompatible(T, T') := (\exists M_T, M_{T'}) incompatible(M_T, M_{T'})$$

C'est-à-dire que T et T' ont au moins un domaine d'application commun (plus précisément, tel qu'au moins un modèle de T' couvre le domaine d'application d'un modèle de T , ce qui est une contrainte plus faible, mais suffisante) pour lequel elles font des prédictions différentes. Si une théorie respecte la contrainte de non-ambiguïté définie au chapitre 5, elle ne peut être incompatible avec elle-même.

Pourquoi ne pourrait-on accepter deux théories incompatibles ? Parce qu'on redoute que les applications pour lesquelles elles font des prédictions contradictoires soient physiquement possibles. Alors l'une des deux théories au moins ne décrit pas correctement ce qui est physiquement possible. Il se peut bien sûr que ces applications ne soient pas physiquement possibles, mais alors nos théories ne sont pas complètes. Si ce qui nous intéresse est d'obtenir une théorie à la fois complète et modalement adéquate, on peut montrer, en reprenant notre définition de la complétude proposée dans l'annexe du chapitre 5, que deux théories incompatibles ne peuvent toutes deux l'être. On peut même montrer un résultat plus fort : une théorie ne peut être complète et adéquate s'il existe une autre théorie adéquate et incompatible :

Théorème 4.

$$incompatible(T, T') \rightarrow \neg (complete_m(T) \wedge adequate_m(T) \wedge adequate_m(T'))$$

Preuve : soit T et T' deux théories incompatibles. Supposons qu'elles sont toutes deux adéquates et que T est complète. Si elles sont incompatibles, il existe des modèles M et M' de chacune d'elles tel que M' couvre le domaine d'application de M et fait des prédictions différentes $P \cap P' = \emptyset$. Si T est complète, il existe un type d'expérience E physiquement possible pour le domaine d'expérience de M (donc de M'). Si elles sont empiriquement adéquates, $E \in P \cap P'$ ce qui contredit $P \cap P' = \emptyset$. Donc notre hypothèse est fausse.

Si nos deux théories ne peuvent être à la fois complètes et adéquates, on ne peut savoir laquelle des deux l'est. On peut formuler une telle sous-détermination comme suit :

Définition 7.

$$\begin{aligned} \text{sousdeterminee}_f(T) := \\ \text{adequate}_f(T) \wedge (\exists T')(\text{adequate}_f(T') \wedge \text{incompatible}(T, T')) \end{aligned}$$

On pourra définir de la même manière d'autres versions de la sous-détermination en remplaçant adequate_f par d'autres versions de l'adéquation empirique, et éventuellement en remplaçant la notion d'incompatibilité prédictive par la notion d'incompatibilité stricte, qui affirmerait que deux théories ne peuvent pas être vraies en même temps. À titre d'exemple, on pourra formuler la sous-détermination métaphysique comme suit (l'opérateur modal indiquant ici la possibilité logique) :

Définition 8.

$$\text{sousdeterminee}_m(T) := \text{adequate}_m(T) \wedge (\exists T')(\text{adequate}_m(T') \wedge \neg \diamond(T \wedge T'))$$

Si l'on revient sur la première définition de sous-détermination, on peut montrer assez facilement que si elle est vraie d'une théorie, alors il existe au moins un modèle de la théorie qui ne s'applique jamais, à aucune situation du monde actuel :

Théorème 5.

$$\text{sousdeterminee}_f(T) \rightarrow (\exists M_T)(\forall E \in A_{M_T}) \neg (\exists s \in \mathcal{S}) Es$$

Preuve : s'il existe une théorie T' incompatible avec T , alors il existe au moins un modèle M de T et un modèle M' de T' qui couvre le domaine d'application de M mais fait des prédictions différentes $P_M \cap P_{M'} = \emptyset$. Faisons l'hypothèse que M s'applique à au moins une situation s lors d'une expérience de type E . E appartient bien au domaine d'application de M et de M' . Comme T et T' sont empiriquement adéquates, on aurait $E \in P_M$ et $E \in P_{M'}$ (l'expérience confirme chaque théorie), donc $P_M \cap P_{M'} \neq \emptyset$, ce qui est contradictoire. Donc notre hypothèse est fautive : M ne s'applique à aucune situation.

Ce modèle est bien entendu celui qui est incompatible avec un modèle de l'autre théorie.

L'absence de sous-détermination factuelle ne permet pas de montrer qu'une théorie est modalement adéquate. Pour obtenir l'adéquation modale d'une théorie à partir de l'hypothèse qu'elle est adequate_f et non sousdeterminee_f , nous avons besoin de prémisses supplémentaires.

Il faut faire l'hypothèse qu'il existe au moins une autre théorie T' couvrant le domaine d'expérience de T qui soit modalement adéquate. Ceci

permet d'exclure le cas où T ne serait pas sous-déterminée pour la simple raison qu'aucune théorie ne pourrait être modalement adéquate sur son domaine. En outre, il faut postuler que pour les modèles M de T et M' de T' qui ne sont pas incompatibles, le domaine de prédiction de M' est inclus dans celui de M (c'est le cas par exemple si les prédictions de ces modèles sont strictement identiques). Nous dirons alors que T' précise T : elle fait des prédictions plus précises que T . En effet, les types d'expériences qui permettent de confirmer les prédictions d'un modèle n'ont pas à être unique, notamment si les prédictions des modèles sont probabilistes ou approximatives (plusieurs types d'expériences différents peuvent aussi bien confirmer le modèle). Il faut alors exclure le cas où, par une coïncidence cosmique, toutes les situations actuelles seraient telles que M et M' font conjointement de bonnes prédictions, mais certaines situations possibles seraient telles que seul M' fait de bonnes prédictions. On peut dériver ce postulat du principe suivant lequel les situations actuelles sont un échantillon représentatif des situations possibles, ce qui est nécessaire à l'induction sur les modèles.

Définition 9.

$$\text{codomaine}(T, T') := (\forall M_T)(\exists M_{T'}) A_{M_T} \subseteq A_{M'_T}$$

Définition 10.

$$\begin{aligned} \text{precise}(T, T') &:= (\forall M_T)(\forall M_{T'}) \\ (A_{M_T} \subseteq A_{M'_T} \wedge \neg \text{incompatible}(M, M') &\rightarrow P_{M'} \subseteq P_M) \end{aligned}$$

Théorème 6.

$$\begin{aligned} (\text{adequate}_f(T) \wedge \neg \text{sousdeterminee}_f(T) \wedge \\ (\exists T')(\text{codomaine}(T, T') \wedge \text{precise}(T, T') \wedge \text{adequate}_m(T'))) \\ \rightarrow \text{adequate}_m(T) \end{aligned}$$

Preuve : soit T_m une théorie adequate_m . Alors T_m est également adequate_f . À partir de la définition de la sous-détermination, on sait que si une théorie T est empiriquement adequate_f et n'est pas sousdeterminee_f , alors toute autre théorie adequate_f est compatible avec elle, c'est-à-dire qu'elle ne fait jamais de prédictions contradictoires sur le même domaine d'expérience. Donc T et T_m sont compatibles. Prenons une situation possible quelconque s dans une expérience de type E à laquelle un modèle M de T s'applique. Puisque T_m couvre ce domaine, il existe un modèle M_m qui s'applique également.

Puisque T_m est modalement adéquate, $E \in P_{M_m}$. Puisque T et T_m ne sont pas incompatibles, et puisque T_m précise T , $P_{M_m} \subseteq P_M$, donc $E \in P_M$. T fait de bonne prédictions quelle que soit cette situation possible.

Autrement dit, si une théorie T *adequate_f* n'est pas *sousdeterminee_f*, soit elle est *adequate_m*, soit il n'existe aucune autre théorie plus précise sur le même domaine qui l'est.

Conclusion de la partie II

Nous avons défendu dans cette partie l'empirisme modal, conçu comme la position suivant laquelle nos théories sont empiriquement adéquates pour toutes les situations possibles.

Nous avons commencé par proposer une conception des théories scientifiques comme systèmes conceptuels abstraits plutôt que comme descriptions du monde. Les théories ne font pas référence à des objets concrets ou à des lieux ou instants particuliers. Elles sont confrontées à la réalité par l'intermédiaire de modèles mis en correspondance avec des aspects objectifs de certaines situations concrètes lors d'expériences. C'est au moment de cette mise en correspondance seulement que les modèles voient leurs références fixées, et c'est à l'issue de cette mise en correspondance qu'on peut associer à la théorie un contenu factuel portant sur des domaines particuliers d'expérience.

Nous avons ensuite défendu une conception de l'adéquation empirique adaptée à cette façon de voir les théories scientifiques. Une théorie est empiriquement adéquate si tous ses modèles, chaque fois qu'ils peuvent s'appliquer à des situations du monde, font de bonnes prédictions. Cette conception de l'adéquation empirique se veut modeste et proche de la pratique expérimentale. Elle évite certains travers des conceptions traditionnelles, comme le fait de devoir postuler une distinction entre ce qui est observable ou inobservable, de ne pas tenir compte des interventions expérimentales ou de faire référence à un hypothétique modèle de l'univers. De plus elle permet d'envisager différentes versions d'empirisme suivant le domaine de quantification des situations pour lesquelles nos théories sont jugées empiriquement adéquates : il peut s'agir des situations expérimentées par le passé, qui ont été ou seront expérimentées, de toutes les situations actuelles, ou enfin de toutes les situations possibles. Cette dernière option correspond à l'empirisme modal.

Nous avons ensuite procédé à une défense de l'empirisme modal en deux phases. Dans un premier temps, nous avons examiné les conséquences

de notre conception de l'adéquation empirique pour le débat sur le réalisme scientifique. Savoir qu'une théorie est empiriquement adéquate nous demande d'induire sur toutes les situations auxquels un modèle donné s'applique, puis sur tous les modèles d'une théorie. L'induction sur tous les modèles, spécifique à notre conception d'adéquation empirique, et particulièrement impliquée dans la justification de l'empirisme modal, permet de répondre à l'argument du miracle. Elle risque cependant d'être victime d'un argument de type méta-induction pessimiste. Cependant il est raisonnable de penser que nos théories sont empiriquement adéquates pour un domaine d'expérience relativement étendu et qui s'accroît avec le développement de la science. De plus l'induction sur les modèles permet de rendre compte assez directement du pouvoir explicatif des théories. C'est d'autant plus vrai pour l'empirisme modal, dont l'engagement envers les modalités peut rendre compte directement du discours causal et des énoncés modaux utilisés pour exprimer les explications. Si tout ceci nous rapproche du réalisme, il reste une différence importante, qui est que l'empirisme rejette le raisonnement abductif, ou inférence à la meilleure explication, dans sa justification. À ce titre, l'empirisme modal est bien un empirisme, puisqu'il ne conçoit pas que la nécessité explique les régularités observables : il s'agit plutôt d'arriver à la nécessité à l'issue d'un processus inductif étendu à toutes les situations possibles. Nous avons défendu qu'il s'agit là de la forme la plus cohérente d'induction sur les modèles, puisque la base d'induction nous est connue a priori : il s'agit de tous les modèles. Elle nous demande seulement d'accepter au départ qu'il existe du possible dans la nature.

Dans un second temps, nous avons défendu l'empirisme modal face aux autres versions d'empirisme en faisant valoir que cette position est mieux à même de rendre compte de l'activité scientifique comme d'une activité rationnelle, et en particulier, de rendre compte du rôle épistémologique central de l'intervention expérimentale, notamment quand les scientifiques mettent en œuvre des situations inédites qui ne se produisent pas naturellement pour comparer des hypothèses qui diffèrent quant à des situations possibles. Ceci nous a permis de déployer un argument montrant que le contenu modal des théories n'est pas strictement sous déterminé par l'expérience : nous ne sommes jamais en position de pouvoir affirmer que deux théories modalement incompatibles sont factuellement adéquates, dans la mesure où nous ne savons pas quelles situations sont ou non instanciées dans l'univers, si bien que toute sous-détermination qui menacerait l'empirisme modal menacerait aussi bien l'empirisme factuel. Dans ce cadre, il n'existe plus de bons arguments pour justifier de s'en tenir à un empirisme factuel : affirmer que le discours modal est dénué de valeur de vérité semble

relever d'une sélectivité infondée envers le discours scientifique.

Ces développements ont été l'occasion de voir, au passage, comment l'empirisme modal se comporte vis-à-vis des principaux arguments du débat sur l'empirisme et le réalisme scientifique : la distinction entre observable et inobservable au chapitre 5, la méta-induction pessimiste et l'argument du miracle au chapitre 6, enfin la sous-détermination au chapitre 7. Il nous semble qu'il est à même de répondre à ces arguments, ou de les éviter. Pour toutes ces raisons, l'empirisme modal nous semble être la forme la plus cohérente d'empirisme. Nous devrions pousser l'induction à son terme, et penser que nos théories sont empiriquement adéquates pour toutes les situations possibles.

On peut se demander, pour finir, comment l'empirisme modal se situe par rapport aux autres positions épistémologiques. La manière dont il se distingue de l'empirisme traditionnel est claire : il s'agit d'étendre l'adéquation empirique de nos théories à toutes les situations possibles. Mais en quelle mesure se distingue-t-il d'un réalisme scientifique, ou, par exemple, d'un réalisme structural ?

L'empirisme modal n'est pas très différent d'un réalisme structural épistémique. Nous avons vu au chapitre 3 que ce dernier, à en croire l'argument de Newman, pouvait se ramener à un empirisme. Parler de relations modales ne permet pas réellement d'éviter cette objection, puisque ces relations ne sont pas des relations entre des objets inaccessibles de la réalité. Si l'empirisme modal ne se distingue pas vraiment d'un réalisme structural épistémique, c'est que ce type de position n'est pas vraiment réaliste : tout ce qu'elles affirment est de l'ordre des relations entre ce dont on peut faire l'expérience.

On pourrait aussi rapprocher l'empirisme modal d'un réalisme structural ontique, qui affirme que nos théories décrivent correctement des relations modales. Mais il y a une différence importante entre ces deux positions, qui est que l'empirisme modal n'est pas une position métaphysique. En particulier, contrairement au réalisme structural ontique, l'empirisme modal n'affirme pas que ces relations modales sont auto-subsistantes et sont *tout ce qui existe*, mais y voit des relations entre nos observations et interventions. Il ne prétend pas que nos représentations épuisent ce qu'il y a à connaître de la nature de la réalité. Ceci pourrait lui permettre d'éviter certains problèmes inhérents au réalisme structural ontique, comme le fait qu'il menace de se ramener à un platonisme mathématique, ou qu'il peine à rendre compte de l'ancrage expérimental des théories (voir section 3.3).

Quant au réalisme, la différence pourrait être que l'empirisme modal ne souscrit pas à l'existence des entités inobservables (objets ou proprié-

tés) postulées par nos théories. Remarquons toutefois qu'au moment de défendre l'importance de l'intervention en science, nous avons pris des exemples qui concernent la mise en évidence d'entités inobservables comme les protéines ou les forces de gravitation (section 7.1.2). L'induction sur les modèles que nous avons mis en avant se rapproche de certaines justifications du réalisme des entités, comme le fait qu'on puisse les manipuler de manières diverses. Remarquons également que nous n'avons pas prétendu qu'il existe de distinction pertinente entre ce qui est observable ou inobservable. Se pourrait-il, finalement, que l'intervention permette tout autant de révéler l'existence d'entités inobservables ?

Tout dépend, en fait, la manière dont on interprète le discours scientifique. Après tout, le vocabulaire théorique, pour un réaliste, peut être interprété de différentes façons : comme faisant directement référence à des propriétés naturelles, à des essences, ou comme spécifiant une intension plutôt qu'une extension. Mais les essences, comme la notion d'intension, peuvent être analysés en termes de nécessités et de possibilités. Or nous avons défendu l'idée que les modalités ne sont pas sous-déterminées par l'expérience, et il n'y a aucune raison à ce que notre argument ne puisse être étendu aux aspects intensionnels associés au vocabulaire théorique, ou à sa compréhension en termes d'essence. La seule différence tiendrait à la conception des modalités impliquées : métaphysiques dans le cas de l'essentialisme, physiques dans le cas de l'empirisme modal.

Ces remarques semblent indiquer que finalement, l'empirisme modal n'est rien d'autre qu'un réalisme. Il existe une différence importante, cependant, qui est que l'empirisme modal n'est pas une position métaphysique prétendant se prononcer sur la nature de la réalité. Il nous semble que la meilleure façon d'exprimer cette différence est sous l'angle sémantique, c'est-à-dire non pas sous l'angle de ce qui, dans le monde, est connaissable, mais sous l'angle du rapport de nos représentations au monde.

Nous défendrons, dans la partie suivante, que l'empirisme modal peut en effet se comprendre comme un réalisme si l'on adopte une conception pragmatiste de la vérité plutôt qu'une théorie de la vérité-correspondance : alors affirmer qu'une théorie est modalement adéquate, c'est simplement affirmer qu'elle est vraie. Nous nous demanderons ensuite, sur cette base, comment interpréter les modalités, ce qui ouvrira la voie à une métaphysique empiriste à même d'éclairer les questions relatives à l'interprétation des théories scientifiques.

Troisième partie

**L'interprétation métaphysique
des théories**

Dans la partie précédente, nous nous sommes intéressés à des questions d'ordre épistémiques. Nous avons défendu une position épistémologique originale : l'empirisme modal, qui affirme que nos meilleures théories scientifiques sont empiriquement adéquates, au sens où leurs modèles font de bonnes prédictions quand ils sont applicables à des situations concrètes du monde, ce pour toutes les situations possibles. L'objet de cette partie est de s'attaquer aux versants sémantique et métaphysique de cette position, sur lesquels nous sommes restés relativement silencieux jusqu'ici.

Le fait même qu'on puisse aborder des questions métaphysiques sur la base d'une position empiriste pourrait poser question, dans la mesure où l'empirisme s'est traditionnellement caractérisé par un rejet de la métaphysique. Nous avons mis l'emphase, dans la partie précédente, sur le fait que l'empirisme modal n'est pas un réalisme. Or il est fréquent de penser que l'entreprise métaphysique présuppose le réalisme. Ainsi, Papineau exprime la différence entre épistémologie et métaphysique des sciences comme suit :

« The epistemology of science deals with the justification of claims to scientific knowledge. The metaphysics of science investigates philosophically puzzling features of the world described by science. In effect, the epistemology of science asks whether scientific theories are true, while the metaphysics of science considers what it would tell us about the world if they were. »¹⁴

Une autre manière, d'apparence plus neutre, de dire les choses est la suivante : la métaphysique se demande comment interpréter les théories. Mais si, à en croire Ruetsche (2013), interpréter une théorie, c'est dire « comment le monde serait si elle était vraie », alors ces deux façons de voir la métaphysique coïncident en effet. Le réalisme scientifique étant généralement décrit comme la position suivant laquelle nos théories scientifiques sont vraies, alors en effet, il faudrait partir d'un présupposé réaliste (ne serait-ce qu'à titre d'hypothèse de travail) pour faire de la métaphysique. Mais bien sûr l'anti-réaliste pourra se demander quel intérêt il pourrait trouver à adopter une hypothèse de travail qu'il pense fautive et sera enclin à voir dans la métaphysique une vaine entreprise.

Toutefois il s'agit là peut-être d'une conception trop limitée de la métaphysique, qui ne correspond pas aux différentes formes d'entreprise

14. « L'épistémologie des sciences traite de la justification des prétentions à la connaissance scientifique. La métaphysique des sciences est l'examen des traits philosophiquement intrigants du monde tel que le décrivent les sciences. De fait, l'épistémologie des sciences se demande si les théories scientifiques sont vraies, tandis que la métaphysique des sciences considère ce que ces théories nous apprendraient du monde si elles l'étaient. »

métaphysique qui ont été menées dans l'histoire de la philosophie. Il est notable que des auteurs ne se revendiquant pas du réalisme ont toutefois défendu la possibilité de faire de la métaphysique : c'est le cas, par exemple, de Carnap qui considérait la métaphysique comme touchant aux questions de choix de langage. On trouve chez Guay et Pradeu (2017) la proposition de concevoir la métaphysique en un sens plus large, en identifiant différents critères (le fait d'être a priori ou a posteriori, descriptive ou révisionniste, et tirant sa source de justification des sciences, du sens commun ou de la métaphysique traditionnelle), et selon cette taxinomie, toute métaphysique n'est pas forcément réaliste : on peut également la concevoir comme une entreprise de clarification conceptuelle, dans la lignée de Carnap.

Remarquons que le réalisme scientifique s'accompagne nécessairement, selon certains auteurs, d'une certaine conception de la vérité comme correspondance. Or cette conception ne s'impose pas à nous, si bien qu'en principe, on pourrait aborder des questions métaphysiques répondant à la définition de « métaphysique » que propose Papineau sans pour autant être réaliste au sens fort. Parallèlement, la notion d'interprétation invoquée par Ruetsche pourrait être qualifiée d'interprétation *littérale*, mais nous ne sommes pas tenus d'interpréter littéralement les théories. Il est donc possible de conserver l'idée que la métaphysique s'occupe d'interpréter les théories, au sens général où elle consisterait à fournir un travail de clarification conceptuel, c'est-à-dire à nous doter des concepts adéquats, sans pour autant se prononcer sur des questions d'ordre sémantique, et en particulier, sans partir du principe que l'adéquation de nos concepts devrait être forcément comprise en termes de vérité, ni à plus forte raison en termes de vérité-correspondance.

Ce qu'il y a de commun dans toutes les approches métaphysiques, réalistes ou non, est la recherche des concepts adéquats pour interpréter les théories, et on peut considérer que ces approches divergent uniquement sur ce qu'elles considèrent être l'adéquation d'un concept (ce qui serait une question méta-métaphysique, ou sémantique). C'est cette approche plus inclusive que nous allons suivre dans cette partie.

Nous commencerons, au chapitre 8, par régler les questions sémantiques, en suggérant une sémantique appropriée pour l'empiriste modal : il s'agit de savoir comment, si l'on est empiriste modal, interpréter les énoncés des théories scientifiques pour pouvoir affirmer que ces théories sont vraies. Nous verrons que l'empirisme modal dispose des ressources suffisantes pour adopter une conception relativement souple et crédible de l'interprétation des théories, qui est, de fait, une interprétation pragmatiste. Notre but est de nous doter d'une sémantique qui évite d'introduire un

fossé entre nos capacités linguistiques et épistémiques, et donc de pouvoir employer un discours scientifique à la manière dont pourrait le faire un réaliste.

Dans un second temps, au chapitre 9, nous nous attaquerons à la question métaphysique centrale pour un empiriste modal : la question du statut des modalités. Nous proposerons d'analyser ce statut dans un cadre actualiste, que nous défendrons face au possibilisme. L'actualisme consiste, dans notre approche, à attribuer des propriétés modales aux situations actuelles du monde plutôt que d'attribuer des propriétés catégoriques non modales aux situations possibles du monde. L'actualisme s'accorde mieux selon nous avec le langage des situations possibles que nous avons employé en place du langage des mondes possibles dans la première partie de cette étude. En outre, il ouvre la voie à l'inférence ontologique sur la base des modèles abstraits qui représentent les situations actuelles du monde, sous leurs aspects modaux. Ces modèles abstraits synthétisent en effet plusieurs situations possibles qu'on pourra concevoir comme des alternatives aux situations actuelles représentées. Toutefois, ces situations possibles étant regroupée sur la base de certains critères conventionnels (associés aux caractéristiques objectives des situations qu'on juge identifiantes), plusieurs possibilités s'offrent à nous. Nous examinerons les présupposés métaphysiques et la conception des situations qui sous-tendent chacune d'entre elles, qui peuvent s'exprimer en termes modaux. À la fin de ce chapitre, nous obtiendrons une taxinomie des différentes propriétés modales qu'on peut attribuer aux situations du monde, en fonction de ces choix.

Enfin dans le chapitre 10, nous illustrerons la manière dont ces outils peuvent être appliqués pour interpréter la mécanique quantique non relativiste, en examinant les différentes ontologies envisageables et les modèles abstraits associés. Nous nous demanderons lesquelles sont plus appropriées pour rendre compte de l'activité scientifique sous tous ses aspects, et lesquelles permettent le mieux d'interpréter la physique contemporaine. Nous défendrons l'une de ces ontologies en particulier : une ontologie de dispositions et d'événements. Pour terminer, nous tirerons, à titre programmatique, quelques conséquences que pourrait avoir l'adoption de cette ontologie concernant l'interprétation de la mécanique quantique ou les questions de réduction et d'émergence.

Ces arguments, et les positions défendues, sont indépendants d'une acception de l'empirisme modal en tant que tel, mais ils se veulent aussi une démonstration de la fructuosité de cette position épistémologique en matière d'interprétation des théories scientifiques.

Chapitre 8

Interpréter le vocabulaire théorique

English abstract

We explain how a modal empiricism can be considered a realism (construed broadly as the position on which our theories are true) given a certain conception of meaning of theoretical terms. If these are interpreted in terms of conditions of application, then the modal empiricist can claim that our theories are true. We explain how an endorsement of natural modalities, and an acknowledgement of the pragmatic aspects of theory application, can help this position escape the traditional arguments against operationalism or descriptivism. Finally, we emphasise some characteristics of this form of realism, in particular the way analytical necessity (associated with the intension of theoretical terms) and physical necessity are related, and how theoretical terms tend to match projectible predicates. We also explain how this view is different from traditional realism, in that it assumes a pragmatist conception truth.

Nous avons contrasté au chapitre 6 l'empirisme et le réalisme sous l'angle des modes d'inférence (induction et abduction), en avançant que le recours à l'abduction, et l'adhésion à des critères de sélection non empiriques qui l'accompagne, est une caractéristique du réalisme. Pourtant ce n'est pas de cette manière que l'empirisme et le réalisme sont habituellement contrastés : la différence entre ces deux positions tient avant tout à ce que le réaliste accepte que nos théories sont vraies, ou approximativement vraies, quand l'empiriste se contente d'affirmer qu'elles sont empiriquement adéquates. Certes, le réaliste doit avoir recours à l'abduction si l'induction sur la base de l'expérience ne suffit pas à inférer qu'une théorie est vraie, mais c'est bien l'emphase sur la vérité plutôt que sur l'adéquation empirique qui le caractérise en premier lieu.

Pour autant, nous pourrions nous demander si l'empirisme modal, en ayant recours à une induction étendue aux possibles, se différencie toujours du réalisme ainsi caractérisé : ce type d'induction ne serait-il pas suffisant pour affirmer que nos théories sont vraies ? La réponse à cette question dépend certainement de ce qu'on entend par « vrai », et de la façon dont on interprète les théories. Dans ce chapitre, nous proposons de développer une certaine façon, pragmatiste, d'interpréter les théories qui permet de concevoir l'empirisme modal comme un réalisme interne.

Dans la première section, nous présentons cette interprétation, qui consiste à ramener la signification des termes théoriques aux conditions d'application et de bonnes prédictions des modèles, et nous montrons qu'en effet, suivant cette interprétation, l'empirisme modal affirme que nos théories sont vraies. Dans la seconde section, nous répondons aux critiques traditionnelles envers d'autres conceptions proches, comme l'opérationnalisme et le descriptivisme. Enfin dans la dernière section, nous élaborons certaines caractéristiques qui différencient cette approche d'un réalisme traditionnel, notamment en termes de théorie de la vérité.

8.1 L'empirisme modal comme réalisme

La notion de signification est généralement analysée en termes de conditions de vérité : la signification d'un énoncé doit se comprendre en termes de ce qui, dans le monde, rend vrai cet énoncé. Il est coutume d'analyser ceci en termes de mondes possibles : on associe à un énoncé une intension, à savoir l'ensemble des mondes possibles qui rendent notre énoncé vrai, et l'énoncé est vrai si le monde actuel fait partie de ces mondes possibles. Ce sont bien des possibilités logiques qui sont impliquées, et non

physiques : afin de différencier ces modalités, nous parlerons dans la suite de *concevabilité* pour les possibilités logiques.

Cette façon de voir les choses est en un sens approprié pour notre cadre, et en un sens problématique. Elle est appropriée, car le rapport entre un énoncé et son intension est formellement identique au rapport entre la formulation axiomatique d'une théorie et ses modèles (voir la section 4.2.1). Les modèles d'une théorie sont les structures qui la rendent vraie, et on pourrait voir chaque modèle d'une théorie comme représentant un monde concevable, dont l'un d'eux est notre monde (si la théorie est vraie). En ce sens, on peut voir les modèles d'une théorie comme son contenu intensionnel. Mais cette façon de voir est aussi problématique, car un modèle n'est pas, en général, destiné à représenter le monde dans son ensemble : nous avons insisté sur le fait qu'un modèle représente plutôt une situation du monde. Le fait de refuser qu'une théorie doive forcément avoir une application cosmique devrait nous amener à revoir notre notion de vérité (comme il nous a amené à revoir la notion d'adéquation empirique) : peut-on toujours être réaliste dans ce cadre ?

Dans cette section, nous proposons d'examiner ce que pourrait être un réalisme dans un cadre situationniste, si le réalisme est conçu au sens large comme la position suivant laquelle nos théories sont vraies (ce qui n'implique pas forcément un réalisme sémantique). Nous envisageons ensuite différentes options concernant la signification des termes théoriques, et défendons que si l'on adopte une conception pragmatiste de la signification, suivant laquelle celle-ci élucide la manière dont un terme se rapporte aux expériences possibles, alors l'interprétation n'est pas sous-déterminée par l'expérience pour un empirisme modal : l'empirisme modal est un réalisme pragmatiste.

8.1.1 *Réalisme et situations*

Passant à une sémantique des situations possibles, on pourrait proposer l'analyse suivante : l'intension d'une théorie est l'ensemble des situations concevables (représentables par un modèle) qui rendent la théorie vraie, et une théorie est vraie si les situations du monde font toutes partie de cet ensemble. Si nous sommes réalistes modaux, ces situations ne sont pas seulement des situations actuelles : notre théorie doit également être vraie dans son contenu modal. Il faut donc que l'ensemble des situations physiquement possibles du monde soit un sous-ensemble des situations concevables pour la théorie, représentées par ses modèles. On pourrait ajouter le critère suivant : une théorie est, en plus, complète si ces deux

ensembles sont identiques, c'est-à-dire que la théorie ne permet pas de concevoir comme possible une situation qui est physiquement impossible.

Ceci a une conséquence intéressante, que nous élaborerons un peu plus loin, qui est qu'il existe, dans cette approche, un lien assez étroit entre contenu intensionnel et nécessité physique. Le contenu intensionnel d'une théorie, c'est-à-dire l'ensemble des situations concevables pour la théorie (c'est-à-dire représentables par un modèle de la théorie), correspond exactement aux rapports de nécessité postulés par la théorie, et à la limite où une théorie est vraie et complète, nécessité analytique et physique se correspondent exactement. Ceci n'est pas forcément étonnant : la nécessité analytique dont il est question vise seulement à élucider ce que dit la théorie, et si la théorie est vraie, ce qu'elle dit correspond au monde. Cependant, cette correspondance formelle entre nécessité physique et analytique pourra éclairer certains aspects liés à la signification et à l'interprétation d'une théorie.

Remarquons, toutefois, que cette proposition ne fonctionne que pour les théories universelles, c'est-à-dire dont le domaine d'application couvre l'ensemble des situations possibles du monde. La physique a, certes, prétention à être universelle, mais ça ne veut pas dire qu'elle y parvient, et en tout cas, on pourrait penser qu'une théorie doit pouvoir être vraie même si elle ne s'applique qu'à un domaine restreint de la réalité. Or, dans ce cas, il existe bien des situations possibles qui ne sont pas concevables pour la théorie, qui ne sont représentées par aucun de ses modèles, non parce que la théorie les juge impossibles, mais simplement parce qu'elle n'en parle pas.

Pour différencier les situations non concevables parce qu'impossibles des situations qui ne se situent pas dans le domaine d'application d'une théorie, nous aurons recours à la notion d'applicabilité que nous avons employé pour définir l'adéquation empirique. Ce n'est pas l'ensemble des situations du monde qui doit être un sous-ensemble des situations concevables pour la théorie, mais plutôt l'ensemble des situations du monde auxquelles au moins un modèle de la théorie s'applique. Chacune de ces situations doit pouvoir être correctement représentée par au moins un modèle de la théorie. Il s'agira bien évidemment d'un modèle qui s'applique à la situation. En pratique, plusieurs modèles peuvent s'appliquer, et ils n'ont pas tous à représenter correctement la situation pour que la théorie soit vraie : en particulier, certains modèles sont idéalisés. Mais si l'on entend la vérité de manière suffisamment libérale, autorisant qu'un modèle soit approximativement vrai d'une situation, si l'on conçoit qu'un modèle idéalisé est approximativement vrai, et si l'on pense que des aspects

conventionnels, comme le choix d'un référentiel, ne sont pas à prendre en compte pour la vérité, alors on peut envisager que tous les modèles qui s'appliquent à une situation soient vrais ; nous aboutissons alors à une définition de la vérité qui se rapproche fortement de notre définition de l'adéquation empirique, et qui est la suivante :

Vérité d'une théorie : une théorie est (approximativement) vraie si et seulement si, quel que soit l'un de ses modèles et quelle que soit une situation du monde à laquelle ce modèle s'applique, le modèle représente (approximativement) correctement de la situation.

On peut retrouver, à partir de cette formulation, l'idée que les énoncés des théories sont des énoncés universellement vrais du monde. En effet, ces énoncés sont « vrais dans tous les modèles », en vertu du rapport entre les axiomes d'une théorie et ses modèles, et si chaque modèle est vrai des situations auxquelles il s'applique, alors la théorie est bien vraie de toutes les situations du monde. Mais cette formulation montre aussi clairement qu'en affirmant qu'une théorie est vraie si les situations du monde font partie des situations concevables pour la théorie, c'est-à-dire celles représentées par ses modèles, nous ne faisons que repousser le problème : quand peut-on dire qu'un modèle représente correctement une situation ?

Notons en préambule que deux aspects entrent en compte pour la vérité d'une théorie : d'une part, son formalisme et son vocabulaire, et d'autre part les lois de la théorie ¹. Il est possible d'employer le vocabulaire et le formalisme d'une théorie pour décrire des situations qui ne respectent pas ses lois. Par exemple, on peut proposer un modèle « newtonien » du système solaire dans lequel les planètes ne suivent pas des trajectoires conformes à la théorie gravitationnelle de Newton, ou on peut décrire, en mécanique quantique, des fonctions d'onde qui ne respectent pas l'équation de Schrödinger ². De tels modèles auront en commun avec de véritables modèles de la théorie certaines conditions d'application (on y aura spécifié des conditions initiales et des propriétés mesurées) ; seules leurs prédictions seront différentes. On peut considérer que le vocabulaire et le formalisme d'une théorie, combiné à certaines inférences contextuelles, permettent d'abord

1. Le formalisme apporte déjà certaines contraintes. Redhead (1975, p. 91-92) parle à ce sujet des lois constitutives et des lois corrélatives

2. Ceci nous demande de distinguer, dans les axiomes d'une théorie, ceux qui concernent uniquement la définition de structures mathématiques (le formalisme) et ceux qui utilisent ce formalisme pour exprimer des lois dynamiques. Nous partons du principe qu'il est possible de faire cette distinction, bien que dans certains cas (par exemple la relativité générale) elle puisse sembler plus difficile à établir, ou plus arbitraire.

de spécifier des conditions d'application et de bonnes prédictions envisageables pour ses modèles, c'est-à-dire son domaine d'application, et que les lois de la théorie visent ensuite à restreindre l'étendue des prédictions envisageables. Nous avons vu en effet, au chapitre 4, que le vocabulaire pouvait jouer ce rôle de fixation du domaine d'application d'une théorie. Nous passons d'un ensemble de situations exprimables depuis la théorie (qui marque son domaine d'application) à un ensemble de situations possibles pour la théorie.

Si le seul rôle du vocabulaire et du formalisme était de spécifier des conditions d'application et de prédiction, alors, comme nous allons le voir, on pourrait dire qu'une théorie est vraie si et seulement si elle est empiriquement adéquate. Nous pouvons déjà entrevoir pourquoi c'est le cas : un modèle d'une théorie s'exprime avec le formalisme et le vocabulaire de la théorie, et si le vocabulaire et le formalisme ne concerne que certaines conditions d'application, il n'y a rien de plus à exiger, pour qu'un modèle représente correctement une situation, qu'il s'applique et fasse de bonnes prédictions. Mais cette façon de voir les choses va de pair avec une certaine conception de la signification des termes théoriques que tout réaliste ne sera pas prêt à accepter. C'est ce que nous allons examiner maintenant.

8.1.2 Différentes conceptions de la vérité d'un modèle

On peut donc définir la vérité d'une théorie en termes de la vérité de ses modèles. Le problème reste alors de savoir quand un modèle est vrai d'une situation.

Rappelons qu'un modèle peut se concevoir comme une structure mathématique dont certains éléments (propriétés et relations) sont associées à un vocabulaire théorique. Pour savoir si un modèle décrit correctement une situation, il faudrait donc que la situation possède cette structure de propriétés et de relations, ces propriétés et relations étant interprétées. Mais voilà, de nouveau, il semble que nous n'ayons fait que repousser le problème : comment interpréter les termes théoriques ?

À ce titre, nous pouvons envisager trois options :

1. les termes théoriques font directement référence à des propriétés ou relations naturelles.
2. seule la théorie elle-même qui fixe la signification des termes théoriques.
3. il faut interpréter les termes théoriques en relation à l'expérience.

En somme, ce qui différencie ces options est l'endroit où elles placent les conditions de vérité associées aux termes théoriques : soit dans la réalité, soit dans nos représentations théoriques elle-mêmes, soit dans l'expérience.³

Nous pouvons déjà fournir quelques arguments pour rejeter la seconde option. D'abord, si la théorie n'était qu'un ensemble de définitions implicites des termes théoriques, elle serait purement analytique et ne pourrait jamais être fausse. Pour éviter ceci, on pourrait différencier la partie de la théorie qui concerne uniquement le formalisme et celle qui exprime des lois, cette dernière constituant le contenu synthétique de la théorie, mais il semble qu'à un moment donné, un contact avec la réalité est requis si l'on veut que nos théories soient à propos du monde et qu'elles puissent être confrontées à l'expérience.

Une autre manière de voir en quoi cette option pose problème est l'argument modèle-théorique de Putnam (1983), ou encore le problème de Newman appliqué au réalisme structural (voir la section 3.2). Si l'interprétation du vocabulaire nous est donnée par les axiomes de la théorie, alors celle-ci est entièrement structurale. Or, si seule la structure compte quand il s'agit de savoir si un modèle est vrai d'une situation, la vérité d'un modèle est triviale : on peut toujours définir n'importe quelle structure logico-mathématique dans une situation, pour peu que le nombre d'objets y soit suffisant. Pour reprendre un exemple de van Fraassen (2008, p. 233-234), on pourrait très bien trouver une structure isomorphe à une carte de Paris dans n'importe quel objet, en regroupant de manière conventionnelle ses constituants pour reconstruire la carte, mais ce n'est pas pour autant que n'importe quel objet peut nous permettre de naviguer dans Paris ; il faut encore disposer de règles d'association utilisables entre les constituants pertinents et les rues de la ville, c'est-à-dire savoir relier cette structure à notre expérience.

Certes, suivant ce type de structuralisme, le vocabulaire théorique s'interprète non pas en termes de la structure d'une situation particulière que le modèle représente, mais plutôt en termes de relations entre différentes situations, puisque les axiomes de la théorie visent bien à synthétiser l'ensemble des situations possibles pour la théorie. Par exemple, deux situations à propos d'électrons auraient comme relation le fait d'être à propos du même type d'objet, mais il n'y aurait rien de plus à dire sur le terme « électron » que ceci : il s'agit de ce que toutes les situations auxquelles on

3. On peut assez directement associer à ces options les trois conceptions traditionnelle de la vérité : la vérité correspondance, le cohérentisme et le pragmatisme. Voir le chapitre 1.

applique des modèles d'électron ont en commun. Encore une fois, ce type d'affirmation est trivial tant que la relation dont il est question n'est pas interprétée autrement que mathématiquement, et le fait d'introduire des modalités ne change pas vraiment la donne (voir la section 3.2).

Tout ceci n'exclut pas que la structure de la théorie participe à la signification des termes théoriques, mais elle est en tout cas insuffisante, et nous avons besoin d'ingrédients supplémentaires.

Opter pour une référence directe à des propriétés naturelles semble problématique : en l'absence d'une mystérieuse faculté de l'esprit qui nous ferait reconnaître ces propriétés dans une situation, sans besoin d'expérience sensible, la vérité d'un modèle serait tout simplement inatteignable, et on peut même se demander comment le vocabulaire théorique pourrait être acquis par apprentissage (Dummett, 1978). Nous avons forcément besoin d'un lien à l'expérience pour que la vérité d'un modèle soit un tant soit peu tangible. Le fait de voir dans les termes théoriques une référence directe à des propriétés naturelles ne peut venir que dans un second temps, comme postulat, mais il faudrait que ces propriétés naturelles soient associées d'une manière ou d'une autre à des aspects de l'expérience. Mais une fois ce lien à l'expérience pris en compte, nous pouvons nous demander : a-t-on vraiment besoin d'autre chose ? Postuler l'existence de propriétés naturelles au-delà de l'expérience ne semble pas jouer de rôle particulier : il s'agit d'une « surcouche » métaphysique dont on pourrait aussi bien se passer, en particulier si l'on est un empiriste suspicieux à propos du raisonnement abductif⁴.

Une autre façon de dire les choses est la suivante : finalement, au-delà des modalités et de la référence à l'expérience, de quelles ressources linguistiques disposons-nous exactement pour parler du monde, et pour « interpréter » les théories ? Aucune, pourrait-on penser, et alors la meilleure façon d'interpréter le vocabulaire théorique serait de le ramener à l'expérience possible.

Or, si l'on choisit cette voie, on trouvera de bonnes raisons de penser que l'empirisme modal est un réalisme : il revient simplement à affirmer que nos théories sont vraies. C'est ce que nous allons montrer dans la section suivante.

4. Il s'agit de rejeter ce que Boyer et Barberousse (2013) appellent « interprétations riches ».

8.1.3 *Interprétation et adéquation empirique*

Nous proposons dans cette sous-section un argument qui montre qu'en effet, en un sens, l'empirisme modal est un réalisme, pour la raison suivante : deux théories qui diffèrent uniquement par la signification de leurs termes, c'est-à-dire par leur interprétation, peuvent être départagées par l'expérience, du moins tant que cette signification est comprise comme se rapportant à l'expérience.

Pour voir comment l'interprétation d'une théorie entre en compte au moment de tester son adéquation empirique, nous pouvons avoir recours à une illustration artificielle. Imaginons deux modèles M_1 et M_2 appartenant à deux théories différentes :

- M_1 s'applique aux cordifères (les créatures ayant un cœur), et prédit qu'ils sont poilus
- M_2 s'applique aux rénifères (les créatures ayant un rein), et prédit qu'ils sont poilus

Ces deux modèles ont une structure identique très simple : ils sont constitués d'un objet auquel ils attribuent une propriété. La seule différence entre les deux tient au vocabulaire employé : cordifère dans un cas, rénifère dans l'autre. Or cette différence, qui est uniquement de l'ordre de l'interprétation du vocabulaire, fait une différence dans les prédictions des deux modèles, au moins pour un empiriste modal : les deux modèles ne sont pas équivalents, quand bien même dans notre monde, toutes les créatures ayant un rein ont également un cœur, et inversement.

Appliquons les raisonnements du chapitre 7 à nos deux modèles. Il existe certaines situations possibles pour lesquelles ils ont des implications différentes : celles dans lesquelles on rencontrerait un rénifère qui n'est pas cordifère, et celles dans lesquelles on rencontrerait un cordifère qui n'est pas rénifère. Dans ce type de situations, seul l'un des deux modèles s'applique, et fait des prédictions, quand l'autre reste silencieux. Si la signification de rénifère et cordifère se ramène à des aspects de l'expérience qui permettent de les différencier, et si l'on rejette une forme radicale de holisme de la signification⁵, il est en principe possible de rejeter un des modèles sans rejeter l'autre : les deux modèles ne sont pas empiriquement équivalents.

5. Chez Quine, le holisme de la signification est lié au holisme de la vérification, mais Quine considère uniquement les vérifications actuelles, rejetant la notion de nécessité. D'une part, nous avons vu que le holisme de la vérification pouvait être tempéré, puisque les scientifiques savent généralement s'assurer de la fiabilité de leurs tests expérimentaux (section 4.4), et d'autre part, une extension aux vérifications possibles plutôt que seulement actuelles peut amener à douter d'une forme de holisme radical. C'est précisément l'objet de cette section que de le montrer.

Pour les départager, il nous suffit de créer artificiellement ces situations : il s'agirait en l'occurrence de procéder à des manipulations génétiques ou à des croisements de manière à faire naître une créature qui aurait un cœur, mais pas de rein, ou l'inverse (on pourrait imaginer les doter d'un cœur ou d'un rein artificiel si cela compromettrait leur survie). Suivant que l'une, l'autre, les deux, ou aucune de ces créatures aient des poils, nous en viendrions à confirmer M_1 , M_2 , les deux, ou aucun de ces deux modèles (on pourrait bien sûr envisager de répéter l'expérience plusieurs fois sur des organismes différents pour s'assurer, par induction, que ces théories sont bien confirmées dans tous les cas). Or, s'il est en principe possible de départager par l'expérience deux modèles de deux théories dont seule l'interprétation diffère, c'est que la thèse consistant à affirmer qu'une théorie est vraie n'est pas strictement sous-déterminée par l'expérience : l'interprétation ne relève pas de « l'inflation métaphysique », suivant le critère proposé au chapitre 7.

Ceci dit, nous avons exclu implicitement un cas : celui où l'on s'apercevrait qu'il est physiquement impossible de produire un rénifère qui ne soit pas cordifère, et inversement. Imaginons, par exemple, que les gènes codant pour la constitution des reins soient les mêmes qui codent pour la constitution des cœurs, si bien que toute manipulation génétique qui supprimerait le cœur d'un organisme supprimerait du même coup ses reins, et inversement. Dans ce cas nous ne pourrions plus départager nos modèles, et nous pourrions être tentés d'affirmer qu'ils sont empiriquement équivalents, bien que cognitivement différents. Cependant nous pouvons alors affirmer sans problème qu'ils sont tous deux vrais des situations auxquelles ils s'appliquent, et nous savons désormais que les théories correspondantes sont incomplètes : elles échouent à rendre compte de certaines contraintes de nécessité, en l'occurrence celle suivant laquelle, nécessairement, les rénifères sont des cordifères. Intégrant cette contrainte, nous en viendrions à abandonner l'usage des termes « rénifère » et « cordifère », au profit d'un nouveau terme théorique plus approprié : « réni-cordifère », fusionnant nos deux théories en une seule. Une lecture possible, que nous proposerons plus loin, consisterait à affirmer que nous avons découvert empiriquement que les deux termes ont en fait la même signification, et que nos deux théories n'ont en fait aucune différence cognitive.

Il s'agit d'un exemple issu de la biologie, mais qui serait aisément transposable à la physique. Il est bien entendu irréaliste (outre que nous savons déjà que tous les rénifères ne sont pas poilus, nous ne possédons pas aujourd'hui les capacités techniques pour mener à bien les expériences décrites). Mais si, pour les besoins de l'argument, nous passons outre ces aspects ir-

réalistes, nous voyons que deux théories qui diffèrent uniquement par leurs interprétations peuvent parfaitement être départagées empiriquement, et donc, que la vérité ou la fausseté d'une théorie est testable empiriquement, pour peu que l'interprétation des termes théoriques se comprenne en termes de situations concevables, et que ces situations concevables diffèrent dans leurs aspects qui sont accessibles à l'expérience : alors l'empirisme modal est un réalisme.

Cet exemple a le mérite de révéler un autre aspect crucial sur lequel nous nous attarderons plus loin : les termes théoriques qu'on emploie ne sont pas foncièrement indépendants des contraintes de nécessité dans la nature. Découvrir qu'on ne peut créer un rénifère qui n'est pas cordifère nous amène à employer un nouveau terme synthétisant les deux. On voit que le vocabulaire d'une théorie se fixe sur les prédicats projectibles (pour reprendre le vocabulaire de Goodman (1954)) : nous regroupons les situations en fonction de catégories utiles pour prédire. Ou encore, la nécessité analytique, qui nous sert à analyser l'intension des termes théoriques (l'ensemble des situations concevables dans lesquelles un terme s'applique), tendra à refléter la nécessité synthétique, c'est-à-dire les contraintes de nécessité dans la nature. C'est en ce sens qu'on pourra envisager que la signification des termes théoriques (ou plus précisément le choix des conventions linguistiques pertinentes) peut être une question empirique.

Notons que l'argument de cette section, qui montre que la vérité d'une théorie est une affaire empirique, n'est pas parfaitement général. Il peut être généralisé, comme nous le disions, à condition que l'ensemble des termes théoriques impliqués dans notre interprétation puissent entrer en compte dans certaines conditions d'application (si rénifère et cordifère s'appliquaient exactement aux mêmes situations concevables, nous ne pourrions les différencier). Nous n'avons donc aucune raison d'être réaliste à propos d'aspects interprétatifs qui ne feraient aucune différence quant à la manière dont une théorie est confrontée à l'expérience. On peut penser que certaines questions métaphysiques, par exemple, la question de savoir si les points de l'espace-temps existent en tant qu'entités, ne sont pas à prendre en compte dans le réalisme proposé ici. En outre, il faut également qu'une théorie ne possède aucun « surplus de structure » qui ne fasse aucune différence en termes de prédictions.

Autrement dit, le réalisme qu'un empiriste modal est prêt à adopter est sélectif : il concerne uniquement les structures et le vocabulaire d'une théorie ou d'un modèle qui peuvent faire une différence en matière de conditions d'application ou de prédictions, et en particulier, les conditions d'application des modèles relevées au chapitre 4 : les degrés de liberté

correspondant aux propriétés mesurables et conditions initiales, les types de systèmes, leurs propriétés intrinsèques et leurs dynamiques. On peut y voir un réalisme, au sens où il affirmerait que nos théories sont vraies, mais il faut alors adopter une certaine conception pragmatiste de la vérité, et donc de la signification des termes théoriques, réduisant cette dernière à la fixation des conditions d'application et de bonnes prédictions des théories (la composante sémantique du réalisme n'est pas retenue). Or c'est une conception de la vérité et de la signification que certains auteurs jugent incompatibles avec un réalisme (Putnam, 1983; Dummett, 1978). Il s'agit là cependant d'une question terminologique (on pourrait parler, à la suite de Putnam, de « réalisme interne » : voir la section 1.2.4), et si l'on comprend le réalisme comme étant seulement la position suivant laquelle nos théories sont vraies, alors, suivant cette conception de la vérité, l'empirisme modal est un réalisme.

Nous allons examiner, dans la section suivante, les critiques qu'on peut faire à ce type de conception de la signification.

8.2 La signification des termes théoriques

Les considérations de la section précédente nous amènent à adopter une certaine conception de la signification des termes théoriques : si l'on veut être empiriste modal *et* réaliste, la signification doit se comprendre en termes des rapports possibles à l'expérience, puisque les aspects qui relèvent de l'interprétation des termes théoriques ne peuvent être confrontés à l'expérience que tant qu'ils font une différence, au moins possible, dans les conditions d'application et de bonnes prédictions des modèles de la théorie (les degrés de liberté mesurables, les types de systèmes...). Un terme théorique permet de fixer le domaine d'application de la théorie : le terme électron, par exemple, est associé à différentes techniques expérimentales, et l'on peut juger qu'on ne sait appliquer une théorie des électrons que si l'on comprend, au-delà de la structure de la théorie, ce type d'association. De manière plus précise, la signification d'un terme (son contenu intensionnel) pourrait s'élucider en termes des situations concevables auxquelles le terme s'appliquerait, ces situations concevables étant appréhendées comme variations des caractéristiques objectivables des situations actuelles, accessibles dans l'expérience (que celles-ci relèvent de l'intervention ou de l'observation). Puisque ces caractéristiques objectivables sont déterminées de manière pragmatique et contextuelle, nous pourrions associer la signification d'un terme au rôle inférentiel qu'il joue

pour déterminer les conditions d'application et de bonne prédiction des modèles dans lesquels il apparaît (ce type de thèse a été développé notamment par Brandom (1994); Field (1977)).

Une critique qu'on pourrait faire à ce genre de vue est qu'elle semble nous rapprocher d'un opérationnalisme (Bridgman, 1980), proposant de ramener la signification des termes théoriques à des manipulations en laboratoire, à un descriptivisme, qui leur associerait des descriptions en termes des caractéristiques objectivables des situations, ou encore, à un vérificationnisme, qui associerait signification et vérification de manière trop étroite. Ces conceptions de la signification ont été justement critiquées pour différentes raisons (voir la section 1.1.1). Nous revenons dans cette section ces différentes critiques, et proposons qu'un recours aux modalités combiné à une considération des aspects pragmatiques impliqués dans la confrontation expérimentale permet d'y remédier.

8.2.1 Les arguments contre l'opérationnalisme et le vérificationnisme

Faisons d'abord une première remarque : les arguments de la section précédente, qui montrent que l'empirisme peut se concevoir comme un réalisme (non pas au sens sémantique, mais épistémique), sont parfaitement utilisables par un empiriste non modal. Ce dernier peut aussi affirmer que certaines théories, dont uniquement l'interprétation diffère, peuvent avoir des conséquences empiriques différentes. La différence est que l'empiriste non modal, s'il se veut également réaliste, se verra obligé, de manière implausible, d'associer la signification des termes théoriques à leur extension, c'est-à-dire aux situations actuelles auxquelles ces termes s'appliquent, tandis que l'empiriste modal peut étendre cette extension à toutes les situations possibles. Ainsi dans l'illustration précédente, un empiriste factuel devrait d'emblée considérer que rénifère et cordifère ont la même signification puisque les termes s'appliquent aux mêmes créatures dans le monde actuel (puisque'il ne se sentira pas obligé de créer artificiellement les situations qui permettraient de les différencier), ce qui semble contre-intuitif. L'empiriste modal n'a pas ce genre de limitation.

Ceci permet déjà d'éliminer la plupart des critiques envers l'opérationnalisme ou le vérificationnisme, par exemple le fait que les termes dispositionnels comme « soluble » soient difficilement réductibles à leurs manifestations actuelles en raison de leur aspect modal (voir la section 1.1.1). Certes, la solubilité peut ne jamais être manifestée, mais il suffit, pour un empiriste modal, qu'elle puisse l'être pour pouvoir dire d'un composé

qu'il est soluble. D'autres arguments, qui reposent sur l'indispensabilité des termes théoriques pour les inférences visant à étendre des théories à de nouveaux domaines, ne semblent pas applicables non plus : nous avons vu que l'induction sur les modèles permettait de faire ce genre d'inférence (section 6.2.1). L'empiriste modal peut parfaitement concevoir de nouveaux domaines auxquels certains termes théoriques s'appliqueraient.

Nous pouvons également désamorcer les arguments qui portent sur la distinction entre observable et inobservable, cette fois pour une raison qui ne touche pas directement aux modalités. Rappelons que nous concevons l'adéquation empirique en termes d'application et de prédiction, et c'est en ces termes également qu'on pourra élucider, de manière pragmatiste, la signification des termes théoriques. Nous ne proposons pas une interprétation partielle des termes théoriques, ni l'existence de règles de correspondance entre un vocabulaire théorique et un vocabulaire d'observation théoriquement neutre. Les critiques qui touchent au fondationnalisme, comme les critiques d'une distinction entre deux types de vocabulaire, ou de l'idée qu'il y aurait du « donné » (comme celles de Sellars (1956)), ne sont donc pas pertinentes dans notre cadre.

Le fait de se concentrer sur la notion d'application introduit en effet une forte composante pragmatiste : pour savoir qu'un modèle s'applique, un scientifique aura recours à un certain nombre d'inférences contextuelles. Ces inférences seront bien sûr basées sur sa compréhension des termes théoriques impliqués, mais elles en sont pour autant bien distinctes, puisqu'elles dépendront aussi d'éléments du contexte.

Tout ceci s'accorde plutôt bien avec le développement de la pragmatique en philosophie du langage, où l'on considère que les propositions abstraites voient leurs conditions de vérité fixées en contexte, quand les termes indexicaux (comme « je » ou « ici ») acquièrent une référence, et quand certaines inférences dépendant elles aussi du contexte (par exemple des intentions du locuteur) peuvent être utilisées pour déterminer ces conditions de vérité. Sans entrer dans les détails de la pragmatique, on peut citer un exemple. L'énoncé « il y a du café sur la table » sera interprété différemment suivant le contexte : cet énoncé peut signifier qu'il y a une cafetière remplie sur la table, invitant l'interlocuteur à se servir, dans le contexte d'une fin de repas, ou que la table est sale et que du café a été renversé, invitant l'interlocuteur à nettoyer la table dans un autre contexte. L'énoncé « il y a du café sur la table » ne possède pas d'intension en lui-même, de manière abstraite. Sa signification conventionnelle, combinée à diverses connaissances, nous permet d'inférer, à partir d'un contexte, ses conditions de vérité : qu'il y ait du café (au sens précisé par le contexte) sur la table (celle dont on parle, en

contexte). Dans ce cadre, on pourrait voir la signification conventionnelle d'un énoncé, ou des termes qui le composent, sous l'angle de leur fonction linguistique, et en particulier du rôle qu'ils jouent dans les inférences en contexte. Selon la pragmatique radicale (Recanati, 2008), la signification conventionnelle d'un énoncé ne permet pas à elle seule de déterminer ses conditions de vérité de manière systématique.

Ces aspects pragmatiques sont-ils pertinents en science ? On peut le penser : nous avons défendu que les modèles étaient indexicaux, dans le sens où certains aspects du modèle, comme le référentiel (une origine spatio-temporelle et des directions de référence, typiquement les axes x , y et z d'un espace mathématique) se voient associés à des éléments concrets en contexte (une origine et des directions dans le laboratoire). Le référentiel d'un modèle fonctionne donc comme les termes « je » ou « ici » d'un énoncé du langage ordinaire. Il peut en aller de même de certains objets du modèle (un corps solide dans un modèle newtonien) qui sera associé, en contexte, à un objet qu'on désigne directement, à la manière dont « la table » désigne, dans l'exemple précédent, un objet précis du contexte. Quant aux aspects inférentiels, on peut les retrouver dans la façon dont les appareils de mesure sont utilisés en contexte, et dont un expérimentateur détermine qu'un modèle s'applique et s'il fait de bonnes prédictions : les conditions de vérité d'un énoncé comme « le gaz a une température de 100 °C » (qu'on pourrait déduire d'un modèle de la thermodynamique) seront déterminées en fonction des appareils de mesure spécifiques à l'expérience réalisée, sur la base d'inférences contextuelles.

L'opérationnalisme a été critiqué en particulier parce qu'en associant termes théoriques et opération en laboratoire, il amenait à multiplier les concepts théoriques : il y aurait autant de longueur que de moyen de mesurer une longueur (une « longueur-sonar », etc.) et ce type de vue nous fait perdre la systématisme des termes théoriques. Pour notre part, nous reléguons ces aspects, qui concernent les moyens de mesure, à une question d'inférence contextuelle, qui peut en partie être basée sur des théories, mais qui n'est en aucun cas une élucidation de la signification des termes théoriques. Les termes théoriques contraignent ces inférences, mais ne les déterminent pas à eux seuls. Leur signification serait plutôt à comprendre en termes de fonction au moment de l'application des modèles d'une théorie à l'expérience.

Nous pouvons donc répondre à la plupart des arguments à l'égard du vérificationnisme ou de l'opérationnalisme. Le simple fait de s'engager envers l'existence de modalités naturelles, combiné à un rejet du fondationnalisme, ouvre nos perspectives et permet d'éviter différents travers de

l'approche plus limitée des empiristes logiques, tout en conservant l'idée que la signification des termes théoriques doit se comprendre en rapport à l'expérience uniquement. Les empiristes logiques pensaient que toute nécessité doit être a priori. Finalement il se pourrait que l'engagement envers les modalités naturelles soit l'ingrédient manquant à ce type de projet.

Il reste cependant certains arguments que nous n'avons pas abordé, dirigés envers le descriptivisme et formulés notamment par Kripke et Putnam, et qui touchent au changement théorique. Ne pourrait-on envisager que les conditions d'application des termes théoriques évoluent avec nos théories? Dans ce cas, leur signification a-t-elle changé?

8.2.2 *Pragmatisme et changement théorique*

Selon la théorie causale de la référence (voir la section 1.2.2), les termes d'une théorie feraient référence à des individus abstraits, des propriétés dans le monde, dont les caractéristiques ne dépendent pas des manifestations contingentes de cette propriété, et cette référence serait transmise causalement par les locuteurs. On pourrait alors assimiler les caractéristiques objectives des situations qui nous font reconnaître qu'un terme s'applique à ces manifestations superficielles : celles-ci nous permettent de fixer la référence des termes (de manière faillible), mais elles ne constituent pas le contenu sémantique de ces termes. La théorie causale de la référence appliquée aux classes naturelles, introduite par Kripke et Putnam, est habituellement associée à un essentialisme. En effet, elle s'accompagne pour ces auteurs d'un phénomène de rigidité de la référence : un terme fait référence à la même propriété dans tous les mondes possibles (au sens d'une possibilité métaphysique).

Ce type de réalisme semble a priori difficilement compatible avec un empirisme, même modal : on peut se demander ce qui, dans l'expérience, nous permettrait de savoir que les propriétés auxquelles nous prétendons faire référence existent réellement dans le monde, indépendamment de nous. Certes, nous avons défendu que les modalités ne sont pas sous-déterminées par l'expérience, mais nous parlions de modalités physiques et non métaphysiques : si les premières peuvent s'analyser en termes de situations possibles dans le monde, on sera plutôt tenté d'analyser les secondes en termes de mondes possibles, et les arguments empiristes traditionnels à l'encontre des modalités s'y appliqueront : nous ne disposons d'aucun moyen d'explorer les autres mondes possibles.

Ceci dit, la théorie causale de la référence est une thèse sémantique,

et non métaphysique, et on peut l'adopter sans être réaliste, en y voyant une thèse sur la façon dont nous utilisons le langage⁶. Mais elle s'appuie sur des arguments qu'on pourrait employer à l'encontre de l'idée que la signification des termes théoriques devrait être élucidée en termes d'expérience possible, ou des conditions d'application et de bonnes prédictions des modèles.

Rappelons que Kripke propose, contre le descriptivisme, un argument modal et un argument épistémique qui ont à peu près la même forme. L'argument consiste à montrer qu'il est épistémiquement concevable et qu'il semble métaphysiquement possible qu'un terme de sorte ne possède pas les descriptions qu'on lui associe dans nos représentations (l'or pourrait ne pas être jaune, si les lois physiques étaient différentes, ou si nous découvriions qu'il s'agit d'une illusion d'optique). Ainsi le terme « or » ferait référence à l'entité qui cause les manifestations qu'on lui connaît plutôt qu'à l'ensemble de ces manifestations.

Ces arguments pourraient s'appliquer à la conception de la signification que nous proposons : ne peut-on découvrir, ou concevoir que la façon dont on applique nos théories à l'expérience est incorrecte ? Ne peut-on réviser les conditions d'application des théories sans pour autant réviser la signification des termes employés ?

Notons que l'argument modal ne se différencie de l'argument épistémique que dans la mesure où l'on conçoit que les lois physiques sont métaphysiquement contingentes : nous devons imaginer un monde possible où ces lois sont différentes, et où, de ce fait, les manifestations des propriétés physiques ne correspondent plus à la manière dont nous les détectons. En effet, si ce n'était pas les lois physiques, mais des faits contingents qui impliquaient qu'une même propriété physique se manifeste de manière différente dans cet autre monde possible (l'or n'y serait pas jaune parce que l'atmosphère aurait une composition particulière, mais les lois physiques seraient les mêmes), alors il serait épistémiquement possible que ces circonstances factuelles soient exemplifiées quelque part dans l'univers (on pourrait créer une atmosphère particulière en laboratoire), et alors nous pourrions le découvrir : l'argument modal se ramène dans ce cas à l'argument épistémique.

Pour obtenir un argument modal distinct, il faudrait donc envisager un monde métaphysiquement possible dans lequel les lois physiques sont différentes. Mais ce type de considérations nous rend suspicieux : parvenir

6. Van Fraassen propose par exemple de différencier le fait d'accepter une théorie, ce qui inclut un usage linguistique, et le fait de la croire vraie.

à concevoir une telle chose nous demande au préalable de concevoir les propriétés physiques comme existant dans le monde indépendamment des lois, et indépendamment de nous. C'est donc déjà présupposer une certaine forme de réalisme essentialiste à propos des propriétés. En outre, si en tant qu'empiriste on entend se prémunir de l'inflation métaphysique, on peut suspecter que ces mondes possibles n'existent que dans notre imagination, et que la notion de nécessité métaphysique est douteuse en elle-même (c'est bien, entre autre, pour éviter d'avoir recours aux mondes possibles que nous avons proposé d'analyser les modalités physiques en termes de situations possibles). Certains auteurs proposent de la réduire à une modalité conceptuelle : la nécessité métaphysique se ramènerait à un choix de conventions concernant l'usage de certaines notions comme l'identité (Sidelle, 2009). Dans ce cas, de nouveau, l'argument modal se ramène à un argument épistémique : la question est de savoir s'il est épistémiquement concevable que les propriétés physiques n'aient pas les manifestations qu'on leur connaît.

L'argument épistémique, quant à lui, peut être justifié par l'histoire des sciences, comme dans le cas des acides employé par Putnam (voir la section 1.2.2), et il est donc plus pertinent à notre égard. Cependant, nous pensons que l'empiriste modal dispose des ressources pour y répondre : partant du principe que nos théories sont modalement adéquates, il est inconcevable que les conditions d'application de nos termes théoriques, c'est-à-dire le rôle inférentiel joué par ses termes pour l'application d'une théorie à l'expérience, soient différentes d'une théorie à l'autre. Pour autant, il reste concevable que nos théories ne soient pas modalement adéquates, et donc, nous devons tempérer quelque peu notre conception de la signification.

En effet, l'argument nous demande d'envisager que les conditions d'application d'un terme théorique évoluent à la lumière de nouvelles connaissances : par exemple d'une nouvelle théorie. Il est clair qu'une théorie peut être utilisée au moment de s'assurer de ses propres conditions d'application : une compréhension du fonctionnement d'un thermomètre repose sur la thermodynamique, et la théorie de Newton doit être employée pour déterminer les valeurs de masse ou de force qu'on attribuera aux objets du monde (nous devons observer la trajectoire des planètes pour estimer la masse du soleil, en utilisant donc la théorie de Newton). Si donc la théorie est révisée, les conditions d'application de ses termes théoriques seront révisées également : la masse qu'attribuera la théorie de la relativité à différents corps pourra être différente de celle qu'attribuerait la théorie de Newton, même si le contexte expérimental est exactement le même.

Cependant, selon l'empirisme modal, nous devons croire que nos théo-

ries sont modalement adéquates, au moins en approximation, au sein d'un domaine d'application suffisamment large. Si l'on accepte que nos théories sont modalement adéquates, alors il est inconcevable que les conditions d'application des termes théoriques au sein d'un certain domaine soient révisées de manière drastique. Découvrir que la masse que nous attribuons n'est pas la bonne dans certaines situations revient en effet à découvrir que notre ancienne théorie, que l'on utilisait pour attribuer cette masse, n'est pas modalement adéquate : si la masse que nous attribuons au soleil était incorrecte, la théorie de Newton ne ferait pas de bonnes prédictions. Mais en général, une nouvelle théorie ne remet pas en cause l'adéquation empirique d'une ancienne théorie dans un domaine d'expérience pour lequel elle a fait ses preuves : de fait, la masse du soleil n'a pas été révisée drastiquement quand on est passé à la théorie de la relativité. Il n'est donc pas concevable de réviser drastiquement les conditions d'application de nos théories dans leur domaine si celles-ci sont empiriquement adéquates. Ceci ne signifie pas pour autant que nous devrions ériger la masse en classe naturelle, mais seulement que le terme de masse est associé à des pratiques expérimentales stables dans notre contexte épistémique.

Le problème de cette réponse est que l'adéquation modale de nos théories n'a rien d'analytique, si bien qu'on peut difficilement s'appuyer dessus pour justifier de l'inconcevabilité de revoir les conditions d'application des termes théoriques. En conséquence, nous ne devrions pas penser que l'association entre conditions d'application et signification est véritablement analytique, au sens où elle ne serait qu'une élucidation a priori de la signification des termes théoriques.

L'argument épistémique de Kripke et Putnam n'est finalement qu'une version du problème du changement théorique. Or nous avons vu section 6.2.2 que ce problème pouvait toucher en moindre mesure l'empirisme modal. L'application de nos théories éprouvées à de nouveaux domaines peut échouer. Ceci pourra donner lieu à de nouveaux ajustements qui toucheront éventuellement la manière dont les théories sont appliquées à l'expérience. Cependant les changements s'accompagnent d'une certaine continuité, sinon dans la forme de nos théories, au moins dans les pratiques expérimentales : nous pouvons toujours utiliser les mêmes instruments de mesure, précisément parce que l'ancienne théorie est toujours empiriquement adéquate dans un domaine suffisamment large.

Remarquons à ce titre que les pratiques expérimentales survivent généralement aux théories : on peut toujours utiliser les mêmes outils pour mesurer la position ou la vitesse, que ce soit dans le cadre de la théorie de Newton ou dans le cadre de la relativité. On peut utiliser des chambres

à bulle pour mettre en évidence certaines particules indépendamment de notre théorie des particules. Il suffit en effet que nos théories soient empiriquement adéquates pour que ces moyens de mesure soient fiables : il est possible d'utiliser un thermomètre pour mesurer la température, s'appuyant sur la thermodynamique classique pour relier la position de la surface du liquide dans le thermomètre à la température au moment de construire le thermomètre, sans avoir recours pour autant à la physique statistique. Si les techniques évoluent, on s'assure généralement de la cohérence de nos différents modes d'accès aux propriétés mesurables. C'est cette continuité qui nous fait conserver les mêmes termes.

Il reste cependant concevable, en principe, que nos théories s'avèrent radicalement inadéquates. Il se peut que demain les planètes cessent brutalement de suivre les lois de Newton pour une raison inconnue. Mais si le cas se présentait, il est probable que nous n'aurions d'autre choix que d'abandonner tous les termes théoriques que nous utilisions jusqu'ici : il n'y aurait simplement plus de sens à parler de masse et de force dans ce contexte. Puisque la théorie est impliquée au moment même de son application, l'utilisation pratique du vocabulaire d'une théorie présuppose son adéquation empirique, et si certains ajustements sont concevables, il est inconcevable que les conditions d'application d'un terme théorique changent de manière drastique, puisque si c'était le cas, le vocabulaire ne s'appliquerait simplement plus.

Selon nous, ceci n'est que la marque du fait que, comme l'observait Quine, il n'existe pas de notion d'analyticité stricte. L'argument de Quine visait à établir que cette notion d'analyticité est en fait étroitement liée aux thèses réductionnistes qu'entretenaient les empiristes logiques. Si tel est le cas, le rejet du fondationnalisme s'accompagne d'un rejet de la notion d'analyticité au sens strict, et c'est une chose que nous sommes prêts à accepter. Pour autant, le fait que nos définitions, ou notre usage linguistique peuvent évoluer à la lumière de nouvelles expériences ne remet pas en cause l'idée que ces usages disposent d'une certaine robustesse qui leur permet de réguler notre expérience. Cette robustesse est une marque d'« analyticité relative ».

On peut, à l'instar de LaPorte (2004) (voir la section 1.2.2), envisager que la signification des termes change en effet lors des changements théoriques, mais allant en se précisant, et que le fait ou non de garder le même terme quand on change nos croyances associées est avant tout une affaire pragmatique. Pour notre part, nous sommes prêts à accepter qu'il n'existe pas de distinction analytique/synthétique bien tranchée, et qu'un changement théorique peut s'accompagner d'une révision systématique des conditions

d'application des termes, donc de leur signification. Ces conditions d'application sont seulement relativement robustes au changement théorique, dans la mesure où il existe une continuité applicative : c'est d'ailleurs cette continuité qui nous fera conserver, de manière pragmatique, le même terme d'une théorie à l'autre. Autrement dit, la signification des termes est aussi une affaire empirique, et elle peut être ajustée à la lumière de nouvelles théories.

Ceci dit, l'empirisme modal permet de rendre justice aux arguments de Kripke et Putnam. En effet, les termes théoriques auront tendance à se fixer sur des prédicats auxquels il est possible d'attribuer des relations de nécessité. L'exemple des cordifères et des rénifères de la section précédente en est une illustration. De fait, les exemples de Kripke (en particulier, celui de l'or et celui de l'eau) indiquent selon lui l'existence d'une nécessité a posteriori, et c'est bien entendu quelque chose qu'un empiriste modal sera prêt à accepter. Quine (1951) remarquait également le lien de parenté qui existe entre la notion d'intension et celle d'essence. Ainsi le discours pragmatiste pourra ressembler, superficiellement, au discours essentialiste, attribuant des propriétés possédées nécessairement par des objets du monde, celles-ci constituant l'intension des termes correspondant.

La différence tient à ce que, pour l'empiriste modal, cette nécessité n'est pas métaphysique, mais physique. Un terme théorique voit sa signification stabilisée quand il intervient dans des rapports de nécessité physique postulés par la théorie : nous pourrions dire qu'il est projectible. Au stade pré-théorique, nous pouvons associer à un terme comme « eau » certains rapports de nécessité, ou certaines dispositions (la transparence ou la liquidité peuvent s'interpréter en termes dispositionnels), et ces rapports sont simplement affinés au cours des changements théoriques. Nous pouvons découvrir que l'eau ne possède pas toujours ces dispositions (par exemple, qu'elle n'est plus transparente dans certaines conditions particulières), et adopter une conception de l'eau plus facilement généralisable à de nouveaux contextes, mais nous aurions pu aussi bien changer de termes si les changements étaient trop drastiques (réservant le terme « eau » pour l'état transparent de cette nouvelle substance⁷). Une continuité dans les conditions d'application est au moins requise si nous voulons pouvoir affirmer que nous parlons toujours « de la même chose ». Ceci, selon nous, est une question essentiellement pragmatique.

7. On se rappellera à ce titre de l'expérience de pensée proposée par LaPorte (2004) à propos de l'eau lourde (section 1.2.2).

8.2.3 *L'analyticité des conditions d'application*

Pour terminer, faisons quelques remarques sur le fait que l'association entre un terme théorique et certaines conditions d'application et de bonnes prédictions peut être considérée comme, en un certain sens, analytique (avec les quelques bémols qui découlent des remarques précédentes).

Nous pourrions à ce titre invoquer les critères d'analyticité de Kant, qui a introduit la notion :

- la négation d'un énoncé analytique est absurde. En effet, si nous étions prêts à nier le bien-fondé de notre association entre termes théoriques et conditions d'application, la théorie perdrait tout contact avec la réalité et notre expérience ne pourrait faire autorité sur les théories. Ce n'est pas l'expérience qui nous apprend qu'un terme théorique s'applique dans un certain type de situations : il s'agit plutôt de notre point de départ pour mener à bien des expériences.
- le contenu du prédicat est contenu dans le concept du sujet. En effet, une situation que nous décrivons comme une situation où la température est de 100 °C est une situation où la température est de 100 °C : nous ne disposons d'autres ressources linguistiques pour décrire cette situation.

Pour élaborer quelque peu le premier point, notons qu'il est possible de réviser un rapport d'observation quand il contredit une théorie bien établie. Ce fut le cas de l'expérience OPERA au cours de laquelle des neutrinos ont été mesurés comme ayant une vitesse supérieure à celle de la lumière. Ce résultat, qui contredit la théorie de la relativité, a donné lieu à une enquête approfondie, et a finalement été rejeté sur la base d'éléments techniques jugés défailants. Cependant l'enquête a porté sur la fiabilité de nos mesures, et sur des aspects contextuels, propres à la situation particulière : il s'agissait donc de déterminer les aspects contextuels pertinents sur la base desquels nous effectuons nos inférences plutôt que de remettre en question nos règles d'inférence elles-mêmes. Le résultat de cette enquête nous a appris que ce n'est pas réellement la vitesse des neutrinos que nous mesurons : non pas parce que la façon dont les scientifiques ont tenté de mesurer cette vitesse était en principe incorrecte, ou n'était pas une bonne façon de mesurer la vitesse d'une particule, mais parce qu'elle n'était pas réalisée correctement.

Seul un changement théorique peut nous amener à revoir notre association entre termes théoriques et conditions d'application de manière systématique. Ceci nous amène à tempérer l'idée que celles-ci sont véritablement analytiques. Mais nous avons remarqué que les techniques

expérimentales survivent généralement aux changements théoriques, et selon nous, c'est bien cette continuité qui nous fait conserver les mêmes termes de manière pragmatique.

Pour élaborer le second point concernant nos ressources linguistiques : un expérimentateur pourra bien sûr utiliser des paraphrases en langage naturel pour décrire une situation à laquelle un terme théorique s'applique (le terme s'applique parce que ce gros appareil est branché de telle façon), mais il s'agira bien de ceci : une paraphrase, c'est-à-dire une tentative sans doute incomplète et sans doute contextuelle d'élucider le vocabulaire théorique en termes non théoriques. Les critiques de l'opérationnalisme indiquent qu'une utilisation exhaustive de ce type de paraphrase serait certainement vouée à l'échec. La bonne façon de parler de cette situation (si l'on sait qu'un modèle s'y applique) est donc d'utiliser le vocabulaire théorique, si bien que dire d'une situation à laquelle un modèle d'électron s'applique qu'il s'agit d'un électron est une simple tautologie : le prédicat est contenu dans le sujet. Il est légitime de penser que l'acquisition d'une compétence expérimentale pour savoir qu'un modèle s'applique s'accompagnera nécessairement de l'acquisition d'une compétence linguistique, et qu'un expérimentateur qui sait appliquer les modèles d'électron (ce qui requiert aussi des connaissances théoriques) n'a rien de plus à apprendre sur ce qu'est un électron.

De manière plus générale, l'analyticité indique que les conditions de vérité d'un énoncé dépendent uniquement de sa signification. Nous souhaitons remarquer que si l'on comprend, suivant certains auteurs (comme Wittgenstein ou Austin), la signification comme ayant à voir avec l'usage des termes, il semble en effet que les conditions d'application des modèles relèvent de leur signification : elles concernent l'usage pratique qui est fait des modèles théoriques. Ainsi, les définitions du dictionnaire visent à expliciter a posteriori l'usage qui est fait des termes dans le langage ordinaire. Ici, de même, on pourrait définir le terme « électron » en explicitant les domaines d'expérience auxquels il s'applique (en ayant éventuellement recours à d'autres termes théoriques, ou à des termes du langage naturel), c'est-à-dire en explicitant l'usage qui est fait de ce terme, à la manière dont un expérimentateur pourrait tenter d'expliquer en langage naturel ce qui lui fait penser qu'il a bien affaire à un électron. Nous proposons qu'un terme comme « électron » vise avant tout à spécifier un domaine d'application pour la théorie qui emploie ce terme, de par le rôle inférentiel qu'il joue lors de la confrontation à l'expérience. Selon cette thèse, si l'on peut associer certaines descriptions théoriques à l'électron, comme le fait d'avoir une charge négative, et qu'on peut penser intuitivement que cette

association est également analytique, ce serait uniquement dans la mesure où les conditions d'application de « charge électrique négative » coïncident systématiquement avec les conditions d'application de « électron », ou dans la mesure où ces aspects théoriques sont généralement impliqués au moment de vérifier les bonnes conditions d'application de nos modèles comportant des électrons.

Quoi qu'il en soit, même si l'on n'est pas convaincu qu'il s'agit là de la bonne façon d'analyser le langage tel qu'il est utilisé par les scientifiques, nous ne souhaitons pas ici défendre plus avant une thèse de philosophie du langage : il suffira, pour notre propos, de remarquer que la théorie sémantique que nous proposons permet de rendre l'empirisme modal compatible avec un réalisme. Ainsi selon nous, s'il s'avérait que la théorie causale de la référence était la bonne théorie sémantique, il faudrait en conclure que le langage est inadapté à nos capacités épistémiques, et qu'il nous amène à postuler plus que ce que nous sommes en position de connaître.

8.3 La nature des propriétés physiques

On voit que l'empirisme modal peut être conçu comme un réalisme, pour peu qu'on adopte une certaine conception de la signification : si la signification des termes théoriques est à analyser à travers le rôle qu'ils jouent dans l'application des théories à l'expérience, au moment de s'assurer de la bonne applicabilité et des prédictions des modèles, alors nous pouvons fort bien affirmer qu'une théorie est vraie si et seulement si elle est modalement adéquate. Nous pouvons répondre, à partir de cette conception, aux différents arguments contre l'opérationnalisme, le vérificationnisme, ou le descriptivisme, en tenant compte du caractère à la fois pragmatique et modal de l'application de nos théories à l'expérience.

Dans cette section, nous souhaitons tirer les conclusions de cette approche quant au statut des propriétés physiques qu'emploient nos théories. Remarquons que si l'empirisme modal est un réalisme en ce sens, alors nous pouvons très bien interpréter littéralement le discours scientifique, exactement à la manière dont le ferait un réaliste (y compris quand on emploie une théorie qui a été remplacée par une autre, comme la mécanique de Newton, toujours utilisée en pratique). Il n'existe aucune différence superficielle entre le discours d'un empiriste modal et celui d'un réaliste : l'empiriste modal peut parler d'électrons et de molécules exactement de la même façon. Les seules différences détectables viendront si l'on presse l'un ou l'autre de se prononcer sur des questions d'ordre sémantique ou

métaphysique. Ce sont ces différences que nous allons examiner ici.

8.3.1 *Projectibilité et relativité épistémique*

Nous pouvons commencer par mettre en avant ce qu'il y a de commun entre l'approche pragmatiste que nous proposons ici et les approches plus réalistes. L'un des points communs est que tous les prédicats théoriques ne se valent pas : certains sont projectibles, d'autres non. Ici, « projectible » signifie pour nous simplement qu'il est possible d'attribuer à ces catégories des relations de nécessité, justifiables de manière inductive.

En effet, dans notre approche, les termes théoriques et le formalisme d'une théorie visent à « découper » les situations concevables sur la base des caractéristiques objectivables qui peuvent entrer en compte dans les conditions d'application des modèles d'une théorie. C'est en particulier le rôle que pourront jouer les espaces de phase (nous nous attarderons sur ces structures dans le chapitre suivant) : ils permettraient de dessiner une carte des possibilités logiques, c'est-à-dire des situations concevables pour la théorie. Les lois de la théorie viennent ensuite restreindre ces situations concevables aux seules situations possibles pour la théorie. On voit que l'adéquation empirique modale d'une théorie repose sur deux aspects : d'une part, sur le fait que ses prédicats « découpent correctement » le monde (même si ce découpage est relatif à notre position épistémique), d'autre part sur le fait que ses lois soient correctes.

Ceci est plus ou moins lié à nos remarques de la section 6.1.1 sur l'induction : à l'instar de l'induction traditionnelle qui nous demande de postuler que le monde est régulier, effectuer une induction sur les modèles nous demande de postuler que le monde est structuré, et l'induction consiste à se demander : quelle est la bonne structure ? L'expérience peut nous permettre de confirmer qu'une théorie « découpe correctement » le monde, qu'il s'agit de la bonne structure, en ce sens qu'elle reste applicable et prédictive quand elle est étendue à de nouveaux domaines par l'intermédiaire de nouveaux modèles : ses prédicats sont projectibles.

La caractéristique du réalisme essentialiste est qu'il cherchera à expliquer ce fait en ayant recours à des propriétés naturelles qui ne dépendraient pas de notre position épistémique. Pour notre part, nous ne considérons pas qu'il est besoin d'explications au fait qu'un prédicat est projectible, et nous ne pensons pas que le fait qu'un prédicat soit projectible depuis notre position épistémique puisse nous renseigner sur le fait qu'il correspondrait à quelque chose d'absolu qui ne dépend pas de cette position. Rien ne nous oblige à ériger les propriétés correspondantes en classes naturelles.

Celles-ci peuvent ne pas être des propriétés fondamentales de la réalité. Elles peuvent être multiples réalisables. Il peut s'agir de regroupements approximatifs, valables localement, mais qui échoueront à être étendus à de nouveaux domaines. Enfin et surtout, elles peuvent être relatives à nos capacités cognitives, à notre situation épistémique, et aux caractéristiques objectivables qui nous permettent de les appréhender.

Une nouvelle théorie pourra relativiser les propriétés de l'ancienne à un domaine particulier, transformant une propriété monadique en propriété relationnelle. C'est le cas par exemple de la mesure des durées ou des masses, qui devient relative au référentiel avec la théorie de la relativité. Ceci indique que les propriétés qu'une théorie semble intuitivement concevoir comme des propriétés fondamentales peuvent, quand une nouvelle théorie vient élargir le domaine d'application des sciences, s'avérer être relatives à notre situation épistémique particulière (dans le cas de la relativité, au fait que nous nous trouvons habituellement dans un espace sans courbure, mais de la même façon, on peut concevoir que la vitesse est une propriété absolue dans le cadre d'un géocentrisme, pour ensuite en faire une propriété relative). Pour cette raison, il est préférable de concevoir d'emblée que l'ensemble des propriétés des théories sont relatives à notre situation épistémique plutôt qu'elles ne feraient référence à des propriétés naturelles. Il s'agit encore, dans un esprit pragmatiste, de penser que la référence dépend du contexte. Seul un raisonnement abductif nous enjoindrait à faire de ces propriétés des propriétés naturelles, mais alors, nous risquerions de devoir les abandonner suite à un changement théorique.

Pour autant, il reste vrai que ces catégories respectent certaines contraintes de nécessité dans la nature, au moins dans un certain domaine d'application. Nous pouvons, sur leur base, avoir certaines attentes vis-à-vis d'expériences possibles, et selon l'empirisme modal, ces attentes, bien que relatives à notre position épistémique, sont justifiées. En tant que regroupements conventionnels, mais utiles, il est légitime de penser que ces catégories sont et resteront pertinentes même après un changement théorique.

On peut y voir une manière de rénover le conventionnalisme de Poincaré. Pour Poincaré, la manière dont on exprime une théorie dépend de certaines conventions, mais ces conventions ne sont pas entièrement arbitraires : il s'agit de conventions utiles. Ici, on voit clairement en quoi certaines conventions peuvent être utiles : nous regroupons, par notre vocabulaire, certaines situations, les classifiant en « types », sur la base de caractéristiques objectivables de ces situations. Le choix des caractéristiques pertinentes peut revêtir un aspect arbitraire (nous pourrions classer les animaux domestiques en fonction de leur pelage, regroupant les chats

et chien noirs dans une même catégorie). Mais tous les choix ne se valent pas, car certains regroupements nous permettent d'exprimer des relations de nécessité, et d'autres non.

La différence avec un réalisme essentialiste est donc que nous ne souhaitons pas postuler que nos termes théoriques font référence à des classes naturelles qui nous sont indépendantes. Ces catégories pourraient n'être que relative à un domaine d'expérience et dépendre conceptuellement de notre situation épistémique particulière ou de nos capacités cognitives. Cette relativité conceptuelle est la marque d'un pragmatisme. Pour autant, nous ne sommes pas idéalistes, et nous pouvons affirmer qu'il s'agit bien de propriétés qui existent indépendamment de nous, en ce sens qu'il n'est pas nécessaire de procéder à leur observation pour qu'elles existent : le *type* auxquelles elles appartiennent dépend conceptuellement de nous, mais les *instances* de ces propriétés dans le monde nous sont indépendantes. Il s'agit, en somme, d'être nominaliste à propos de ces propriétés.

On pourra penser ces propriétés théoriques par analogie avec les couleurs : nous avons de bonnes raisons de penser que la façon dont nous classons les couleurs est relative à notre situation épistémique, et en particulier aux organes sensoriels de personnes normalement constituées. Du point de vue de nos théories optiques, une couleur particulière comme le jaune peut être réalisée de multiples façons (soit par une onde monochromatique, soit par un mélange de rouge et de vert), qui ont pour seul point commun d'exciter nos organes récepteurs de la même façon. En outre, certaines illusions d'optique attestent que la manière dont nous attribuons des couleurs aux objets du monde est contextuelle : une même onde lumineuse donnera lieu à la perception de couleurs différentes si elle provient d'une zone que nous interprétons comme une zone d'ombre ou non. La « véritable » couleur d'un objet peut être objet d'inférence et de discussions (on pourra affirmer « cet objet n'est pas bleu, c'est l'éclairage qui donne cette impression »). Enfin des couleurs sont attribuées aux objets même quand ceux-ci ne sont observés par personne : une écharpe rouge reste une écharpe rouge même dans un tiroir fermé, pour peu qu'on puisse le constater en ouvrant le tiroir.

La thèse que nous proposons consiste à concevoir le vocabulaire théorique exactement de la même façon : la référence des termes peut être relative à notre communauté épistémique, à nos capacités de détection, elle peut être réalisée de manière multiple (à la lumière d'une nouvelle théorie), les termes théoriques peuvent être attribués aux situations du monde de manière contextuelle, à la suite d'inférences, et pourtant, cette attribution reste objective et consensuelle, et peut avoir lieu en l'absence

d'observations effectives. C'est bien, après tout, une conséquence du rejet du fondationnalisme que de considérer que les propriétés théoriques détectables ne se distinguent pas foncièrement des propriétés directement observables, si bien qu'il n'y a aucune raison de les traiter différemment des couleurs.

8.3.2 *La distinction analytique / synthétique*

Si les théories modalement adéquates fixeront leur vocabulaire sur des prédicats projectibles, il y a un sens suivant lequel modalités analytiques, associées à la signification, et synthétiques, aux relations de nécessité dans le monde, sont assez étroitement liées. On peut y voir une conséquence de l'absence de distinction entre énoncé analytique et synthétique suggérée par Quine : si vraiment il n'existe pas de telle distinction, alors il n'existe pas non plus de distinction entre un énoncé modal qui exprimerait une nécessité analytique et un énoncé modal qui exprimerait une nécessité synthétique. En effet, Quine (1951) remarquait que la notion de synonymie, qu'on pourrait penser éclairer l'analyticité, reposait implicitement sur la notion de nécessité : si A et B sont synonymes, on peut substituer $A = B$ à $A = A$, et l'identité étant nécessaire, on voit que la synonymie doit l'être aussi. Quine remarquait alors que l'idée de nécessité nous ramenait à celle d'analyticité, si bien que la synonymie ne nous aidait pas le moins du monde à éclairer cette notion d'analyticité, puisqu'elle en dépendait circulairement. Or, selon lui, la notion d'analyticité reste confuse, entre autre pour les raisons suivantes : les définitions du dictionnaire ne précède pas l'usage linguistique ; même si l'on comprend parfaitement la signification de termes comme « vert » et « étendu », l'idée d'un rapport analytique entre les deux ne semble pas évidente ; la distinction entre règle sémantique et postulat dans la formulation d'une théorie semble arbitraire, tout comme le fait de réviser les uns ou les autres face à un échec expérimental.

Quine contrairement à nous, n'adhérait pas à la notion de nécessité, mais nous appropriant ces arguments, nous pourrions dire que la synonymie, et la nécessité qui lui est associée, peut être l'objet d'une découverte empirique : l'exemple proposé plus haut des rénifères et des cordifères, que nous pourrions découvrir être des termes interchangeables en vertu d'une contrainte de nécessité dans la nature, en est une illustration.

De manière plus générale, nous avons vu que la manière dont les conditions d'application des termes théoriques peuvent être révisées ou affinées à la lumière de nouvelles théories (ce qui fait directement écho à l'absence de distinction franche entre règle sémantique et postulat théorique chez Quine,

puisque nous assimilons les règles sémantiques aux conditions d'application des termes théoriques) implique que la signification des termes théoriques est en partie déterminée empiriquement : nos définitions viennent en quelque sorte se caler sur la nécessité physique. Les conventions linguistiques que nous adoptons sont des conventions utiles, des conventions qui fonctionnent, parce qu'elles correspondent aux contraintes de nécessité dans la nature, et si une théorie s'avérait ne pas être modalement adéquate, il nous faudrait abandonner les termes théoriques qu'elle utilise.

De manière formelle, on peut comprendre ceci de la manière suivante : le contenu intensionnel d'une théorie peut être exprimé comme l'ensemble des modèles de la théorie, et si la théorie est modalement adéquate et complète (au sens précisé dans la première section), alors ce contenu intensionnel correspond exactement aux situations physiquement possibles du monde, décrites par le vocabulaire de la théorie. Dans ce cadre, nous pourrions envisager, comme il a été proposé par certains auteurs, que les axiomes d'une théorie jouent le rôle de définitions implicites (approximatives et partielles) du vocabulaire théorique, c'est-à-dire que ces axiomes rendent explicite les rapports de nécessité analytique entre les différents termes, à la manière dont « les célibataires ne sont pas mariés » rend explicite une relation de nécessité analytique entre les termes « célibataire » et « marié ». Si la bonne application d'un modèle dépend essentiellement de la signification des termes théoriques que le modèle comporte (associé à des éléments du contexte), et si la théorie elle-même est employée au moment de s'assurer de cette bonne application, alors il est naturel de penser que la théorie est impliquée dans la signification de ces termes.

Pour prendre un exemple, un terme comme « masse » (ou une valeur précise de masse) vise à préciser un certain domaine d'application, auquel on associera, en contexte, différents moyens d'accès possibles à cette propriété. Or ces moyens d'accès possibles présument de l'adéquation empirique de nos lois physiques (on utilisera une trajectoire pour estimer une masse, tenant compte des lois de la théorie). Donc si le contenu sémantique de « masse » doit se ramener à des conditions d'application uniquement, celui-ci n'est pas pour autant indépendant de la structure de la théorie. Bien entendu, le contenu structural de la théorie ne peut à lui seul fixer le domaine d'application de ses termes, mais il pourrait au moins exprimer les relations sémantiques que les différents termes entretiennent entre eux ⁸.

8. On pourrait envisager que certaines d'entre elles, comme la position, sont en rapport plus étroit à l'expérience et que d'autres, comme la masse, sont dérivées, mais nous ne souhaitons pas ici en faire une généralité : rien n'exclut en principe d'estimer une position à partir d'une masse déjà connue par exemple.

Pour autant, il n'est pas nécessaire de penser que les lois de la théorie sont des définitions strictes des termes théoriques, ou de leurs relations sémantiques. Le passage d'une théorie à l'autre, comme le passage de la thermodynamique à la physique statistique, ne modifie généralement pas les conditions d'application des modèles : on continuera d'utiliser les mêmes instruments pour mesurer la position, la masse ou la température même après un changement théorique. Le fait d'attribuer une certaine valeur de masse dans une situation en utilisant la théorie de Newton nous demande seulement de croire que cette théorie est empiriquement adéquate, puisqu'on pourrait aussi bien utiliser une autre théorie également empiriquement adéquate, comme la théorie de la relativité, obtenant des résultats similaires (au moins dans les domaines où la théorie de Newton est empiriquement adéquate). La théorie de Newton nous permet juste de déterminer avec suffisamment de précision la valeur de cette masse, si bien que les axiomes de la théorie ne devraient pas être conçus comme des définitions strictes et immuables du vocabulaire de la théorie. C'est en ce sens que nos définitions peuvent être l'objet d'un ajustement empirique, mais aussi que la signification des termes est plus robuste que la théorie, donc « plus analytique » que les postulats théoriques, puisqu'on s'attendra à une certaine continuité lors des changements théoriques.

L'idée que les axiomes d'une théorie seraient des définitions implicites des termes théoriques est entretenue notamment par les dispositionnalistes, qui voient dans ces axiomes la description de l'essence de propriétés physiques. Il s'agit donc chez eux d'assimiler nécessité physique et métaphysique : il n'existe pas de monde métaphysiquement possible dans lequel une propriété donnée n'entrerait pas dans les mêmes lois physiques, puisque ces lois ne sont que l'explicitation de la nature de ces propriétés. Étant pour notre part suspicieux à l'égard de la nécessité métaphysique, nous y voyons plutôt une manière d'assimiler nécessité physique et *épistémique* : il n'existe pas de monde *concevable* dans lequel une propriété donnée n'entrerait pas dans les mêmes lois physiques (ou dans des lois suffisamment similaires dans leurs prédictions), puisque cette propriété est conventionnellement définie, en rapport à l'expérience, sur la base de ces lois physiques tenues pour empiriquement adéquates.

En somme, la nécessité analytique associée à nos conventions linguistiques reflète la nécessité physique dans le monde, en ce qu'elle se fixe sur les prédicats projectibles. Quand on définit l'intension d'un terme, c'est-à-dire les situations concevables auxquelles le terme s'appliquerait, et qu'on affirme que le terme s'applique en effet dans une situation, il s'agit également d'exclure des situations physiquement impossibles auxquelles notre

situation pourrait correspondre. L'idée qu'un terme s'applique réellement à une situation relève donc en partie du postulat puisque cette application suppose d'attribuer des propriétés modales aux situations, et ce type de postulat est faillible, mais ces postulats sont fondés sur l'adéquation empirique modale de nos théories.

Ceci permet de voir au passage en quoi l'empirisme modal se différencie d'un réalisme structural. Le réalisme structural propose d'être réaliste à propos de la structure des théories, et non de la nature métaphysique des entités postulées par les théories. La différence entre nature et structure est parfois établie en termes d'intension et d'extension (voir le chapitre 3). Cependant, si, comme nous le pensons, le contenu intensionnel d'une théorie ne se distingue pas foncièrement des relations de nécessité postulées par la théorie, alors la distinction entre nature et structure devient poreuse, en particulier quand le réalisme structural invoque des relations modales. Rappelons que Pashby (2012) propose à ce titre une analyse qui montre comment une modification des présupposés métaphysiques des théories amène à modifier sa structure (section 3.2). Pour l'empirisme modal, interprété ici comme un réalisme pragmatiste, cette distinction entre nature et structure n'est pas pertinente, et l'interprétation du vocabulaire d'une théorie ou sa structure peuvent tous deux se comprendre en rapport à l'expérience plutôt qu'en termes de correspondance à la réalité.

8.3.3 *Vérité correspondance contre vérité pragmatiste*

Notre approche pragmatiste nous amène donc à concevoir les propriétés théoriques d'une manière différente d'un réaliste essentialiste, tout en conservant certains aspects, comme l'idée que les axiomes d'une théorie s'apparentent à des définitions implicites de son vocabulaire. Finalement, le pragmatiste peut employer le vocabulaire de la théorie exactement comme le ferait un réaliste. La seule différence est que le pragmatiste refusera de s'engager métaphysiquement parlant.

Cette différence est sans doute mieux comprise en termes d'une différence quant à la conception de la vérité adoptée. Il s'agit alors d'adopter un réalisme interne. Le réaliste métaphysique adopte une conception de la vérité comme correspondance, mais pour un réaliste interne, ce type de conception est problématique (voir la section 1.2.1). La théorie de la vérité comme correspondance qui caractérise les positions réalistes (y compris structural) introduit un fossé entre ce qui est le cas, dans le monde, et ce qui est connaissable : il se pourrait qu'au terme de l'enquête nous n'ayons pas découvert toutes les vérités. Elle suppose en même temps qu'une re-

présentation correcte est complète, au sens où elle épuise ce qu'il y a à savoir de son objet. Mais un empirisme modal n'affirme rien de tel, puisque l'adéquation empirique d'un modèle ou d'une théorie est une question de perspective : elle dépend de caractéristiques objectivables de notre expérience, mais ces caractéristiques sont plutôt de l'ordre de notre relation au monde (nos possibilités d'intervention, d'observation). Il n'y a aucune raison à ce que nos représentations épuisent la réalité.

Au contraire du réaliste, l'empiriste modal adopte une conception pragmatiste de la vérité : ce qui est vrai, c'est ce qui fonctionne idéalement, indéfiniment, « au terme de l'enquête ». C'est ce qui est modalement adéquat. Les pragmatistes associent en effet nos croyances à des dispositions à agir, et nos croyances sont vraies si les actions auxquelles elles disposent sont idéalement couronnées de succès. L'aspect modal de l'empirisme modal permet de rendre compte de cet aspect dispositionnel, et si l'on comprend « fonctionner » en termes d'application de modèles et de prédictions, affirmer qu'une théorie est vraie, suivant cette conception de la vérité, ou affirmer qu'une théorie est modalement adéquate ne fait plus grande différence.

Une composante importante du pragmatisme est qu'elle met l'accent sur les intentions des agents (« fonctionner » étant relatif à ces intentions). Ici, nous adoptons une approche plus générale : le fait, pour une théorie, de prédire avec succès permet de réaliser avec succès différents objectifs possibles. Une théorie est donc idéalement vraie si elle est couronnée de succès quelles que soient nos intentions au moment de son utilisation. On peut juger que l'idéal, entretenu par les scientifiques, d'une confrontation expérimentale systématique et désintéressée a précisément pour rôle de s'affranchir tant que faire se peut d'intentions particulières pour rendre les théories applicables à de multiples fins.

Si on adopte une telle conception de la vérité, alors l'empirisme modal ne fait rien d'autre qu'affirmer que nos théories sont vraies, et si l'on comprend la signification en termes de conditions de vérité, alors nous pouvons fort bien prendre le discours scientifique au sérieux : il ne s'agit pas d'un instrumentalisme qui voudrait réinterpréter ce discours, mais d'une théorie sémantique. Cette démarche est ce qui permet d'éviter les problèmes du réalisme scientifique, comme la sous-détermination par l'expérience, et (en une certaine mesure) la méta-induction pessimiste.

Remarquons au passage que cette façon de voir peut résoudre quelques problèmes souvent mentionnés à propos du pragmatisme. Par exemple, on pourrait penser que des énoncés tel « Jules César avait 523 cheveux au moment de sa mort » sont dénués de signification pour un pragmatiste, parce

qu'ils n'ont aucune valeur de vérité atteignable, ce qui est contre-intuitif. Pour autant, cet énoncé peut se voir attribuer des conditions d'application et de prédiction assez précise, et il *aurait pu* être vérifié, donc il peut parfaitement être signifiant. De manière générale, le pragmatiste « modal » n'a pas vraiment de raison de rejeter la bivalence à propos de la vérité. Un énoncé ne peut être « ni vrai ni faux » si l'ensemble des termes qui le composent correspondent à des conditions d'application et de prédiction particulières. Les énoncés universaux sont, en général, vérifiables puisqu'on peut implémenter par nos interventions les situations possibles correspondantes. Un énoncé faisant référence à des particuliers (comme Jules César) ne l'est pas toujours, mais il aurait pu l'être.

La différence entre pragmatisme et réalisme peut s'exprimer en termes de complétude de nos représentations. Un réaliste pensera qu'une représentation est complète si elle décrit correctement l'ensemble des faits du monde, tels qu'ils sont, indépendamment de nos représentations. Pour un pragmatiste, la représentation est toujours située et cette notion de complétude n'a pas vraiment de sens. Cependant, il pourra considérer qu'une représentation est complète même si elle n'exprime aucun fait particulier, s'il s'agit du « bon langage ». On pourrait parler de complétude sémantique. Ceci signifie que nos représentations sont conceptuellement optimales, en ce sens qu'elles nous permettent de dériver, à partir d'une situation donnée, certaines attentes concernant le déroulement de cette situation, voire certaines rétrodictions concernant l'origine de cette situation. Mais pour que cette optimalité soit obtenue, il n'est pas requis que l'on puisse savoir, depuis un point de vue donné, ce que l'on pourrait savoir depuis n'importe quel autre point de vue, ou depuis un point de vue absolu qui nous renseignerait directement sur la nature de la réalité (il n'est pas même requis qu'un tel point de vue absolu doive exister en principe). Le pragmatiste ne se prononce pas quant à l'existence d'une « vue de nulle-part » sur le monde, mais peut toutefois croire qu'il existe une façon optimale de se représenter le monde vers laquelle la science converge.

Enfin notons que le fait d'adopter une conception pragmatiste de la vérité *en général*, et non seulement envers le contenu des théories scientifiques, peut permettre à un empiriste d'obtenir une certaine unité entre la représentation scientifique et la représentation commune (ou « l'image manifeste ») du monde. Il est possible d'avoir la même attitude envers les termes théoriques qu'envers les termes qui classifient les objets de la vie courante : ceux-ci doivent être conceptualisés non pas en termes d'existence absolue, indépendante de nous, mais en termes modaux, par exemple, en termes de possibilités d'action. Ici, ce que nous appelons application et

prédiction correspondrait à une transcription de l'expérience en langage, et pourrait être associé à des processus cognitifs d'interaction avec la réalité. Ceci rejoint la théorie des affordances en sciences cognitives. Nous aurons l'occasion d'y revenir dans les chapitres qui suivent.

Conclusion

L'empirisme modal est bien une position empiriste, en ce qu'il refuse d'avoir recours à des critères non-empiriques pour évaluer les théories scientifiques. Pourtant, il existe un sens suivant lequel l'empiriste modal peut affirmer que nos théories sont vraies, s'il adopte une conception pragmatiste de la signification. Il s'agit de ramener la signification des termes théoriques au rôle inférentiel qu'ils jouent dans la confrontation expérimentale des théories. Nous avons vu que l'adhésion aux modalités naturelles et le refus du fondationnalisme permettait de répondre aux critiques traditionnelles envers ce type de conception.

Dans ce cadre, un empiriste modal peut parfaitement employer le discours scientifique comme le fait un réaliste, d'une manière indistincte. Il pourrait même employer un discours d'apparence essentialiste, en termes de propriétés possédées nécessairement. On voit qu'un engagement envers les modalités amoindrit la tension entre empirisme et réalisme : après tout, de quelles ressources linguistiques disposons-nous, outre l'ostentation, le langage associé aux observations et la notion de possibilité ou de nécessité, pour interpréter les théories ?

Les différences ne se feront finalement sentir que quand on pressera l'empiriste sur des questions d'ordre sémantique ou métaphysique. L'empiriste modal invoquera par exemple une nécessité physique, comprise en termes de situations possibles, plutôt que métaphysique en termes de mondes possibles. Ces différences peuvent s'exprimer en termes d'une conception de la vérité : l'empiriste modal, s'il veut affirmer que nos théories sont vraies, aura à l'esprit une conception pragmatiste de la vérité plutôt qu'une conception de la vérité comme correspondance. Il affirmera qu'un énoncé est vrai s'il pourrait être vérifié (ou établi par induction). Il refusera de se prononcer sur l'existence d'une « vue de nulle-part », d'un point de vue absolu sur le monde.

C'est dans ce cadre pragmatiste que nous proposerons, dans les chapitres suivants, un examen de notre engagement envers les modalités naturelles, et du type de propriétés modales qu'il est possible d'attribuer au monde.

Chapitre 9

Interpréter les modalités

English abstract

We present some methodological basis and technical tools that will allow us to interpret modalities in an empiricist framework. We first defend an actualist position : modalities should consist in attributing modal properties to actual situations in the world. This requires adopting identifying criteria for situations across varying possibilities. We suggest that these criteria should be found in the objective characteristics of situations that allow us to know when models apply (in particular, measured properties and initial conditions). We provide a formal analysis of phase spaces, measurable properties and their values in order to characterise formally the objective characteristics of situations and the corresponding models. We examine the metaphysical postulates that underlie the idea that variations in measured properties or initial conditions are possible. We argue that they correspond to different conceptions of what situations are, beyond the minimal characterization proposed so far, and to attribution of different types of modal properties, namely intrinsic and nomological. Rejecting these postulates would limit the extent of empirical adequacy, but we suggest strategies to circumvent these limitations, by resorting to mereological considerations. A further distinction between two types of property attribution ensues. We thus arrive at four different types of modalities, which we associate with traditional metaphysical categories, here reinterpreted pragmatically : states, events, dispositions and laws.

Nous avons proposé dans le chapitre précédent (chapitre 8) une manière d'interpréter le vocabulaire théorique cohérente avec un empirisme modal. Nous avons fait référence, à cette fin, aux modalités physiques à plusieurs reprises. Il nous reste donc, pour être complet sur les questions relatives à l'interprétation des théories, à en dire plus sur le statut de ces modalités. Ainsi nous aurons fourni une interprétation aux deux principales composantes du contenu des théories scientifiques : le vocabulaire théorique et la structure mathématique, si cette dernière exprime des relations modales.

Dans la partie précédente, nous avons utilisé à ce sujet le langage des situations possibles, mais sans préciser plus avant le statut métaphysique des modalités que nous envisageons. Il existe dans la littérature de multiples interprétations des modalités naturelles : certains invoquent des lois de la nature primitives (Maudlin, 2007; Carroll, 2008), d'autres des dispositions (Mumford, 2004; Bird, 2007), et d'autres encore des relations entre universaux (Armstrong, 1983). Enfin certains auteurs pensent que les modalités sont des primitifs non analysables (French, 2014).

On pourrait penser que cette question métaphysique n'a pas sa place quand il s'agit de défendre une position empiriste : après tout, l'empirisme se caractérise principalement par une attitude méfiante envers « l'inflation métaphysique ». Comment alors pourrait-il se prononcer sur la nature métaphysique des modalités naturelles ? Le problème est que nous devons avoir recours aux modalités naturelles pour exprimer ce en quoi consiste l'empirisme modal. L'empirisme modal semble donc générer une tension : il aurait recours à un concept qu'il serait incapable lui-même d'explicitier s'il se veut un empirisme.

L'objet de ce chapitre est de dépasser cette tension. La question des engagements ontologiques qu'il est possible d'inférer de nos théories et du constat de leur adéquation empirique semble éminemment métaphysique. Pourtant nous souhaitons ici l'aborder dans un esprit empiriste et pragmatiste. Nous pensons qu'il est possible d'en dire plus sur le type de modalité dont l'empirisme modal a besoin. Nous nous appuyerons pour cela sur différents aspects développés dans la partie précédente de cette étude, et en particulier sur le fait que les modalités y sont conçues comme le résultat d'une induction sur les situations possibles. L'étendue des situations possibles, c'est-à-dire notre domaine de quantification, est appréhendé sous l'angle des conditions d'application et de bonnes prédictions des modèles d'une théorie. Il doit donc être possible de caractériser les modalités naturelles en observant la manière dont ce type d'induction fonctionne, et en particulier, en examinant les caractéristiques des situations qu'on considère variables d'un possible à l'autre, et sur lesquelles porte notre induction.

Nous verrons, cependant, que le fait même de concevoir que ces variations dans les conditions d'application sont possibles s'accompagne de certains présupposés métaphysiques associés à certaines conceptions de ce qu'est une situation.

Dans la section 9.1, nous commençons par quelques remarques méthodologiques sur l'interprétation des modalités en général. Nous revenons en particulier sur la distinction entre modalités *de re* et *de dicto*, et entre actualisme et possibilisme. Nous défendons un actualisme et présentons une sémantique des situations possibles associée, puis expliquons en quoi si l'on adopte une interprétation *de re*, les modèles théoriques peuvent nous servir de guide pour attribuer des propriétés modales aux situations du monde. Dans la section 9.2, nous proposons une analyse des différentes caractéristiques variables des situations, et en particulier, les conditions initiales des systèmes physiques et les propriétés mesurées sur ces systèmes, sous un angle formel. À cette fin, nous introduisons certains outils théoriques, comme les espaces de phases. Nous proposons également une analyse moins formelle des caractéristiques variables des situations. Enfin dans la section 9.3, nous examinons les présupposés métaphysiques implicites dans l'idée que des variations de ces caractéristiques sont possibles. Nous proposons des stratégies pour éviter ces présupposés sans trop amoindrir la force de l'adéquation empirique des théories, par un recours à la méréologie des situations. Il en résultera différentes options métaphysiques, et à l'issue de cette section, nous serons à même de proposer une taxinomie des différents types de modalités envisageables quand il s'agit de tirer des engagements ontologiques sur la base de l'adéquation modale d'une théorie, que nous rapprocherons de catégories de la métaphysique traditionnelle.

Nous aurons ainsi montré que le recours aux modalités permet à l'empirisme modal de retrouver une partie de la richesse de la métaphysique traditionnelle, tout en ancrant cette dernière dans l'expérience.

9.1 L'inférence vers les modalités : remarques méthodologiques

Envers quoi sommes-nous engagés, ontologiquement parlant, si nous acceptons qu'une théorie est modalement adéquate ? Sur quoi exactement porte notre induction (en particulier quand il s'agit d'une induction sur les possibles) ? De quel type de modalités parlons-nous ?

Pour répondre à cette question, il nous faut d'abord savoir de quoi est

constituée notre base d'induction. Dans cette section, nous proposons de ramener les situations possibles à des variations de situations actuelles : il s'agit d'adopter un actualisme. Nous examinons en quelle mesure cette façon de voir peut affecter notre conception d'adéquation empirique modale, et comment elle pourra nous permettre de procéder à des inférences ontologiques sur la base des modèles abstraits de nos théories, conçus comme représentant des situations particulières, y compris sous leurs aspects modaux.

9.1.1 *Expériences concevables et situations possibles*

Nous avons défendu dans la partie précédente que la connaissance modale était le résultat d'une induction. Une induction consiste à attribuer une propriété notable à un ensemble de particuliers dont un échantillon nous est accessible par l'expérience. Nous avons parlé à plusieurs reprises dans la partie précédente d'induction sur les modèles, mais si l'induction doit nous permettre d'aboutir à une affirmation qui porte sur le monde physique, il doit s'agir d'autre chose que d'une induction mathématique. Les modèles ne sont pas de simples structures mathématiques : ils sont exprimés dans un vocabulaire physique et représentent des situations du monde, et ce sont en fait ces situations qui constituent notre réelle base d'induction. Pour un empiriste, la base de l'induction doit se trouver dans l'expérience, et ce n'est pas de modèles dont nous faisons l'expérience, mais de situations.

Les situations du monde ont certaines caractéristiques objectivables qui nous permettent de savoir qu'un modèle s'applique et s'il fait de bonnes prédictions. Les conditions d'application des modèles peuvent s'exprimer en termes des « ingrédients de base » qui nous servent à la construction des modèles (voir la section 4.2.2). Nous pouvons donc déjà dire que les situations possibles se caractérisent par ces caractéristiques objectivables :

1. Celles qui nous permettent de savoir qu'un modèle s'applique, et en particulier,
 - (a) Les types de systèmes possibles et leurs dynamiques possibles
 - (b) Les conditions initiales possibles de ces systèmes
 - (c) Les propriétés mesurables possibles sur ces systèmes
2. Celles qui nous permettent de savoir qu'un modèle fait de bonnes prédictions : les résultats possibles des mesures

Ces « ingrédients de base » de la confrontation expérimentale ne relèvent pas d'un « langage d'observation » : il s'agit d'éléments d'expérience

qui sont directement transcrits en langage théorique. Nous pouvons donc dire que le vocabulaire théorique, et en particulier celui qui est impliqué dans la mise en correspondance des modèles théoriques à des situations concrètes (les termes caractérisant les types de systèmes et leurs propriétés mesurables), nous permet de dessiner une « carte » de différents types d'expérience *concevables* (nous parlons bien ici de possibilités logiques). Il s'agit de découper les différents types d'expériences en catégories projectibles (voir la section 5.2.3 et le chapitre précédent). Nous pouvons concevoir un type d'expérience dans laquelle on trouve un électron, qui pourrait être soumis à différentes stimulations, auxquelles correspondront différentes configurations expérimentales. Cet électron peut posséder différents états initiaux : différentes directions de spin par exemple. La théorie elle-même nous propose une étendue pour ces états initiaux (l'ensemble des directions de spin possibles sera représenté de manière géométrique). Ces possibilités correspondront, de manière concrète, aux différentes mesures initiales qu'on pourrait faire sur une configuration expérimentale impliquant un électron, et aux différents résultats qu'on pourrait obtenir à l'issue de cette mesure initiale. Nous pouvons ensuite concevoir différentes manières de mesurer notre système : différentes façons de placer nos appareils de mesure... Enfin nous pouvons concevoir a priori différents résultats possibles pour nos mesures, que ceux-ci correspondent aux prédictions de la théorie ou non.

Parmi tous ces types d'expérience concevables, seules certains peuvent être instanciées dans le monde. Suivant une première approche nous pourrions considérer que l'ensemble des types d'expérience possibles est un sous-ensemble de l'ensemble des types d'expérience concevables, et l'empirisme modal consisterait simplement à affirmer que nos meilleures théories parviennent à délimiter correctement ce sous-ensemble : il s'agit des types d'expérience pour lesquelles les modèles de la théorie qui s'appliquent font de bonnes prédictions. Mais cette approche, mettant l'accent sur les types d'expérience, n'éclaire pas vraiment le statut des instances de situations possibles dont nous pourrions faire l'expérience. En outre, elle ne fait pas justice aux aspects pragmatiques que nous avons mis en avant au cours de notre travail. Nous avons affirmé, notamment, que les relations modales entre conditions d'application et prédictions des modèles théoriques devaient être évaluées pragmatiquement en termes d'attentes en situation (section 5.3.2), et qu'on devait les considérer relatives à une certaine position épistémique si l'on pense qu'elles doivent survivre aux changements théoriques. L'usage des situations possibles, au lieu des mondes possibles, a justement pour but de traduire cet aspect pragmatique et situé. Consi-

dérer les types d'expérience possibles de manière abstraite ne permet de retrouver cet aspect.

Pour ces raisons il nous semble judicieux de penser les situations possibles à partir des situations actuelles : les situations possibles sont des alternatives de situations actuelles, obtenues en faisant varier certaines des caractéristiques objectives de ces situations. Elles diffèrent par les modèles qui s'y appliquent. Il nous est ainsi possible d'affirmer : « ce système aurait pu se trouver dans telles conditions initiales, il aurait pu être mesuré d'une autre façon », et si cet énoncé est vrai, nous faisons alors référence à des situations physiquement possibles. Pour autant, contrairement à ce que nous enjoindrait à faire le possibilisme, nous ne prétendons pas caractériser exhaustivement ces situations possibles, puisque nous les concevons uniquement par contraste avec des situations actuelles qui peuvent être imparfaitement connues, mais auxquelles nous faisons directement référence. Ainsi les aspects contextuels propres à notre situation épistémique sont conservés quand on passe de l'actuel au possible, quand bien même il ne nous est pas loisir de contempler notre propre situation d'un point de vue extérieur et absolu pour pouvoir spécifier ces aspects.

On peut penser a priori que toutes les variations concevables dans les conditions d'application des modèles correspondent à des situations physiquement possibles. Ceci tient au fait, examiné dans le chapitre précédent, que le vocabulaire d'une théorie tend à se fixer sur des prédicats projectibles : si les termes théoriques ne pouvaient s'appliquer, nous devrions cesser de les utiliser (nous verrons cependant plus loin dans ce chapitre que le fait qu'elles soient possibles *pour une situation particulière* s'accompagne de certains présupposés métaphysiques, mais acceptons ceci à titre provisoire). Mais ce qui est vrai des conditions d'application des modèles ne l'est pas de leurs prédictions : toutes les prédictions exprimables à partir du vocabulaire de la théorie ne sont pas physiquement possibles, et si notre théorie est modalement adéquate, seules les situations qui vérifient au moins en approximation les prédictions de la théorie sont des situations physiquement possibles. Si les conditions d'application des modèles sont relativement indépendantes des lois de la théorie, ce n'est pas le cas des prédictions qu'on peut obtenir une fois ces conditions d'application fixées ¹.

1. Cette distinction entre conditions d'application, en principe toutes possibles, et prédictions, n'est pas si franche : nous avons examiné dans le chapitre précédent en quoi le fait que les prédicats de la théorie sont projectibles n'est pas entièrement indépendant du fait que la théorie est empiriquement adéquate, et en quoi la théorie elle-même peut être utilisée au moment de son application. Mais nous avons vu que l'on peut considérer que les conditions d'application jouissent d'une certaine stabilité, indépendamment des

En clair, le vocabulaire et le formalisme d'une théorie nous permettent d'appréhender un ensemble de situations concevables sur la base de situations actuelles, et les lois de la théorie sont ce qui limite cet ensemble aux situations physiquement possibles, en apportant des contraintes sur les relations entre conditions d'application et prédictions.

Tout ceci nous indique que le formalisme de la théorie et son vocabulaire constituera notre guide pour « naviguer » parmi les situations concevables sur la base des situations actuelles (ce pourra être en particulier le cas des espaces de phases, comme nous le verrons ensuite). Mais ces variations possibles demandent à être interprétées, et c'est, selon nous, l'expérience qui doit fournir cette interprétation : les termes théoriques et le formalisme caractérisent avant tout différents types de systèmes ou de configurations expérimentales, différentes façons de mesurer ces systèmes, et les différents résultats qu'on peut obtenir à l'issue de ces mesures.

Les variations possibles dans les caractéristiques des situations pourront être synthétisées au sein de modèles abstraits. Ces modèles abstraits représentent des situations concrètes et l'ensemble de leurs alternatives possibles (en leur attribuant éventuellement des poids de probabilité) ; c'est-à-dire qu'ils représentent les caractéristiques modales de ces situations actuelles. Nous pourrions donc, en analysant le contenu de ces modèles abstraits et la manière dont certains de leurs éléments se rapportent à l'expérience, dériver certains engagements ontologiques sur la base de l'adéquation empirique de ces modèles. Tout ceci sera mis en œuvre dans le chapitre suivant en prenant pour cas la mécanique quantique non relativiste.

Avant de procéder à ces analyses, nous souhaitons leur donner un cadre formel plus précis. Il s'agit de proposer une sémantique des situations possibles qui consiste, en quelque sorte, à fournir une ontologie minimale pour supporter notre position épistémologique, et servir de base aux inférences ontologiques que nous pourrions tirer de l'adéquation empirique de nos théories. En lien avec les remarques précédentes sur les aspects pragmatiques de l'évaluation des modalités, nous proposons d'approcher cette proposition en mettant en avant l'un de ses principaux partis pris : celui de l'actualisme.

9.1.2 *Modalités de re ou de dicto ?*

Il est possible d'établir une distinction générale entre différents types de modalités sans s'engager outre mesure métaphysiquement parlant : il

révisions théoriques.

s'agit de la distinction entre modalités *de re* et *de dicto*.

La différence entre ces deux types de modalités tient à l'ordre des quantificateurs. Dans le cadre d'une sémantique des mondes possibles, les modalités *de re* placent l'opérateur modal (la quantification sur les mondes possibles) après les quantificateurs sur les objets du monde, ce qui revient à dire que nous parlons toujours des mêmes objets dans différents mondes possibles (par exemple : $(\exists s)(As \wedge \Diamond Ps)$, qu'on pourrait traduire « il y a un A qui pourrait être P »). Sur le plan de l'interprétation, on peut considérer qu'un tel énoncé attribue des propriétés ou relations modales aux objets du monde (dans l'exemple ci-dessus, la propriété, pour certains A , de pouvoir être P). Ce type de modalité est associé à un actualisme, puisque seuls les objets du monde actuel existent.

Les modalités *de dicto* placent au contraire l'opérateur modal avant le quantificateur sur les objets, et n'impliquent jamais que des mêmes objets puissent se trouver dans plusieurs mondes possibles ($\Diamond(\exists s)(As \wedge Ps)$, qu'on pourrait traduire « il pourrait y avoir un A qui est P »). Notre énoncé modal est une affirmation sur un ensemble de mondes possibles, non sur un ou des objets particuliers du monde actuel. Sur le plan interprétatif, il n'est pas possible de considérer que l'on attribue des propriétés modales aux objets du monde actuel, puisque ceux-ci ne se retrouvent pas dans les autres mondes possibles. L'attribution *de dicto* peut donc être associée à un possibilisme : elle implique l'existence d'objets possibles. Cependant, puisque les prédicats utilisés pour décrire les différents mondes possibles sont toujours les mêmes, on peut considérer qu'un tel énoncé attribue des propriétés ou relations modales de second ordre aux propriétés et relations physiques de premier ordre (dans l'exemple ci-dessus, la propriété pour le fait d'être A de rendre possible le fait d'être P).

Pour appliquer ceci à notre cadre situationniste, considérons, à titre d'illustration, un énoncé probabiliste du type « cette pièce de monnaie a une chance sur deux de tomber sur la face ». L'énoncé peut s'interpréter comme une affirmation portant sur un jet d'une pièce de monnaie en particulier, lui attribuant une certaine propriété modale : la pièce a, ici et maintenant, une chance sur deux de tomber sur la face. Ou bien il peut s'interpréter comme une affirmation portant sur tous les jets possibles de cette pièce, passés, présents et futurs, voire de toutes les pièces de même type, attribuant une propriété non modale à cette collection de situations (une proportion de cas favorables). Si l'on se restreignait aux jets actuels, cette dernière option correspondrait à l'interprétation fréquentiste des probabilités, qui constitue une réduction du caractère modal des énoncés probabilistes à des propriétés catégoriques du monde actuel. Dans le cadre d'un empirisme modal, nous

ne voulons pas réduire les aspects modaux à des propriétés catégoriques du monde actuel, mais nous pourrions affirmer que notre énoncé probabiliste porte sur tous les jets *possibles* de cette pièce, ou des pièces du même type, et pas seulement sur ce jet particulier. Il consisterait à affirmer qu'il existe une certaine proportion de cas favorables parmi tous ces jets possibles et actuels.

Considérons un énoncé parfaitement général qui pourrait être celui d'une théorie scientifique : « les pièces de ce type ont une chance sur deux de tomber sur la face ». On pourrait imaginer un modèle de cette théorie, dont les conditions d'application correspondent au jet d'une pièce de monnaie, et qui assigne cette probabilité aux résultats possibles. De nouveau les deux interprétations sont disponibles. Dans un cas, nous considérons les situations *actuelles* d'un certain type et leurs déroulements possibles, et notre énoncé porte sur chacune de ces situations particulières, leur attribuant des propriétés *modales*. Nous sommes actualistes. Dans l'autre cas, nous considérons l'ensemble des situations *possibles* d'un certain type, et notre énoncé porte sur cet ensemble, auquel nous attribuons des propriétés *non modales* (comme une répartition de cas favorables). Nous sommes alors possibilistes. Dans un cas l'aspect modal est porté uniquement par des propriétés, dans l'autre uniquement par le domaine de quantification

La position actualiste est la position que nous développerons dans ce chapitre. Nous avons déjà mentionné des motivations pragmatiques en faveur de cette position. Une motivation philosophique supplémentaire est que nous souhaitons, dans un esprit empiriste, placer les modalités *dans* le monde actuel, plutôt que de placer le monde actuel *dans* les mondes possibles². L'empiriste se méfie des spéculations sans aboutissant, et ceci inclut l'hypothèse qu'il existerait d'autres mondes possibles. C'est une des raisons pour lesquelles nous parlons de situations possibles plutôt que de mondes possibles : seul le monde actuel existe. Mais si le monde actuel n'était qu'un agrégat de situations possibles, il n'y aurait plus vraiment de sens à parler du monde *actuel*, et le fait de parler de situations possibles plutôt que de mondes possibles perdrait de son intérêt. Il nous manquerait un ingrédient qui distingue les situations actuelles des situations seulement possibles. On peut bien sûr ajouter cet ingrédient, mais d'un point de vue empiriste, ce dernier pourra paraître trop métaphysique, et finalement, comme nous allons le voir, nous nous ramènerions à une sémantique des mondes possibles. Les situations, en contraste avec les mondes possibles,

2. On pourrait peut-être y voir une manière de rendre justice à la façon dont Bergson (1946) conçoit que le possible n'est pas plus que le réel, mais est toujours moins riche que le réel...

ont bien pour objet d'ancrer les modalités dans le monde actuel.

Pour voir clairement pourquoi c'est le cas, il faut commencer par lever une ambiguïté sur le terme « situation » : celui-ci peut soit désigner une entité concrètes du monde, soit être employé, au sens où on emploie « monde possible », pour analyser les modalités. Étant donné qu'on peut faire référence à plusieurs situations actuelles différentes, nous devrions préférer le premier emploi. Mais nous ne souhaitons pas pour autant analyser les modalités en termes de mondes possibles. Nous distinguerons donc provisoirement les situations, en tant qu'entités concrètes, et les situations* qui nous servent à analyser les opérateurs modaux. La façon dont ces deux concepts s'articulent dépendra justement du type de modalité utilisé (et une fois notre choix fait, nous pourrions abandonner cette distinction).

La question est alors de savoir dans quel ordre placer les quantificateurs sur les situations* possibles (c'est-à-dire les quantificateurs modaux) et les quantificateurs sur les situations en tant qu'objets. Dans un cas (modalités *de re*), nous considérons que seuls les situations actuelles existent, et nous quantifions sur elles *avant* de quantifier sur les situations* possibles. Ces dernières peuvent être conçues comme des situations alternatives à cette situation. Nous inspirant de la sémantique des mondes possibles pour la logique modale, nous pouvons envisager de relier ces situations* possibles à la situation actuelle considérée par une relation d'accessibilité R^3 :

$$(\forall s)(\phi(s) \rightarrow (\forall s^*)(Rss^* \rightarrow \psi(s^*)))$$

Le langage des situations* possibles ne serait qu'un moyen d'attribuer des propriétés et relations modales aux situations actuelles : une situation* possible ne doit pas être considérée comme une situation à part entière, mais plutôt comme l'alternative d'une situation actuelle (qui exemplifie donc le même type : nous revenons sur cet aspect plus loin), ou éventuellement comme la partie de l'alternative d'une situation actuelle (en quel cas la formule ci-dessus devrait être adaptée – nous revenons plus loin sur la méréologie des situations). Une situation* possible se ramène toujours à une situation actuelle particulière. Il s'agit d'adopter une position actualiste : seules les situations actuelles existent, mais elles possèdent des propriétés modales. Nous pouvons alors ne plus parler de situations*, mais simplement employer des opérateurs modaux, placés après le quantificateur sur les situations :

3. On peut considérer que cette relation est transitive, réflexive et symétrique : nous avons un système de logique modale S5 localisé sur une situation. Nous revenons sur les aspects formels en annexe de ce chapitre.

$$(\forall s)(\phi(s) \rightarrow \Box_s \psi(s))$$

L'autre option (modalités *de dicto*) consiste à quantifier d'abord sur les situations* possibles, puis sur les situations, sans chercher à identifier ces dernières d'un possible à l'autre. Mais il y a un problème suivant cette option : une situation* n'étant pas un monde possible, elle ne peut correspondre qu'à une seule situation. Quel sens alors y a-t-il à quantifier sur les situations à l'intérieur des situations* possibles, s'il n'y en a jamais qu'une ? Autant dire que nous ne quantifions finalement que sur des situations* : les deux concepts sont identifiables.

$$(\forall s*)(\phi(s*) \rightarrow \psi(s*))$$

Nous pourrions écrire cette formule comme suit :

$$\Box_s(\phi(s) \rightarrow \psi(s))$$

Dans ce cas les différentes situations possibles n'ont pas à être connectées les unes aux autres, au sens où une situation possible serait nécessairement l'alternative d'une situation actuelle : les situations possibles cohabitent simplement dans le monde, et les situations actuelles en sont un échantillon. On peut envisager qu'elles sont toutes accessibles les unes aux autres par la relation R . Le problème est que nous ne pouvons plus employer les axiomes standards de la logique modal et en même temps affirmer qu'il existe plusieurs situations actuelles : contrairement au cas de la sémantique des mondes possibles, suivant laquelle un seul monde est actuel, il existe plusieurs situations actuelles. Pour régler ce problème, on pourrait faire appel à une nouvelle relation qui nous indique quand deux situations possibles appartiennent au même monde (on pourrait invoquer ici les aspects méréologiques que nous étudierons ensuite). Mais alors nous ne faisons que nous ramener à une sémantique des mondes possibles.

On voit en quoi le langage des situations possibles, en place du langage des mondes possibles, va de pair avec un actualisme : il a pour principal intérêt de permettre l'ancrage des situations possibles dans le monde actuel, en les associant à une situation actuelle du monde, ce qui implique l'usage des modalités *de re*. S'il ne s'agissait pas d'envisager les possibles depuis une situation particulière, mais les possibles en général, il n'y aurait aucune différence substantielle avec une sémantique des mondes possibles, et le langage des situations possibles perdrait de son intérêt.

Selon nous, une position actualiste cohérente et parcimonieuse se doit de postuler que seules les situations actuelles existent⁴. Ceci ne signifie pas que le possible n'existe pas, mais, si nous sommes actualistes, nous souhaitons réduire le discours à propos du possible à un discours à propos de propriétés modales actuelles : le monde est en effet constitué de situations actuelles, et celles-ci ont des propriétés modales, qu'on peut se représenter comme des alternatives de ces situations actuelles, c'est-à-dire par un ensemble de situations possibles accessibles depuis cette situation actuelle. Nous affirmons ainsi que les situations sur lesquelles notre induction porte ne sont pas des situations possibles *en général*, mais des situations possibles *en tant qu'alternatives de situations actuelles*. C'est certainement le cas de toutes les situations possibles dont nous faisons l'expérience : il s'agit d'alternatives possibles de situations actuelles, en l'occurrence, celles qui ont lieu.

Outre les aspects pragmatiques mentionnés plus haut, en particulier le fait de pouvoir tenir pour fixe un certain nombre de conditions d'arrière-plan sans avoir à en faire une liste exhaustive, un autre intérêt de cette approche est qu'elle nous permettra d'inférer des engagements ontologiques des modèles abstraits des théories assez directement. En effet, les modèles théoriques utilisés par les scientifiques ne sont pas tous des modèles au sens où nous l'entendons dans ce travail : pour les différencier, nous avons parlé à leur sujet de modèles abstraits, qui s'apparentent pour nous à des classes de modèles (voir la section 4.2.1). Le modèle du pendule idéal, par exemple, ne spécifie pas de conditions initiales précises. Il ne spécifie pas non plus les propriétés qui sont mesurées sur les systèmes. Il regroupe donc plusieurs modèles au sens où nous l'entendons ici : ceux qui partagent certaines caractéristiques (le type de système) mais diffèrent suivant d'autres (les conditions initiales). Si les modèles théoriques au sens où nous l'entendons sont destinés à représenter une situation possible, les modèles utilisés par les scientifiques visent à synthétiser au sein d'une représentation unifiée plusieurs situations possibles, leur attribuant éventuellement des poids de probabilités.

4. Un problème fréquemment discuté pour l'actualisme est de comprendre comment rendre compte du discours modal à propos des objets seulement possibles sans affirmer qu'ils existent. Nos seuls objets étant jusqu'ici les situations, ce n'est pas forcément un problème : il faudrait simplement réduire le discours à propos d'objets possibles à un discours à propos de propriétés modales des situations, ou parler d'objets au sein des situations. Ceci suppose d'appliquer les mêmes catégories à tous les possibles (il n'y aurait pas de types d'objets fondamentaux différents), mais puisque nous parlons de possibilités physiques plutôt que métaphysiques, ce n'est pas un problème. Nous ne discuterons pas de ce problème ici, puisque notre but n'est pas de rendre compte du langage naturel.

Dans un cadre possibiliste, interpréter directement ces modèles n'a rien d'évident s'ils ne représentent jamais un objet unique du monde, mais seulement les caractéristiques communes de plusieurs situations possibles similaires. Au mieux, nous pourrions voir ces modèles comme des représentations de types d'expérience plutôt que d'instances de situations, mais il n'est pas évident, dans ce cadre, de savoir « ce qui existe » dans le monde. Dans un cadre actualiste, au contraire, nous pourrions concevoir que les différentes situations possibles que synthétise le modèle abstrait ne sont que les alternatives physiquement possibles d'une même situation : le modèle appliqué représente alors directement une situation du monde y compris sous ses aspects modaux (« ce qui se serait produit si la situation avait été ainsi, ou ainsi »). Notre modèle abstrait représente correctement des caractéristiques individuelles de *chaque* situation particulière à laquelle il est applicable, plutôt qu'il ne représenterait des caractéristiques collectives de *l'ensemble* des situations auxquelles il est applicable, à l'instar de notre énoncé probabiliste qui pourrait porter sur un unique jet de pièce de monnaie plutôt que sur un ensemble de jets. Nous pouvons alors, à des fins d'analyse métaphysique, nous intéresser au contenu de ce modèle (du moins tant que ce contenu se rapporte à des caractéristiques objectivables accessibles dans l'expérience) pour savoir quelles propriétés modales possèdent les situations du monde. Chaque modèle, en ce qu'il se rapporte à des expériences possibles, est une représentation de « ce qui existe » dans une situation particulière. Il contient les engagements ontologiques dont nous avons besoin pour affirmer que ce modèle est empiriquement adéquat pour toutes les alternatives possibles de cette situation. Le fait d'attribuer des propriétés modales aux situations actuelles, au lieu de se contenter de décrire des régularités dans les situations possibles en général, ouvre donc la voie à une interprétation des modalités en termes ontologiques. Toutefois ces catégories ontologiques ne jouent pas de rôle explicatif, mais sont interprétées en rapport à l'expérience actuelle et possible.

Ceci n'interdit pas, dans un second temps, d'envisager une inférence vers des modalités *de dicto*. Nous verrons en effet qu'une prise en compte des aspects méréologiques nous amène à accéder à un ensemble de situations possibles plus large que celles qui sont directement accessibles depuis les situations actuelles : ce sont les situations contenues dans les situations directement accessibles (les parties de ces situations). Nous en dirons plus à ce sujet dans les développements à venir, et nous verrons que les modalités *de dicto* peuvent être analysées comme une manière de décrire le comportement méréologique des propriétés modales.

9.1.3 *Remarque sur les modèles probabilistes*

Nous disions qu'un modèle abstrait peut être vu comme la formulation synthétique des alternatives d'une situation actuelle, donc comme décrivant les caractéristiques modales de ces situations. Il y a une différence, cependant, entre le fait de synthétiser différents possibles au sein d'un unique modèle, et le fait d'attribuer un poids de probabilité à ces possibles. Or c'est ce que font les modèles probabilistes. Nous devons donc interpréter ces poids de probabilité.

Nous devons malheureusement nous contenter ici de brèves remarques, puisque la littérature philosophique au sujet des probabilités est vaste et complexe (voir Hájek, 2008). Une difficulté de notre approche est que si nous souhaitons qu'un modèle abstrait puisse représenter une unique situation, et non une collection ou séquence de situations, le lien entre les probabilités et les statistiques des résultats de mesure est moins directe qu'on ne pourrait l'escompter d'un point de vue empiriste. Intuitivement, on pourrait voir dans les probabilités une répartition de cas favorables parmi les alternatives d'une situation. Une pièce de monnaie qui a une chance sur deux de tomber sur face correspondrait à une situation qui possède « autant » d'alternatives dans lesquelles la pièce tombe sur face que d'alternatives dans lesquelles ce n'est pas le cas. S'il en est ainsi de toutes les situations similaires (les autres jets de la même pièce), alors nous pouvons nous attendre à ce que les alternatives que nous pourrions observer dans le monde, si elles constituent un échantillon représentatif de toutes les alternatives de tous les jets, auront une distribution qui correspondra au degré de probabilité assigné lors de chaque situation. Mais l'idée de pouvoir quantifier ainsi les alternatives d'une situation donnée, ou encore de pouvoir attribuer un nombre irrationnel à leur proportion (ce qui suppose qu'elles soient en nombre infini, et peut donner lieu à de nouveaux problèmes, comme le paradoxe de Bertrand) peut poser question.

D'un autre côté, une interprétation épistémique des probabilités, en termes de degré de crédence associés au fait qu'une alternative soit actuelle, ou encore en termes de pari rationnel, ne permet pas plus d'établir un lien direct entre probabilités et statistiques des résultats de mesure. Enfin une interprétation en termes de propension semble trop métaphysique pour soutenir une approche empiriste.

Nous nous en tiendrons donc à cette interprétation intuitive : les probabilités représentent une proportion de cas favorables parmi les alternatives d'une situation. Ceci exige, dans certains cas, qu'il existe plusieurs alternatives empiriquement indiscernables (si par exemple une pièce truquée a

deux chances sur trois de tomber sur face, il doit y avoir deux fois plus d'alternatives ou c'est le cas, et donc, bien que ces alternatives soient pour nous indifférenciées, elles doivent être différentes pour pouvoir être comptées) mais partant du principe que nous n'avons pas une connaissance exhaustive des situations, ce n'est pas forcément un problème. Enfin, nous ne nous interdirons pas d'employer le terme de « propension » pour désigner la proportion de cas favorables parmi les alternatives d'une situation.

9.1.4 *L'adéquation empirique pour un actualiste*

Cette position actualiste nous demande de revoir légèrement la façon dont nous comprenons l'adéquation empirique d'une théorie, pour limiter notre base d'induction aux situations possibles qui sont des alternatives de situations actuelles uniquement. En effet, nous avons utilisé, dans la partie précédente, le langage des situations possibles sans nous engager sur l'interprétation à faire des modalités, et avons adopté implicitement une lecture *de dicto* des modalités, considérant l'ensemble des situations possibles du monde comme base d'induction. Mais nous sommes maintenant en train de proposer une affirmation substantielle sur les situations possibles, à savoir qu'elles sont des alternatives de situations actuelles, et cette affirmation devrait être intégrée à notre définition de l'adéquation empirique. L'empirisme modal affirmerait qu'une théorie est empiriquement adéquate pour toutes les alternatives de situations actuelles. Tout ceci soulève au passage des questions de philosophie du temps, concernant l'actualité des situations passées et futures (les situations futures sont-elles « déjà » actuelles ou seulement possibles?), que nous laisserons ici en suspens.

Cependant cette affirmation n'a pas d'impact important sur les arguments de la partie II de notre travail. Les situations dont nous faisons l'expérience sont toujours un échantillon des situations possibles : leurs alternatives actuelles sont l'une de leurs alternatives possibles. On pourrait croire qu'une restriction aux alternatives de situations actuelles limite notre pouvoir expressif (notamment quand il s'agit de rendre compte de la pratique scientifique, ou du pouvoir explicatif des théories) mais nous ne pensons pas que ce soit le cas. Les explications sont toujours des explications de phénomènes actuels, de même les énoncés causaux portent généralement sur des situations actuelles. Par ailleurs, quand les scientifiques parlent de situations seulement possibles, sans référence à une situation actuelle (par exemple en imaginant une expérience de pensée inédite qui serait réalisable pour tester la théorie), il est possible d'interpréter leur discours comme envisageant la possibilité épistémique (et non

physique) qu'une situation exemplifiant un certain type d'expérience soit actuelle, peut-être dans le futur, ou encore la possibilité physique qu'un déroulement possible de l'univers actuel (d'une situation plus englobante) lui donne lieu. Nous pouvons alors accéder à ce type de situations si l'on considère que les parties de situations possibles sont aussi des situations possibles, même quand elles ne sont pas directement accessibles depuis le monde actuel.

On pourrait penser qu'en exigeant des situations possibles qu'elles soient les alternatives de situations actuelles, nous apportions des restrictions inutiles à l'étendue de l'adéquation empirique des théories, et retombions dans les travers de l'empirisme factuel qui se restreint aux situations actuelles. Rappelons le problème que nous avons soulevé : si nous ne savons pas a priori quelles sont types d'expérience exemplifiés par les situations actuelles, pourquoi affirmer que notre théorie est *seulement* factuellement adéquate ? Nous avons pris l'exemple de théories imaginaires sur la stabilité des sphères en or pour illustrer ce point (section 7.3). L'idée était la suivante : dans la mesure où nous ne savons pas quels modèles s'appliquent ou non dans l'univers, savoir qu'une théorie est empiriquement adéquate nous demande d'éliminer à termes toutes ses concurrentes modales, mais alors nous n'avons aucune raison de nous restreindre à une adéquation empirique factuelle. Cet argument pourrait-il être appliqué à notre redéfinition de l'empirisme modal ? Pourquoi restreindre notre adéquation aux situations possibles qui sont des alternatives de situations actuelles ?

Remarquons toutefois que l'empirisme modal ainsi redéfini reste beaucoup plus fort que l'empirisme factuel, puisque nous pouvons envisager des alternatives de situations aussi englobantes qu'on le souhaite. Ainsi nous pouvons envisager un déroulement alternatif de l'univers sur une période suffisamment longue, de manière à ce que des sphères en or d'un certain diamètre apparaissent après un laps de temps, et nous voulons que notre théorie soit empiriquement adéquate pour ce déroulement alternatif possible également. Nous pouvons sans doute savoir qu'un tel déroulement alternatif est physiquement possible.

Pour que l'argument fonctionne, il faudrait concevoir un modèle dont nous ne pourrions savoir s'il s'applique ou non à des alternatives de situations actuelles ou à des situations incluses dans des alternatives de situations actuelles. Mais si nous pouvons effectivement ignorer ce qui est ou non actualisé dans l'univers (nous ignorons le déroulement des choses), nous disposons d'une certaine visibilité sur ce qui est physiquement réalisable ou non dans l'univers : nos connaissances cosmologiques

nous permettent en une certaine mesure d'exclure les conditions d'applications trop exotiques pour s'appliquer dans notre univers actuel et ses déroulements possibles, et on peut considérer que les autres sont tous (a priori) possibles.

Cette nouvelle définition de l'adéquation empirique, restreinte aux alternatives de situations actuelles, est donc pratiquement identique à l'ancienne, à ceci près que nous pouvons rester agnostique sur l'adéquation empirique de notre théorie quand elle concerne des modèles qui ne peuvent (ni n'ont pu ni ne pourront) s'appliquer dans l'univers actuel. Nous pouvons y voir une vertu : nous avons remarqué que l'adéquation empirique modale est strictement sous-déterminée par l'expérience dans les cas extrêmes (les expériences irréalisables dans notre univers : voir section 7.3.2). Ce n'est plus le cas ici : nous ne considérons l'adéquation empirique des modèles que tant qu'ils sont potentiellement applicables dans l'univers, et les théories ne différant que pour des types d'expérience irréalisables, c'est-à-dire qui ne pouvant être exemplifiés que dans d'autres univers possibles, peuvent être considérées empiriquement équivalentes. En outre, même s'il peut exister une zone grise entre les types d'expérience qu'on pense réalisables et ceux qu'on ne pense pas réalisables dans notre univers, le fait de devoir considérer des situations plus ou moins englobantes pour « atteindre » des possibles peut permettre une analyse plus fine du fait que certains énoncés modaux sont quasi-métaphysiques (quand ils présupposent des déroulements divergents dès l'origine de l'univers, ou des alternatives à une énorme partie de l'univers) quand d'autres sont plus mondains (« il pourrait pleuvoir demain »). On pourrait rendre compte du fait que certains rapports de nécessité postulés par nos théories sont moins certains que d'autres, s'ils nous demandent d'envisager des situations complexes à propos desquelles l'incertitude est plus grande. Tout ceci colle bien avec une évaluation pragmatiste des modalités.

La notion d'adéquation empirique ainsi obtenue est donc logiquement plus faible que celle que nous avons formalisé dans la partie précédente, car elle porte sur un ensemble de situations possibles plus restreint, et on peut y voir une vertu, puisqu'elle élimine précisément les cas problématiques, pour lesquels l'adéquation empirique serait sous-déterminée. Il s'agit en effet d'une proposition qui a le mérite de maintenir un ancrage avec l'expérience : nous ne pouvons faire référence à des situations possibles qu'en passant par les situations actuelles, notamment celles auxquelles nous faisons directement référence, par ostentation, depuis notre situation épistémique. De quoi limiter les spéculations métaphysiques.

Si nous pouvons étendre ainsi l'adéquation empirique aux situations

possibles directement et indirectement accessibles par voie de méréologie, il reste un prérequis si l'on veut pouvoir attribuer des propriétés modales aux situations actuelles du monde sur la base de l'adéquation modale de nos théories. En effet, l'adéquation modale concerne toutes les situations possibles du monde puisqu'il s'agit de notre base d'induction, mais une propriété modale attribuée à une situation actuelle sera représentée par l'ensemble des alternatives de cette situation uniquement, soit un sous-ensemble restreint des situations possibles : celles qui sont directement accessibles depuis notre situation. Or rien ne nous indique que nos théories seront empiriquement adéquates à propos de cet ensemble plus restreint. Notre base d'induction est un ensemble de situations différentes du monde, non un ensemble de situations alternatives à une même situation. Comment pourrions-nous savoir que les alternatives d'une situation, auxquels nous n'avons aucun accès, respectent les prédictions de nos modèles ?

Bien sûr, l'induction nous autorise à étendre l'adéquation empirique à toutes les situations possibles, donc à celles-ci également, mais encore faut-il que les alternatives d'une même situation constituent un échantillon représentatif des situations possibles exemplifiant le même type. Je sais par expérience que la moitié des pièces jetées tombent sur face. Je peux en inférer, selon l'empirisme modal, que la moitié des jets de pièce possibles tombent sur face. Mais puis-je inférer que la moitié des jets possibles de cette pièce particulière en cet instant précis (ni avant ni après) tombent sur face ? Si nous voulons attribuer des propriétés modales aux situations du monde sur la base de nos théories, la réponse doit être oui.

Considérer que notre échantillon restreint de situations (les jets possibles de cette pièce ici et maintenant) est représentatif de toutes les situations possibles exemplifiant le même type général d'expérience (les jets de pièce en général), c'est considérer que les critères qui nous ont permis de sélectionner cet échantillon n'influent pas sur la répartition des déroulements possibles. Or outre le fait que l'alternative d'une situation actuelle sera une situation exemplifiant le même type (il s'agira toujours d'un jet de pièce), elle partagera également avec elle une position dans l'univers (rappelons en effet que le langage des situations possibles a pour fin, entre autre, de permettre une évaluation pragmatique et située des modalités). Affirmer que ces critères n'influent pas sur les prédictions des modèles revient à adopter un postulat de séparabilité : les relations qu'entretient une situation aux autres situations qui l'entourent dans l'espace et le temps, c'est-à-dire son positionnement dans l'univers, n'affectent pas les prédic-

tions⁵. Or, on peut affirmer qu'il s'agit là d'un postulat empirique, et qu'il est bien confirmé par l'expérience : nos théories sont applicables en tous lieux et en tous temps, et font des prédictions fiables et indépendantes de l'environnement de l'expérience⁶. C'est même un prérequis si les modèles théoriques sont indexicaux : ils font leurs prédictions indépendamment de la situation particulière à laquelle ils s'appliquent. Ainsi, par principe d'indifférence, nous avons toutes raisons de penser que l'ensemble des situations accessibles depuis une situation particulière est un échantillon représentatif de l'ensemble des situations de ce type tout court.⁷

On voit que s'il semble au premier abord y avoir un fossé épistémique entre le fait de procéder à une induction sur toutes les situations possibles, et le fait d'attribuer des propriétés modales à certaines situations actuelles, ce n'est pas forcément le cas : c'est bien en confrontant nos théories à des situations différentes exemplifiant le même type général d'expérience qu'on parvient, par induction, à attribuer à *chacune* de ces situations des propriétés modales, en ce sens où chaque situation observée est bien l'une des alternatives d'une situation exemplifiant ce type.⁸

Nous considérerons donc dans la suite qu'il est possible d'identifier différentes situations possibles comme les alternatives d'une même situation actuelle, et que nous pouvons affirmer que le modèle abstrait qui représente les situations de ce type est empiriquement adéquat, y compris quand on restreint son application aux alternatives d'une unique situation actuelle. Ceci nous permettra d'affirmer que le modèle représente correctement cette situation actuelle, y compris l'ensemble de ses caractéristiques modales : le modèle représente non pas un type abstrait, mais une situation particulière

5. Les conditions d'arrière-plan peuvent influencer sur les prédictions, mais ceci affectera l'adéquation empirique de la théorie dans son ensemble, pas le fait de restreindre celle-ci à un échantillon situé.

6. Les prédictions de la mécanique quantique sont certes contextuelles, mais nous considérons jusqu'ici que la façon dont est mesurée une situation est une caractéristique de cette situation. Nous reviendrons à plusieurs reprises sur cet aspect plus loin.

7. Ce qui est bien confirmé empiriquement est l'indépendance des prédictions vis-à-vis du *type* des situations environnantes, et on pourrait maintenir que les évolutions possibles d'une situation pourraient en principe dépendre de l'instance particulière de situation, indépendamment du fait qu'elle ou les situations environnantes exemplifient certains types d'expérience, mais défendre ceci nous demanderait de faire appel à une *eccéité* qui pourra paraître mystérieuse.

8. Nous pourrions rapprocher cette observation de l'empirisme modal développé (à propos des modalités métaphysiques) par Roca-Royes (2014) : il s'agit, dans le cadre d'une sémantique des mondes possibles, de s'appuyer sur une similitude entre la relation de contrepartie trans-mondaine et la relation de ressemblance intra-mondaine, pour défendre la possibilité d'une connaissance modale sur la base de l'expérience.

du monde. Autrement dit, nous serons à même de tirer des enseignements ontologiques du contenu de nos modèles.

Ainsi, l'adoption de modalités *de re* nous permet, d'une part, de procéder à des inférences ontologiques, en attribuant des propriétés modales aux situations du monde sur la base du contenu de modèles abstraits, et d'autre part, de défendre une position actualiste cohérente et parcimonieuse, compatible avec l'empirisme modal.

9.1.5 *Identité, type et variations possibles*

Cette approche a un dernier prérequis important. Nous avons évoqué à de multiples reprises la notion de type d'expérience exemplifié par une situation, indiquant notamment que les alternatives d'une situation sont des situations exemplifiant le même type général. Il s'agit d'apporter une contrainte sur la relation d'accessibilité entre situations possibles. Il nous reste donc à caractériser ce type.

Si l'on veut adopter une telle contrainte, c'est qu'on veut pouvoir dire que si une situation avait été « trop différente », ça n'aurait plus été la « même » situation. Si par exemple nous voulons considérer tous les déroulements alternatifs d'une expérience, nous voulons exclure le cas où une bombe vient frapper notre laboratoire et détruire l'objet de l'expérience : bien que l'emplacement de cette situation alternative dans l'univers peut être la même (c'est le même objet qu'on observe), elle est trop différente pour constituer un déroulement de l'expérience. Il faudrait peut-être plutôt la considérer comme la partie d'une situation possible plus englobante, qui inclurait une partie de l'environnement du laboratoire.

Caractériser ainsi les contraintes sur la relation d'accessibilité revient donc peu ou prou à adopter des critères d'identification pour nos situations : nous considérons qu'une situation trop différente n'est plus « la même situation ». On voit que ces contraintes ressemblent assez fortement aux critères d'identification trans-mondains généralement invoqués dans le cadre d'une sémantique des mondes possibles. On peut par exemple, à l'instar de Kripke, invoquer le critère de nécessité de l'origine pour identifier la même personne d'un possible à l'autre, mais il est aussi possible d'invoquer comme critère l'appartenance à un type. Mais il ne faut pas voir dans cette contrainte une question métaphysique, mais plutôt pragmatique. Il ne s'agit pas d'affirmer que les situations seraient dotées d'une essence (rappelons que les types d'expérience caractérisent notre relation aux situations, voir la section 5.2.1), mais plutôt de remarquer que tester l'adéquation empirique d'une théorie nous demande d'identifier des types, des critères

d'application pour nos modèles, qui limitent le domaine du concevable. Rappelons que le fait de concevoir les situations possibles comme alternatives de situations actuelles a pour but, entre autre, de conserver certaines conditions d'arrière-plan sans forcément les connaître toutes : nous concevons les alternatives d'une situation actuelle par contraste avec cette situation (en faisant varier certains degrés de liberté par exemple), « toutes choses égales par ailleurs ». L'étendue des possibles que l'on considère est donc pragmatiquement limité. Ceci exclut de considérer parmi les possibles le cas où une bombe viendrait frapper notre laboratoire, ou le nombre illimité de possibilités qui viendraient perturber notre expérience. Mais n'y voyons pas une limitation de principe au domaine du concevable. Les alternatives que nous ne considérons pas ne sont pas en soi impossibles, mais elles ne nous intéressent pas dans le cadre d'une application de la théorie, et on pourrait toujours les enrégimenter, si elles nous intéressaient, en considérant des situations plus englobantes.

On peut aussi y voir, comme nous le verrons section 9.3, une attitude parcimonieuse. Le fait de rendre moins de possibilités accessibles depuis une situation particulière, mais d'exiger de pouvoir les retrouver depuis des situations plus englobantes, nous engage moins sur le plan métaphysique.

Le fait de limiter l'étendue des alternatives à une situation s'apparente donc à l'adoption de critères d'identités trans-mondains, qui nous permettent d'affirmer que nous parlons toujours de la « même » situation. Dans le cadre d'une sémantique des situations possibles, nous ne pouvons employer de tels critères d'identification trans-mondains pour les situations, puisque ces dernières sont utilisées directement pour quantifier sur les possibles, et ne sont pas identiques à leurs contreparties. Mais les contraintes apportées sur la relation d'accessibilité ont exactement la même fonction : il s'agit de spécifier les conditions pour qu'une situation possible soit bien une alternative de la même situation. Ces conditions prendront la forme d'un énoncé nécessaire, s'appliquant à toutes les situations possibles accessibles depuis une situation actuelle (voir l'annexe de ce chapitre) :

$$(\forall s)(As \rightarrow \Box_s As)$$

S'il nous faut regrouper les situations en types, nous pouvons nous baser, pour ceci, sur leurs caractéristiques objectivables, et en particulier celles qui sont impliquées quand il s'agit de savoir si un modèle s'applique ou non à une situation : le type de système et sa dynamique, ses conditions initiales, les propriétés mesurées sur ce système. Les modèles qui s'appliqueront aux alternatives d'une même situation partageront donc certaines

conditions d'application, et nous pourrions les regrouper au sein d'un unique modèle abstrait qui les synthétise, et qui possède lui aussi ces conditions d'application partagées. Il s'agirait alors d'affirmer que les mêmes modèles abstraits s'appliquent aux situations possibles qui entretiennent une relation d'accessibilité, c'est-à-dire qu'elles partagent les mêmes caractéristiques objectivables impliquées dans les conditions d'application de ces modèles abstraits. Ceci semble prérequis si nous voulons que lesdits modèles nous servent effectivement de guides pour attribuer des propriétés modales aux situations : ces modèles abstraits doivent synthétiser toutes ces situations possibles, et donc s'appliquer à chacune d'elles.

Le découpage en types suivra donc exactement le découpage en modèles abstraits que propose la théorie : il dépend au moins en partie de notre théorie, de son vocabulaire et de son formalisme. Mais il reste fondé sur des caractéristiques objectivables, et si notre théorie est empiriquement adéquate, c'est que le découpage en types que propose son vocabulaire est lui-même adéquat, en ce qu'il correspond à des types projectibles. Rien ne nous oblige à ériger ces types en classes naturelles : il se peut qu'ils soient relatifs à notre situation épistémique, mais ceci n'invalide pas le fait que la plupart des situations que nous rangeons sous un type possèdent les propriétés modales que nous leur attribuons (voir le chapitre précédent).

Pour autant il reste une difficulté. Le problème que nous rencontrerons est que l'identification de modèles abstraits peut revêtir un aspect arbitraire. Nous avons proposé dans la partie précédente de cette étude une identification précise des modèles, qui revient à adopter les critères les plus stricts possibles (leurs conditions d'application incluent le maximum de caractéristiques objectivables, y compris les conditions initiales et les propriétés mesurées) mais ici nous souhaitons nous intéresser à des classes de modèles, c'est-à-dire à des regroupements de ces modèles unitaires qui synthétisent plusieurs situations possibles. C'est bien ainsi que nous comptons parvenir à attribuer des propriétés modales aux situations du monde. Seulement, ces regroupements peuvent se faire de différentes façons, suivant ce qu'on considère être une situation.

Il n'y aurait aucun problème si une théorie physique pouvait nous proposer un découpage univoque des situations du monde en types, associant un modèle à chacun de ces types. Elles le font parfois en partie (il existe des types de particules). Mais il existe aussi, en pratique, une certaine latitude sur ce qui constitue un modèle de la théorie, un « même type » d'expérience, et plusieurs niveaux de généralisation ou d'abstraction sont disponibles. Une situation possible qui correspond au même type de système, mais des conditions initiales différentes, est-elle une alternative de la même situa-

tion ? Et une situation dans laquelle on mesure des choses différentes ? Si dans une situation expérimentale on prépare un électron dans un certain état, puis on mesure le spin de cet électron dans une certaine direction, doit-on considérer qu'un état initial différent aurait été « une autre situation », mais que toutes les mesures de spin dans d'autres directions, voir toutes les mesures possibles d'autres propriétés de ce même électron, correspondent à des alternatives de cette situation ? Ou doit-on considérer, au contraire, que toutes les conditions initiales possibles (les résultats différents pour une première mesure préparatoire) sont des alternatives envisageables mais que des mesures différentes sur cet électron n'en sont plus parce qu'elles impliquent une modification importante de l'environnement de la situation ? Quels sont les présupposés de ces options ? Est-ce un choix conventionnel ? Se peut-il que différentes options nous fassent aboutir à différentes ontologies, c'est-à-dire à attribuer des propriétés modales de natures différentes à des entités de types différent ?

Nous verrons dans ce chapitre et le suivant qu'en effet, différents choix sur la manière de caractériser les alternatives de situations du monde nous engagent envers des ontologies différentes et s'accompagnent de présupposés métaphysiques sur l'étendue des possibles. Nous verrons précisément quelles sont les options envisageables : les situations possibles accessibles devront être des situations du même type de système (en physique, un nombre de particules et leur type, par exemple un atome d'hydrogène modélisé comme un électron dans le potentiel électromagnétique du noyau), puisqu'il faut au préalable savoir de quel type de système on parle pour pouvoir envisager différentes conditions initiales possibles ou différentes mesures possibles sur ce système. Nous pouvons également inclure la dynamique (par exemple, le champ électromagnétique environnant), puisqu'en mécanique quantique, celle-ci apporte des contraintes sur ce qu'il est possible de mesurer sur un système⁹. Mais les situations possibles accessibles pourront aussi être des situations ayant les mêmes conditions initiales (l'électron se situant initialement dans son niveau d'énergie le plus bas) sans que la façon dont elles sont mesurées ne soit pertinente, ou des situations qui sont mesurées de la même façon (on s'intéresse aux niveaux d'énergie de l'électron plutôt qu'à sa position) sans que les conditions initiales ne soient pertinentes. On considérera que si ces caractéristiques varient, on ne s'intéresse plus à la même situation, mais à une autre : par

9. Tenant compte des espaces de Fock en mécanique quantique, on pourrait considérer que certains modèles ne demandent pas de spécifier le nombre de particules dans un système, mais nous laisserons ces aspects de côté dans notre analyse. Nous y revenons brièvement à la fin de ce chapitre.

exemple, que si les conditions initiales avaient été différentes, ce n'aurait pas été la même situation.

Tout ceci relève d'un choix dont nous verrons qu'il n'est pas entièrement dénué de présupposés métaphysiques, qui porte sur ce qu'on considère être une situation du monde et ce qu'on considère être l'étendue des possibles. Nous verrons en particulier que si l'on choisit de ne pas inclure les propriétés mesurées dans les critères identifiants, nous concevons les situations comme des objets autonomes du monde, tandis que si l'on choisit de ne pas inclure les conditions initiales, nous les concevons plutôt comme des configurations du monde. Or ce choix va déterminer les modèles abstraits que l'on va considérer comme représentant les situations du monde, et donc, notre ontologie, cette dernière étant inférée du contenu de ces modèles en ce qu'ils se rapportent à l'expérience.

Ce choix n'est pas entièrement conventionnel, mais a des implications tangibles : par exemple, le fait d'identifier une situation par ses conditions initiales exclut qu'une situation qui diffère par ses conditions initiales en soit une alternative, et donc, cette situation n'est pas à considérer dans l'adéquation empirique de notre théorie. Mais nous verrons plus loin que nous pouvons, sous certaines conditions, considérer cette situation comme la partie de l'alternative d'une situation temporellement plus englobante de manière à conserver l'étendue de l'adéquation empirique des théories. Tout au plus, nous limitons l'adéquation empirique aux types de systèmes, conditions initiales et mesures qui sont réalisables dans l'univers, mais dans la lignée des remarques précédentes, nous pouvons y voir une vertu, du moins tant que nous pouvons toujours quantifier sur un ensemble suffisamment large de modèles de la théorie.

Dans le chapitre suivant, nous envisagerons les différents critères identifiants qu'il est possible d'adopter sur la base des ingrédients de base des modèles théoriques de la mécanique quantique non relativiste, et nous discuterons la manière d'évaluer ces options. Mais avant de procéder à cette analyse, nous souhaitons introduire dans ce chapitre quelques outils théoriques qui permettent de formaliser les deux principales caractéristiques des modèles et situations : les conditions initiales et les propriétés mesurées. Ceci nous permettra, dans la dernière section, de décliner plusieurs types de propriétés modales, et ainsi de proposer différentes façons d'interpréter métaphysiquement les modalités dans un cadre empiriste.

9.2 Les caractéristiques des modèles et situations : aspects formels

Dans la section précédente, nous avons jeté les bases de la méthode qui va nous permettre d'inférer une ontologie sur la base de l'adéquation empirique de nos théories : il s'agit de considérer le contenu des modèles abstraits s'appliquant à des situations exemplifiant un certain type d'expérience. Ces modèles synthétisent les situations possibles qui correspondent à des alternatives des situations qu'ils représentent. Nous sommes alors en mesure d'affirmer que ces modèles, du moins dans la mesure où leur contenu se rapporte à des expériences possibles, représentent correctement chacune des situations auxquelles ils s'appliquent, y compris sous leurs aspects modaux.

Pour récapituler, nous avons à notre disposition les éléments suivants :

- Les situations concrètes sont des entités occurrentes dans le monde, dotées de caractéristiques objectivables (qui nous permettent en particulier de qualifier un type de système, ses conditions initiales, ce qui est mesuré sur ce système et les résultats des mesures : ces caractéristiques qualifient le type d'expérience exemplifié par la situation)
- Les modèles sont des structures mathématiques dont certains éléments sont associées à un vocabulaire théorique. Ils nous permettent de représenter ces situations concrètes depuis la théorie en spécifiant l'ensemble des caractéristiques objectivables pertinentes pour la théorie
- Les situations concrètes ont des alternatives concevables, conçues sur la base de variation de certaines de ces caractéristiques, « toutes choses égales par ailleurs ». Ces variations peuvent concerner, par exemple, les conditions initiales, les propriétés mesurées, les résultats des mesures. Ces alternatives peuvent également être représentées par des modèles.
- Seules certaines de ces alternatives concevables sont physiquement possibles. Elles pourront être synthétisées au sein d'un modèle abstrait regroupant plusieurs modèles, leur assignant éventuellement des poids de probabilité. Un modèle abstrait représente donc l'ensemble des caractéristiques modales d'une situation concrète.

Il nous reste à exposer les différentes façons dont ces modèles abstraits peuvent être construits. Nous avons vu, en effet, que la caractérisation des situations possibles accessibles depuis une situation actuelle, et qui en sont donc des alternatives, pouvait revêtir un aspect arbitraire, suivant les

caractéristiques objectivables des situations qu'on considère ou non fixes d'un possible à l'autre (qui sont l'analogie de critères d'identification transmondains pour les situations). Il nous faut maintenant en dire un peu plus à ce sujet. Pour ce faire, nous allons introduire certaines notions techniques de manière à pouvoir parler des modèles d'une théorie, de leurs conditions d'application (donc des critères d'identification envisageables pour les situations) et de leur adéquation empirique en toute généralité. Il s'agira notamment de comprendre comment on peut modéliser les caractéristiques objectivables des situations qui entrent en compte quand on les regroupe en types : les conditions initiales et les propriétés mesurées. Nous proposerons ensuite de les qualifier de manière moins formelle.

9.2.1 *Caractériser les situations de manière empiriste*

Comment représenter au sein d'un modèle une situation concrète, par exemple une situation expérimentale, suivant une approche empiriste ? On pourrait se contenter de lister les propriétés physiques mesurées dans cette situation. Si nous mesurons la position d'un pendule le long d'un axe quatre fois de suite à intervalle régulier, à l'aide d'une règle graduée au centimètre près, nous nous représenterons la situation par quatre valeurs de position, par exemple $\{0\text{ cm}, 5\text{ cm}, 0\text{ cm}, -5\text{ cm}\}$. On pourra indexer ces valeurs dans le temps. Mais cette caractérisation de la situation expérimentale, c'est-à-dire du type d'expérience exemplifié, est insuffisante : il nous faut aussi indiquer que c'est la position suivant une certaine direction que nous mesurons, à l'aide d'une règle graduée au centimètre près (et d'une horloge ayant une certaine précision – nous laissons de côté les aspects temporels pour simplifier la présentation). Cette simple caractérisation implique déjà qu'un ensemble de valeurs *auraient pu être obtenues* : l'emploi d'une règle graduée implique une plage de valeurs possibles comme résultats de mesure, qu'on pourra caractériser en listant ces valeurs, par exemple : $\{-10\text{ cm}, -9\text{ cm}, \dots, 9\text{ cm}, 10\text{ cm}\}$. Enfin nous devons spécifier le type de système : il s'agit d'un pendule. Du point de vue d'une théorie physique, un pendule est un système qu'on peut mesurer de différentes façons : nous pouvons mesurer sa position, à des degrés de précision divers, mais aussi peut-être sa vitesse instantanée. On pourrait donc caractériser formellement notre pendule de manière plus complète en détaillant l'ensemble des propriétés mesurables sur ce système, chacune prenant la forme d'une liste de valeurs possibles.

Ainsi le simple fait de caractériser une situation depuis une théorie nous permet d'envisager un certain nombre d'alternatives logiquement

concevables à cette situation : le type de système implique plusieurs mesures concevables, une mesure implique plusieurs résultats concevables.

Les différentes propriétés mesurables ne sont pas indépendantes les unes des autres. Si, par exemple, nous troquons notre règle graduée au centimètre pour un dispositif plus précis qui mesure la position du pendule au millimètre près, nous pouvons déjà dire, intuitivement, que quand le pendule est mesuré à une position de 91 mm , il *aurait été* mesuré à une position de 9 cm avec notre vieille règle. Il existe donc certaines contraintes qui relient les différentes propriétés mesurables entre elles et leurs valeurs possibles.

Selon nous, le rôle des espaces de phase est d'exprimer sous la forme d'une structure mathématique l'ensemble de ces contraintes entre les différentes propriétés mesurables possibles. Ainsi, le simple fait de concevoir la position le long d'un axe comme prenant une valeur réelle entre $-\infty$ et $+\infty$ permet de spécifier certaines relations entre les différentes mesures de position possibles. La position, ainsi conçue, est une abstraction : nous ne mesurons jamais une telle propriété à valeur réelle avec une précision infinie, mais en la caractérisant ainsi, nous concevons différents degrés de précision dans les mesures possibles et les rapports logiques qu'ils entretiennent. Ces contraintes ne sont pas forcément connues a priori : elles peuvent relever d'un savoir faire expérimental. Les espaces des phases peuvent voir leur structure modifiée au cours des changements théoriques. Mais ces contraintes apparaissent, du point de vue d'une théorie, comme des contraintes purement logiques (on pourrait parler, dans la lignée des remarques de la section 8.2.2, d'analyticité relative), qui dépendent de la signification des termes théoriques plutôt que des lois de la théorie.

Nous pourrions peut-être reconstruire les espaces de phase en partant de propriétés discrètes mesurées, et en intégrant successivement certaines contraintes sur ces propriétés et leurs valeurs possibles, mais la tâche serait fastidieuse, et il est plus aisé de procéder dans la direction inverse : partir des espaces de phase pour définir, sur leur base, ce que sont les propriétés mesurées et leurs valeurs. C'est ce que nous proposons de faire dans cette section.

9.2.2 *Espace des phases, propriétés observables et adéquation empirique*

Nous présentons dans cette sous-section les notions d'*espace des phases*, de *propriété mesurable*, de *valeur de propriété* et d'*histoire*. Il s'agit de notions applicables à la plupart des théories physiques (elles sont utilisées

par exemple dans l'approche des histoires consistantes en mécanique quantique : nous nous inspirons partiellement de Griffiths (2003) pour notre présentation). Elles permettent de formaliser les différents ingrédients des modèles théoriques associés à leurs conditions d'application, donc aux caractéristiques objectivables des situations auxquelles ils s'appliquent, et la manière dont les prédictions de ces modèles peuvent être infirmées ou confirmées par l'expérience. De manière à offrir une compréhension intuitive de ces notions, nous les présentons à partir d'un exemple simple construit artificiellement pour nos besoins.

Imaginons une expérience consistant à lancer un dé à six faces trois fois de suite successivement. Chaque fois, nous regardons si le nombre obtenu est pair ou impair (c'est notre propriété mesurée). Nous décidons de nous intéresser uniquement aux cas où le premier lancé donne un résultat pair (c'est notre condition initiale). Nous voulons tester la théorie suivant laquelle à chaque nombre pair succède un nombre impair. Comment formaliser ce type d'expérience ?

Nous avons indiqué section 4.2.2 qu'un modèle théorique était construit à partir d'une spécification des ingrédients suivants, qui caractérisent les types d'expérience auxquels le modèle s'applique et ceux pour lesquels il fait de bonnes prédictions :

- un type de système S (degrés de liberté et propriétés intrinsèques) et sa dynamique
- des conditions initiales I
- les propriétés mesurées sur le système O
- ces éléments permettent de dériver des prédictions P_{SIO} , c'est-à-dire des valeurs possibles pour les propriétés mesurées¹⁰

Ici, S est le type de système considéré, c'est-à-dire une succession de

10. Notons que ceci correspond plus ou moins à la façon dont van Fraassen (2008, p. 147) présente une situation expérimentale (« measurement situation ») : « a family M of observables (physical magnitudes) each with a range of possible values; a set S of states-physical states of both the system measured and of the measuring system; a stochastic response function P_s^m for each m in M and s in S , which is a probability measure on the range of m ; with P_s^m to be interpreted as the probability that a measurement of m will yield a value in E , if performed when the state is s . » Van Fraassen envisage ici un modèle abstrait correspondant à un type de système, dont les conditions initiales (« state ») et les propriétés mesurées (« observable ») constituent des paramètres. Nous envisageons pour notre part un modèle tel que ces paramètres ont été spécifiés en concordance avec la situation expérimentale, pour nous intéresser plus tard, à l'issue d'une induction, à ce type de modèles abstraits. On retrouve en tout cas les mêmes ingrédients principaux : les propriétés mesurées et les conditions initiales, ceux-ci permettant de dériver des prédictions. Le type de système y est implicite, puisqu'il est requis pour pouvoir spécifier les états possibles du système.

lancés de dé. Le degré de liberté correspondant (le nombre affiché sur le dé) permet de spécifier l'ensemble des valeurs $\{1 \dots 6\}$ qu'on peut obtenir à l'issue de chaque lancé, c'est-à-dire *l'espace des phases* du système. Bien que l'exemple du dé ne le laisse pas transparaître, il ne faut pas y voir un ensemble de valeurs de propriétés directement mesurables, mais plutôt des quantités théoriques postulées qui intègrent déjà un ensemble de contraintes sur des mesures possibles.

À partir de l'espace des phases, nous pouvons définir des *valeurs de propriétés*, qui, elles, seront plus directement reliées à l'expérience. Elles correspondent à un ensemble restreint d'éléments de l'espace des phases correspondant au fait, pour le système considéré, d'avoir une propriété. Ainsi la valeur de propriété « résultat impair » correspondra à l'ensemble des résultats $\{1, 3, 5\}$, la valeur de propriété « strictement inférieur à 5 » à l'ensemble $\{1, 2, 3, 4\}$, et la valeur « exactement 2 » à l'ensemble constitué d'un seul élément, $\{2\}$. En somme, une valeur de propriété est une région de l'espace des phases (voir la figure 9.1). Cette façon de concevoir les propriétés comme des régions d'un espace permet de retrouver les opérateurs logiques appliqués aux propriétés : l'union de deux régions correspond à la disjonction logique, l'intersection à la conjonction logique, la région complémentaire à la négation logique, et les opérations sur les régions respectent les règles d'inférence de la logique classique.¹¹ On voit donc assez directement en quoi un espace des phases encode un ensemble de relations logiques entre valeurs de propriétés possibles.

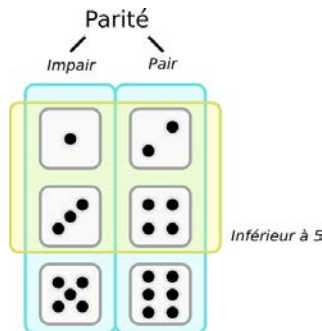


FIGURE 9.1 – L'espace des phases d'un jet de dé

L'ingrédient *I* des modèles théoriques que nous appelons conditions initiales du système consiste à spécifier une telle valeur de propriété pour

11. Remarquons au passage une parenté avec la notion d'intension : formellement, on peut caractériser l'intension d'une propriété comme son extension dans les mondes possibles. Ici, on la caractérise par un ensemble d'états possibles.

le système au début de l'expérience (en vue d'éliminer les situations qui ne nous intéressent pas), ou éventuellement une répartition de probabilités sur de telles valeurs si ces conditions sont imparfaitement connues. Dans notre exemple où l'on s'intéresse uniquement aux cas où le premier lancé donne un résultat pair, $I = \textit{pair} = \{2, 4, 6\}$.

Spécifier ce que l'on va mesurer sur le système, c'est spécifier un ensemble de *propriétés mesurables* indexées dans le temps. Si une mesure donne toujours un résultat objectif, une propriété mesurable possède un ensemble de valeurs possibles disjointes et couvrant l'espace des phases dans son ensemble¹². Il s'agira de partitionner l'espace des phases, c'est-à-dire de le découper en régions disjointes qui, à elles toutes, couvrent l'espace dans son ensemble, chaque mesure consistant à « demander au système » dans laquelle de ces régions il se trouve à un instant donné. Ainsi la propriété mesurable « parité » correspondra à un découpage de l'espace des phases en deux régions : la région des nombres impairs $\{1, 3, 5\}$ et celle des nombres pairs $\{2, 4, 6\}$. Autrement dit, spécifier une propriété mesurable revient à spécifier un ensemble de valeurs possibles telle que une et une seule de ces valeurs sera obtenue à l'issue d'une mesure¹³.

L'ingrédient O des modèles théoriques, que nous appelons les propriétés mesurées, peut être formalisé comme un ensemble de propriétés mesurables indexées dans le temps (ou, dans notre cas, indexées par le numéro du lancé). Dans notre exemple, où nous nous intéressons à la parité des résultats lors de trois lancers, nous aurons $O = \{\textit{parite}_1, \textit{parite}_2, \textit{parite}_3\}$.

Nous pouvons ainsi formaliser les différents ingrédients de base d'un modèle d'une théorie physique : le type de système S permet de spécifier un espace des phases, des conditions initiales I correspond à une valeur de propriété observée à l'instant initial de l'expérience, et les propriétés mesurées O à un ensemble de propriétés mesurables indexées dans le temps. Il nous reste à formaliser les prédictions P du modèle, qui sont dérivées en appliquant les lois de la théorie à ces ingrédients de base, et la façon dont ces prédictions peuvent être confirmées ou infirmées.

À cette fin, il est possible d'associer au déroulement d'une expérience une *histoire*, c'est-à-dire une succession de valeurs de propriétés indexées

12. ceci est vrai même si l'étendue des valeurs mesurable est limité. Si une règle graduée ne va pas au-delà de 20 *cm*, l'une des valeurs mesurables pourra être « au-delà de 20 *cm* ».

13. À l'inverse, une même valeur peut correspondre à plusieurs propriétés mesurables différentes. Par exemple dans le cas du dé, la valeur $\{1\}$ peut correspondre à la propriété mesurable « inférieur à 2 » qui découpe l'espace des phases en deux régions, ou à la propriété mesurable « nombre exact affiché » qui le découpe en six régions.

dans le temps qui correspondront à un déroulement concevable d'une expérience. Le type de système considéré nous permet d'envisager tout un ensemble d'histoires possibles correspondant à des nombres de lancés et propriétés mesurées différents, par exemple $\{pair, inférieure\}$, $\{exactement\}$, ou encore $\{pair, pair\}$. Bien sûr, toutes les histoires ne peuvent être envisageables lors d'une expérience d'un certain type. Le fait de spécifier les conditions initiales du système et les propriétés mesurées nous amène à restreindre l'ensemble des histoires envisageables : dans notre cas, il faut encore que le nombre de lancés (3) corresponde au nombre d'éléments de l'histoire et que chaque valeur observée corresponde à l'une des valeurs possibles de la propriété mesurable spécifiée par O pour ce lancé (une valeur de parité). Enfin il faut que le premier élément de l'histoire corresponde aux conditions initiales du système I .

Nous voyons donc que le simple fait de considérer les conditions d'application des modèles limite le nombre d'histoires envisageables. Ceci ne signifie pas qu'il est inconcevable que les autres histoires se produisent (elles pourront s'appliquer à des situations alternatives, quand nous nous intéresserons à des modèles abstraits qui permettent des variations dans les conditions initiales ou propriétés mesurées), mais seulement qu'elles ne nous intéressent pas : elles ne concernent pas la situation concrète à laquelle nous appliquons notre modèle. Nous pouvons donc formaliser les conditions d'application d'un modèle simplement en spécifiant l'ensemble des histoires compatibles avec celles-ci (du moins une fois le type de système et sa dynamique spécifiés), c'est-à-dire, en quelque sorte, l'ensemble des types d'expérience qui appartiennent au domaine d'application du modèle. Notons A_{SIO} cet ensemble. Dans notre cas, où l'on observe la parité de trois lancés, il s'agira de l'ensemble des résultats envisageables pour trois lancés de dés dont on observe chaque fois la parité, tel que le premier lancé est pair, c'est-à-dire les histoires suivantes :

$$A_{SIO} = \{\{Pair, Pair, Pair\}, \{Pair, Pair, Impair\}, \\ \{Pair, Impair, Pair\}, \{Pair, Impair, Impair\}\}$$

Il s'agit bien ici de spécifier les conditions d'application de notre modèle uniquement puisque les histoires de A_{SIO} sont uniquement celles qui ont les bonnes conditions initiales et propriétés mesurées. Une histoire n'appartenant pas à cet ensemble est une histoire qui ne nous intéresse pas : elle ne permet ni de confirmer, ni d'infirmer les prédictions de notre modèle. Elle correspond à une situation à laquelle notre modèle n'est pas

applicable. Mais toutes ces histoires ne respectent pas les prédictions du modèle.

La théorie nous permet de dériver des ingrédients de notre modèle certaines prédictions. Il s'agit de restreindre encore l'ensemble des histoires possibles à celles qui confirmeront les prédictions du modèle. Notons P_{SIO} cet ensemble (soit les types d'expérience appartenant au domaine de bonnes prédictions du modèle). Dans notre cas, si notre théorie affirme qu'à chaque résultat pair succède un résultat impair, cet ensemble est :

$$P_{SIO} = \{\{Pair, Impair, Pair\}, \{Pair, Impair, Impair\}\}$$

Le modèle fait de bonnes prédictions si l'histoire correspondant au déroulement d'une expérience concrète fait partie de cet ensemble. Nous dirons qu'un modèle est modalement adéquat si l'ensemble des situations physiquement possibles auxquelles le modèle s'applique produisent des histoires de cet ensemble, c'est-à-dire que les histoires de A_{SIO} physiquement possibles sont aussi des histoires de P_{SIO} . Une théorie est modalement adéquate si tous ses modèles le sont. Nous obtenons ainsi une nouvelle formulation, plus précise, de ce qu'il faut entendre par l'adéquation empirique d'une théorie (nous renvoyons à l'annexe pour une formalisation).

Les modèles tels que nous les avons définis au chapitre 4 peuvent donc être formalisés par un espace des phases, un ensemble de propriétés mesurées, des conditions initiales et des prédictions. Il s'agit des modèles les plus complets que nous pouvons obtenir : ils intègrent tous les éléments qui permettent d'établir des prédictions à partir de la théorie. Dans le cas de théories indéterministes, nous avons déjà une notion d'alternatives implicite : le même modèle est compatible avec plusieurs déroulements possibles d'une situation (ce qui se traduit par le fait que P_{SIO} contient plusieurs histoires). Mais c'est en concevant des variations dans les conditions d'application des modèles que nous obtiendrons un ensemble plus riche d'alternatives, qui pourront demander une modélisation mathématique plus sophistiquées (des trajectoires dans les espaces de phase plutôt que des histoires, des probabilités conditionnelles entre propriétés...), et constitueront nos modèles abstraits. Ceci sera développé dans la section suivante, puis appliqué au cas de la mécanique quantique non relativiste dans le chapitre suivant.

9.2.3 Motivations pour l'utilisation des espaces de phases

Nous utilisons l'exemple de lancés de dé de manière à faire saisir au lecteur de manière intuitive les concepts d'espace des phases, de propriété mesurable, de valeur de propriété, et d'histoire. Si l'on envisage les théories sous l'angle de leur application et prédictions, ces concepts peuvent être appliqués aux théories physiques, que ce soit la physique classique ou (sous certaines conditions) la physique quantique (comme l'illustre le formalisme des histoires consistantes, sur lequel nous revenons plus loin). De manière générale, un espace des phases est une structure mathématique dont chaque élément correspond à un état physique possible dans lequel peut se trouver un système d'un certain type. Ainsi un pendule idéal classique (un corps massif attaché à un fil et soumis à un champ de gravitation) à deux degrés de liberté (la position x et la quantité de mouvement p suivant un axe horizontal) aura pour espace des phases un espace à deux dimensions qu'on peut représenter sur un plan, une dimension correspondant à la position et l'autre à la quantité de mouvement (la vitesse du pendule multipliée par sa masse). On peut alors définir, sur cet espace des phases, des valeurs de propriétés qui correspondent à des régions de cet espace : la propriété d'avoir une position comprise entre deux valeurs correspondra à une bande verticale, celle d'avoir une énergie inférieure à une certaine valeur correspondra à la région à l'intérieur d'une ellipse (voir figure 9.2). Une propriété mesurable correspondra à une partition de cet espace en régions. Par exemple, la position mesurée au millimètre près correspondra à un découpage du plan en bandes verticales de 1 mm de largeur.

La notion d'espace des phases est souvent utilisée en mécanique classique. C'est moins souvent le cas des notions de propriétés mesurables et valeurs de propriétés au sens décrit ici : si elles sont d'usage en mécanique quantique (elles correspondent aux observables et aux projecteurs), on peut s'en passer en mécanique classique, où l'on considère généralement que les systèmes ont des valeurs de propriétés bien déterminées. On représente alors l'état instantané d'un système par un point de l'espace des phases plutôt que par une région, et son évolution par une trajectoire (représentée figure 9.2). Ceci dit, il est fréquent de représenter un système non pas par un point, mais par une densité de probabilité sur l'espace des phases, et rien n'empêche d'appliquer ces notions à la physique en général, de manière à obtenir une vision unifiée de la physique classique ou quantique sous l'angle de la confrontation expérimentale.

Le fait de considérer des régions plutôt que des éléments discrets de l'espace des phases permet de rendre compte du fait qu'en pratique, au-

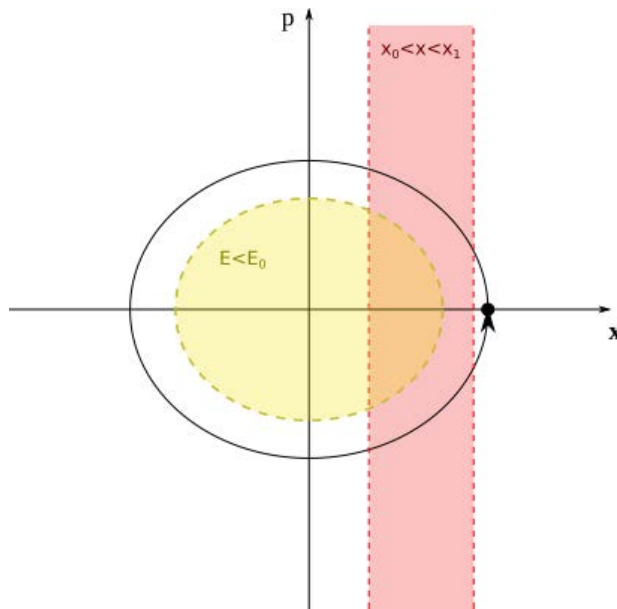


FIGURE 9.2 – L'espace des phases d'un pendule idéal

cune mesure n'a une précision infinie. En outre, les propriétés considérées, n'ont pas à être des propriétés fondamentales de la physique : il peut s'agir de propriétés agrégées macroscopiques, comme la vitesse moyenne d'un ensemble de particules, la température d'un gaz ou la position du centre de gravité d'un corps composite. Envisager les valeurs de propriétés en toute généralité, comme correspondant à des régions de l'espace des phases, permet de rendre compte de cet aspect : une valeur pour une propriété agrégée correspondra à l'ensemble des éléments de l'espace des phases tels que le système a cette propriété agrégée (ou encore, suivant une lecture réaliste, l'ensemble des micro-états possibles réalisant cette propriété macroscopique). Enfin considérer des histoires (ce qui, de nouveau, ne correspond pas à l'usage en mécanique classique, et ne correspond qu'à certaines approches de la mécanique quantique : le formalisme des histoires consistantes) permet de rendre compte du fait que les mesures que nous pouvons enregistrer sur un système sont toujours discrètes plutôt que denses. En somme, notre formalisation permet de rester au plus près de la confirmation empirique des théories.

Comme nous l'indiquons, cette formulation générale est également applicable sous conditions à la mécanique quantique, comme l'illustre l'approche des histoires consistantes. Dans ce cadre, l'espace des phases sera un espace de Hilbert (un espace vectoriel à valeurs complexes pouvant

être de dimension infinie, chacun de ses éléments étant non plus un point, comme dans le cas classique, mais une direction de l'espace), une valeur de propriété correspondra à un sous-espace, formalisable par un opérateur de projection sur ce sous-espace (qu'on peut se représenter comme un axe, un plan ...), et une propriété mesurable simple correspondra à un opérateur linéaire hermitien, ou observable, ces derniers pouvant être formulés sous forme de décomposition projective de l'espace de Hilbert, c'est-à-dire comme attribuant des valeurs réelles (celles de la propriété mesurée) à des sous-espaces de l'espace de Hilbert (l'ensemble des états ayant cette valeur pour cette propriété) de façon à ce que la combinaison de ces sous-espaces couvre l'espace de Hilbert dans son ensemble (à la manière dont la combinaison de trois axes perpendiculaires couvre un espace en trois dimensions). Nous retrouvons ici l'idée qu'une propriété mesurable est une partition de l'espace des phases en régions disjointes.¹⁴

La différence avec la mécanique classique tient à ce qu'un état particulier peut n'être inclus dans aucune de ces régions, et pourtant se situer dans leur combinaison : un vecteur peut se situer dans un plan sans se situer sur l'un des deux axes dont la combinaison forme le plan. On parle d'état superposé. De ce fait, si la notion de valeur de propriété est ainsi définie en toute généralité dans le cadre de la mécanique quantique comme sous-espace de l'espace de Hilbert, on ne retrouve plus les règles d'inférence de la logique classique pour les valeurs de propriétés. Typiquement, la distributivité de la conjonction et de la disjonction échoueront.

Pour retrouver les règles d'inférence de la logique standard, il nous faut restreindre notre application des règles d'inférence logique à un « framework », c'est-à-dire se contenter de raisonner logiquement de manière relative à certaines propriétés mesurables compatibles entre elles (orthogonales dans l'espace de Hilbert) en se restreignant d'attribuer au système des valeurs pour les propriétés incompatibles (on n'applique les opérateurs logiques qu'aux valeurs de propriétés mesurables compatibles : c'est l'approche suivie dans le formalisme des histoires consistantes). On peut considérer, en ce sens, que les espaces des phases tels que nous les avons définis jusqu'ici sont des sous-structures de l'espace de Hilbert, qui intègre plusieurs espaces des phases possibles (une infinité). Une autre option consiste à employer la logique quantique au lieu de la logique classique.

14. Dans le cas de mesures faibles, les propriétés mesurables seront plutôt des distributions de probabilités sur les observables, mais comme le montre Kastner (2017), une mesure faible peut se ramener, sur le plan interprétatif, à une mesure classique sur une partie d'un système composite : nous pourrions donc en principe réduire les mesures faibles à des considérations méréologiques. Nous laissons de côté ce cas dans la suite.

Mais si l'on spécifie les propriétés mesurées sur un système pour générer des histoires à partir d'un modèle, ce qui revient à imposer un « framework », on ne rencontre pas le problème : nous obtenons bien une structure d'espace des phases. C'est l'approche que nous suivons ici, et c'est une raison d'intégrer les propriétés mesurées au sein des modèles théoriques.

L'imposition d'un framework est une restriction sur les possibles : elle revient à exclure certaines mesures possibles sur un système. Le contraste entre la mécanique classique et quantique nous montre que la façon dont nous formalisons un espace des phases, et donc les expériences ou situations concevables, n'est pas purement a priori : il s'agit d'un contenu théorique. La différence tient essentiellement aux relations envisagées entre les différentes propriétés mesurables et les valeurs qu'elles peuvent prendre. Ainsi la mécanique quantique implique que certaines valeurs de propriété ne peuvent correspondre à aucune valeur précise pour une autre propriété, et cet aspect est déjà inscrit au sein du formalisme (sans même invoquer des lois d'évolution).

Ceci pourrait nous faire craindre que les enseignements ontologiques que nous pouvons tirer de l'adéquation empirique des théories dépendent en fait de présupposés ontologiques présent chez les scientifiques qui les utilisent. Cependant, remarquons, d'une part, qu'il n'y a rien d'étonnant à ce que nos inférences ontologiques dépendent des théories qu'on considère empiriquement adéquates. D'autre part, les spécificités de la mécanique quantique ne portent pas tant sur la structure des espaces des phases eux-mêmes, dont on a vue qu'elle pouvait être retrouvée en imposant un framework que sur les types d'espaces de phases qui sont ou non autorisés par la théorie. La physique classique semble présupposer que toutes les mesures sur un système pourraient en principe être menées de front, ce qui n'est pas le cas de la mécanique quantique. Une façon de voir les choses est d'affirmer que les espaces des phases disponibles depuis une théorie limitent les conditions d'application possibles (et celles-ci ne sont pas limitées en mécanique classique), quand les lois de la théorie limitent les prédictions possibles.

La présentation technique que nous venons de proposer ne présuppose rien de particulier sur la structure des espaces de phases, et elle est en fait applicable à la mécanique classique aussi bien que quantique pour peu que nous concentrons notre analyse sur la confrontation empirique : nous nous sommes contentés de préciser la manière dont les propriétés mesurables et leurs valeurs, qui sont toutes étroitement liés à l'expérience, peuvent être conceptuellement organisées dès lors qu'on s'intéresse aux propriétés qu'il est concevable de mesurer, et aux valeurs qu'il est concevable d'obtenir à

l'issue d'une mesure. On peut ne voir dans les espaces de phases qu'une manière de conceptualiser les expériences réalisables sur certains types de systèmes et les résultats qu'il est possible d'obtenir, et on peut s'y intéresser de manière théoriquement neutre.

Dans tous les cas, ces notions d'espace des phases, de propriété mesurable, de valeur de propriété et d'histoire permettent de comprendre de manière précise la façon dont les ingrédients des modèles sont liés au fait, pour ces modèles, de s'appliquer à une situation et de faire de bonnes prédictions. On pourra considérer que les résultats possibles de nos appareils de mesure sont associés, lors d'une confrontation expérimentale, à des régions d'un espace des phases. Une expérience consiste donc à découper l'espace des phases en régions, et à « demander au système » dans quelle région il se trouve à différents instants du temps. À partir de la spécification d'un type de système, de conditions initiales et de propriétés mesurées, il est possible de construire des histoires concevables, c'est-à-dire une succession de résultats de mesures, dont certaines seulement correspondront aux bonnes prédictions du modèle. La théorie joue alors deux rôles distincts ¹⁵ : la structure des espaces de phase apporte des contraintes sur les relations qu'entretiennent les différentes propriétés mesurables et leurs valeurs, et les lois apportent des contraintes sur les prédictions.

9.2.4 *Objectivité et perspectives*

Jusqu'ici, outre les aspects formels, nous comprenons les propriétés mesurées et les conditions initiales de manière relativement intuitive sur la base d'exemples. Nous voyons que les propriétés mesurées s'apparentent à des déterminables, et les conditions initiales (et les prédictions) à des déterminés (Sanford, 2008). Mais nous pouvons en dire un peu plus sur ces différentes caractéristiques des situations. Ceci nous permettra dans la section suivante de proposer une taxinomie des différentes propriétés modales qu'on peut attribuer à une situation, et de les rapprocher de catégories de la métaphysique traditionnelle.

Remarquons d'abord que selon nous, les propriétés mesurées dans une situation et les valeurs de ces propriétés (donc les conditions initiales) sont des caractéristiques objectivables plutôt que subjectives, relatives plutôt qu'absolues, et relationnelles plutôt qu'intrinsèques.

Ce sont des caractéristiques objectivables en ce sens que nous pouvons affirmer d'une situation qu'elle n'est pas l'objet d'une expérience (une pierre

15. qui correspondent à ce que Redhead (1975, p. 91-92) appelle lois constitutives et lois corrélatives

qui tombe sur une planète lointaine) que certaines propriétés sont mesurées par l'environnement de cette situation, à partir du moment où certaines interactions ont lieu entre l'objet et son environnement. De même, il est tout à fait possible de construire une situation expérimentale telle que la position d'un électron sera mesurée à l'issue de l'expérience. Nous pouvons savoir quels modèles s'appliquent à cette situation, y compris sur les aspects qui relèvent du type de propriété mesurée au cours de cette situation. Et nous pouvons fort bien laisser l'expérience se dérouler sans qu'aucun être humain ne s'enquiert du résultat de l'expérience. Ainsi ce qui est mesuré sur un système, comme le résultat de cette mesure, sont bien des caractéristiques objectives des situations, indépendantes du fait qu'un être humain en fasse l'expérience. Ceci rejoint la manière dont, dans la littérature scientifique, le concept d'observateur est généralement conçu : non pas en référence à un être humain, mais plutôt à un appareil de mesure (une horloge ...) en interaction avec le système considéré.

Mais les propriétés mesurées et leurs valeurs sont toutefois relatives en ce sens qu'elles ne sont pas conceptuellement indépendantes de notre situation épistémique. Le fait, pour un *type* de propriété mesurable, d'être objectivable est une caractéristique relative à notre point de vue sur le monde et à nos capacités cognitives ou techniques. Comme il a été dit dans le chapitre précédent, c'est bien le fait d'accepter cette relativité de nos représentations à notre situation épistémique qui fait de nous des empiristes. Les propriétés mesurables ne sont pas des classes naturelles. Pour autant, elles ne sont pas subjectives, car les *instances* de ce type de propriété (le fait qu'elles soient mesurées dans une situation particulière et que telle valeur soit obtenue) peuvent nous être indépendantes, c'est-à-dire qu'elles n'ont pas besoin d'être objet d'expérience pour exister, pour autant qu'elles auraient pu l'être.

Pour le dire autrement, et paraphraser Healey (2012) dans son approche pragmatiste de la mécanique quantique, les propriétés mesurées et leurs valeurs concernent la perspective d'un agent potentiel ou actuel. Le fait qu'une instance de propriété soit exemplifiée dans le monde quand le type de cette propriété est relatif à notre position épistémique peut s'exprimer en termes modaux, comme nous l'avons fait au chapitre 5 : si un agent avait été présent (un scientifique compétent), il aurait pu constater que telles ou telles propriétés sont mesurées et telles valeurs sont obtenues.

Enfin les propriétés mesurées doivent se comprendre comme une caractéristique relationnelle, qui concerne la manière dont le système considéré au sein d'une situation s'interface avec son environnement, ou encore, en termes des relations entre la situation considérée et d'autres situations

environnantes ou spatialement englobantes (nous revenons sur ce point dans la section suivante). Pour savoir ce qui est mesuré sur un pendule (par exemple, suivant quel axe de l'espace on mesure sa position), nous pouvons considérer une situation plus englobante qui comprend le pendule et nos instruments de mesure, et la façon dont les deux s'interfacent (la direction de notre règle par rapport au pendule). Ce sont ces relations entre un système et son environnement qui nous permettent de déterminer les propriétés mesurées sur un système. Autrement dit, les propriétés mesurées caractérisent une perspective sur une situation plutôt que cette situation elle-même.

Il découle de cet aspect relationnel que les propriétés mesurées ne sont pas des propriétés fondamentales : elles possèdent un caractère holistique. Il est possible, par exemple dans le cas d'un jet simultané de deux dés, de s'intéresser à la propriété mesurable « obtenir le même résultat pour les deux dés » sans s'intéresser au résultat de chaque dé indépendant. Ou encore, un thermomètre mesurera la température, qui est une propriété agrégée du point de vue de nos théories physiques. Cet aspect holistique apparaît clairement dans notre formalisation (les propriétés mesurables découpent l'espace des phases en régions).

Les aspects relatif et relationnel ne sont pas indépendants l'un de l'autre. En effet, nous accédons aux caractéristiques objectives des situations depuis un point de vue qui dépend de nos capacités perceptuelles et cognitives. Nous n'avons aucune raison de penser, a priori, que les perspectives qui nous sont accessibles épuisent les perspectives possibles. Nous accédons au monde depuis un point de vue macroscopique, et ce ne sont pas des propriétés fondamentales que nous mesurons. La notion de propriété fondamentale ne peut être issue que d'une inférence allant au-delà de l'expérience. Nous ne disposons pas d'un point de vue absolu sur le monde qui nous permettrait d'observer des propriétés intrinsèques. Cependant le caractère relationnel des propriétés mesurées se distingue de son caractère perspectival : l'un concerne les instances de propriétés mesurées (qui sont des relations entre une situation et son environnement) et l'autre les types de propriétés mesurables (qui nous sont conceptuellement dépendantes). Autrement dit, l'aspect relationnel nous dit que les propriétés mesurées dans une situation particulière concernent une perspective sur les situations, et la relativité nous dit qu'elles sont conceptuellement relatives à l'ensemble des perspectives qui nous sont accessibles. Les propriétés mesurées pourraient en principe être relationnelles mais non relatives, mais puisqu'elles sont relatives, elles doivent également être relationnelles plutôt qu'intrinsèques.

Si les propriétés mesurées sur une situation en sont une caractéristique relationnelle, il est a priori envisageable qu'une même situation soit mesurée de différentes façons relativement à différentes parties de son environnement (qu'elle exemplifie plusieurs types d'expérience distincts). En effet, nous devons distinguer les situations, qui sont des entités dans le monde, des perspectives incomplètes que l'on peut avoir sur une situation. À titre d'exemple, imaginons un lancé de dé placé dans un dispositif expérimental, tel qu'un appareil de mesure s'enquiert de la parité du résultat quand un autre s'enquiert de savoir si le résultat est ou non strictement inférieur à 4. Intuitivement, on pourrait dire qu'il s'agit de la même situation observée sous deux angles différents. Ceci dit, il doit exister des contraintes sur les propriétés mesurées et leurs valeurs quand elles concernent la même situation (si l'on mesure la parité et le nombre affiché sur un dé, les résultats « 3 » et « pair » sont incompatibles), ces contraintes de cohabitation entre valeurs de propriétés obtenues, et même, en mécanique quantique, entre propriétés mesurées (on ne peut mener de front certaines mesures), étant encodées au sein de la structure de la théorie, et notamment celle des espaces de phase. Mais en dépit de ces contraintes, différentes valeurs de propriété peuvent cohabiter dans le monde relativement à différentes perspectives. Cependant on peut envisager qu'il existe un point de vue idéal sur une situation, qui serait la combinaison de toutes les propriétés mesurées par différentes parties de l'environnement de la situation (dans le cas du dé, on pourrait combiner les propriétés mesurées « parité » et « strictement inférieur à 4 » en une propriété mesurée dont les valeurs possibles sont : $\{1, 3\}$, $\{2\}$, $\{4, 6\}$, $\{5\}$), et que nos théories sont empiriquement adéquates pour ces points de vue idéaux. Différents points de vue partiels pourraient être retrouvés à partir de ce point de vue idéal¹⁶. Il faudrait procéder à une analyse plus poussée pour savoir ce qui, empiriquement, nous permet d'identifier une situation observée sous différents angles, et ainsi de reconstruire ou de s'approcher de ce point de vue idéal en combinant les points de vue particuliers, mais ceci dépasse le cadre de cette étude.

Pour terminer sur les aspects relationnels, demandons nous en quelle mesure ils peuvent être étendus des propriétés mesurées aux valeurs de ces propriétés, et donc aux conditions initiales des situations. Le fait pour une situation d'être mesurée de telle ou telle façon caractérise les relations entre cette situation et son environnement. Pour savoir ce qui est mesuré dans une situation, il faut considérer d'autres situations environnantes. En revanche,

16. Nous pourrions employer les notions de grossissement et d'affinement (« coarsening » / « refinement ») utilisées par Griffiths (2003).

le fait que telle valeur soit obtenue caractérise la situation elle-même, et non son environnement : c'en est une caractéristique interne, et ce ne sont pas les situations environnantes (ou une situation plus englobante) qu'il faut regarder pour déterminer qu'une valeur de propriété a été obtenue, mais au contraire une partie de la situation (ou une situation incluse). Si l'on s'intéresse à une situation qui concerne un pendule en oscillation sur une certaine plage de temps, il faut, pour connaître la position initiale du pendule, s'intéresser à une situation temporellement incluse : celle qui se réduit à l'instant initial de l'expérience. De manière générale, les conditions initiales d'une situation seront connues en considérant la phase préparatoire d'une expérience uniquement.

Ceci ouvre la voie à l'idée que bien que les propriétés mesurées dans une situation soient une caractéristique relationnelle de cette situation, les résultats de mesure soient, eux, des caractéristiques non relationnelles : la situation aurait la propriété que nous mesurons indépendamment de notre mesure ; elle aurait eu cette propriété même si elle n'avait pas été mesurée ; nous ne faisons que révéler cette propriété par nos mesures. Attirons l'attention, cependant, sur le caractère modal de cette dernière assertion : la situation *aurait eu* cette propriété même si elle n'avait pas été mesurée. Ce n'est bien sûr pas le fait qu'il s'agisse d'un énoncé modal qui posera problème à un empiriste modal, mais il pourrait demander à ce que cet énoncé soit établi par induction sur les possibles. Or si l'objectivité peut nous amener à envisager qu'une propriété existe même quand *nous* ne l'observons pas, il n'existe aucun moyen de savoir qu'une situation possède une propriété si elle n'est pas du tout mesurée par son environnement, et donc il n'y a aucun moyen d'établir par induction qu'une valeur de propriété mesurée est intrinsèque plutôt que relationnelle.

Aussi pour rester neutre, nous considérerons que les valeurs de propriétés sont elles aussi relationnelles, ce qui ne nous engage pas sur le fait qu'éventuellement, elles correspondent exactement à des valeurs de propriétés non relationnelles (un objet pourrait être rouge-vu-depuis-ici si et seulement il est rouge-tout-court) que nous pourrions inférer à l'issue d'une induction modale. Les valeurs de propriétés sont relatives en ce sens : elles sont relatives à la propriété qui est mesurée, qui est elle-même une propriété relationnelle de la situation.

Il peut sembler ici que le fait d'introduire une relativité des valeurs de propriétés d'une situation à ce qui est mesuré est une sophistication inutile. Il est clair que dans la vie courante, nous attribuons des propriétés à nos objets indépendamment du fait que ces propriétés soient observées : cette écharpe est et reste rouge, même quand nous ne la regardons pas. Si nous

insistons sur ce point, c'est pour mettre l'emphase sur le fait que le simple fait d'attribuer ainsi des propriétés intrinsèques et persistantes à nos objets n'est pas métaphysiquement neutre, et un empiriste n'a pas à se prononcer sur ce point de manière purement a priori. Nous souhaitons en particulier montrer que ce type de position métaphysique peut être obtenue à l'issue d'une induction sur les possibles, et qu'il s'agit bien d'une affirmation modale. Enfin cette subtilité, et le fait de laisser ouvertes d'autres options, aura son importance quand il s'agira d'interpréter la mécanique quantique.

En outre, le fait que certaines propriétés soient mesurées par l'environnement d'une situation sans besoin qu'un agent ne soit présent permet de rendre compte du fait qu'une écharpe est et reste rouge même quand aucun humain ne l'observe, pour autant que la propriété d'être rouge est objectivement mesurée par l'environnement (c'est-à-dire que si un agent compétent était présent, il pourrait le constater), et donc nous n'avons même pas besoin, en principe, de considérer que toutes les propriétés sont persistantes et non relatives à une perspective pour rendre compte du fait qu'une écharpe est et reste rouge même quand elle n'est pas observée par un être humain pour peu que cette propriété est bien mesurée par l'environnement (bien entendu, il s'agit d'une illustration : notre objectif n'est pas ici de nous prononcer sur la philosophie des couleurs). Ou pour le dire autrement, le fait que les valeurs de propriétés soient relationnelles n'en fait pas pour autant des valeurs subjectives.

L'objectivité est ici exprimée en termes modaux (« un agent compétent pourrait... »), et tout comme dans le cas des propriétés intrinsèques, on pourrait se demander pourquoi accepter cet énoncé modal. Il est vrai que nous pourrions aussi bien être idéalistes, et pourquoi pas solipsistes. Mais il nous semble que les arguments philosophiques en faveur de l'objectivité sont plus pressants que ceux envers l'existence de propriétés intrinsèques, et qu'un refus de l'objectivité minerait la rationalité scientifique dans son ensemble (comme l'illustre l'argument de van Fraassen en faveur de l'idée de considérer les phénomènes observables plutôt que simplement observés), tandis que l'idée que les valeurs de propriétés mesurées soient toutes relationnelles ne pose pas de problèmes particuliers.

Nous voyons en quoi le fait d'attribuer des propriétés intrinsèques à un objet peut relever du discours modal : un objet a une propriété intrinsèque si cette propriété est présente quel que soit ce qu'on observe de cet objet. Nous allons étendre ce type de remarque dans la section suivante, et à l'issue de nos analyses, nous proposerons une taxinomie des propriétés modales qu'on peut attribuer aux situations.

9.3 Une taxinomie des propriétés modales

Nous avons caractérisé formellement les situations dans la section précédente par leurs propriétés mesurées, les conditions initiales et les prédictions. Cette formulation revêt déjà un aspect modal dans le cas de théories indéterministes, mais les alternatives envisageables sont limitées aux situations ayant exactement les mêmes conditions d'application.

L'étape suivante consiste à considérer que ces conditions d'applications (propriétés mesurées ou conditions initiales) sont variables d'une situation possible à l'autre, de manière à enrichir les alternatives concevables. Dans la partie II de cette étude consacrée à la défense de l'empirisme modal sur le plan épistémologique, nous avons considéré, par défaut, que toutes les variations dans les conditions d'application des modèles (types de systèmes, propriétés mesurées et conditions initiales) sont a priori possibles, et qu'une théorie apportait des restrictions sur les prédictions des modèles uniquement. Nous voulons en effet, suivant notre définition de l'adéquation empirique, que notre théorie soit empiriquement adéquate pour tous ses modèles, et ceci suppose de disposer d'un éventail suffisamment large d'alternatives pour comprendre toutes les conditions d'application qui correspondent à des modèles de la théorie, et non seulement à des modèles qui s'appliquent dans l'univers actuel. De plus, si ces situations possibles sont les alternatives d'une même situation actuelle, nous pouvons, à partir de ce formalisme, considérer ce que serait un unique modèle qui intégrerait ces variations possibles, et en tirer des enseignements ontologiques.

Mais cette idée n'est pas dénuée de charge métaphysique, qui s'accompagne d'une certaine conception de ce qu'est une situation, au-delà de la caractérisation minimale que nous avons proposée section 5.2.1 comme entité occurrente, objet possible d'expérience, dotée de caractéristiques objectivables. Si une situation *aurait pu* être mesurée de différentes façons, si elle *aurait pu* avoir des conditions initiales différentes, peut-être est-elle un peu plus que cela (voir aussi la section 5.3.2).

Dans cette section, nous proposons d'élucider les présupposés métaphysiques qui peuvent sous-tendre cette extension des possibles, et la conception de ce qu'est une situation qui accompagne ces présupposés. Nous proposons également différentes stratégies qui permettent de conserver la force de l'adéquation empirique modale sans trop s'engager métaphysiquement parlant. Il en résulte que différents choix métaphysiques s'offrent à nous. Nous proposerons au fil de nos analyses une taxinomie des propriétés modales qu'il est possible d'attribuer à une situation, que nous rapprocherons de catégories de la métaphysique traditionnelle (états et événements,

lois et dispositions), sans pour autant les identifier formellement : notre intention est plutôt de mettre en avant certaines affinités conceptuelles pour montrer la richesse interprétative que permet le recours aux modalités.

Commençons par présenter une expérience classique de la mécanique quantique qui servira de support à la discussion.

9.3.1 L'expérience de Stern et Gerlach

Pour servir de support à la discussion, prenons pour exemple une expérience de Stern et Gerlach séquentielle au cours de laquelle un faisceau de particules traverse un champ magnétique orienté verticalement. On observe que le faisceau se sépare en deux : une partie est dirigée vers le haut et l'autre vers le bas. En mécanique quantique, on attribuera aux particules du faisceau dirigé vers le haut la propriété d'avoir un spin haut, et à celles dirigées vers le bas la propriété d'avoir un spin bas. Ce dispositif nous permet de filtrer le faisceau incident : on ne sélectionnera qu'une partie du faisceau, celle qui s'est dirigée vers le haut, en vue de lui appliquer un nouveau champ magnétique, cette fois horizontal. Enfin on mesurera l'intensité du faisceau ayant été dirigé vers la gauche et celle du faisceau dirigé vers la droite.

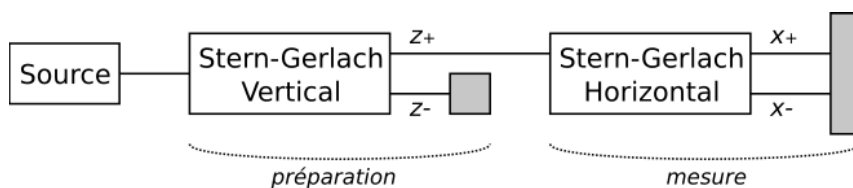


FIGURE 9.3 – Expérience de Stern et Gerlach séquentielle

Pour simplifier la discussion, nous allons imaginer que l'expérience est réalisée sur une seule particule plutôt que sur un faisceau. Nous allons également ignorer la façon dont la théorie relie le spin à la déflexion des particules dans l'espace sous l'effet d'un champ magnétique, pour considérer que par ce type de procédé, nous mesurons directement la direction de spin d'une particule¹⁷. Cette expérience peut être modélisée comme suit : notre type de système S est une unique particule, ses conditions initiales I

17. Le spin est parfois décrit comme une « rotation interne » de l'électron, dont l'axe de rotation peut avoir différentes directions. La valeur obtenue par une mesure serait alors l'analogie du sens de rotation dans la direction mesurée (par exemple horaire ou anti-horaire, dans la direction verticale). Bien que pas forcément adéquate, il s'agit d'une image utile pour se représenter les choses, suffisante ici.

sont d'avoir un spin haut (puisque nous filtrons ces particules lors de la première phase de l'expérience), et les propriétés mesurées sur le système M sont constituées d'une mesure préparatoire, le spin dans la direction verticale (z), dont les valeurs possibles sont spin haut (+) et spin bas (–), et d'une mesure finale, le spin dans la direction horizontale (x), dont les valeurs possibles sont spin gauche (+) ou spin droit (–).

La mécanique quantique est empiriquement adéquate pour ce type d'expérience. Elle prédit que la particule a une probabilité de 50% d'avoir un spin gauche et de 50% d'avoir un spin droit à l'issue de l'expérience. Nous disposons donc déjà de deux situations alternatives, pondérées par un poids égal de probabilité, dont une seule correspond au déroulement actuel de l'expérience. Mais on pourrait vouloir élargir le domaine des alternatives envisageables de deux manières : nous pourrions affirmer que la même particule aurait pu être préparée dans un état initial différent, ou encore, qu'elle aurait pu être mesurée différemment.

Pour que la mécanique quantique soit modalement adéquate, il faut pouvoir envisager qu'elle aurait fait de bonnes prédictions pour tous ses modèles. Si l'on se restreint aux propriétés de type direction de spin (imaginons, pour nos besoins, que la mécanique quantique soit une théorie uniquement à propos du spin des particules), il faut pouvoir affirmer que la théorie aurait fait de bonnes prédictions si le système avait été préparé différemment, si par exemple nous avons sélectionné les particules de spin bas, ou de spin droit, et si nous avons mesuré autre chose, par exemple le spin suivant un angle de 45 degrés par rapport à la verticale.

Le fait que ces alternatives soient ou non envisageables pour cette même situation particulière n'est pas dénué de charge métaphysique, et dépend de la façon dont on identifie notre situation. C'est ce que nous allons examiner maintenant.

9.3.2 *Modalités intrinsèques et nomologiques*

Envisager des variations possibles d'une même situation nous engage envers une certaine conception de ce qu'est une situation. Une situation est bien toujours une entité occurrente du monde dont nous faisons l'expérience, mais comme remarqué plus haut, nous pouvons lui associer ce qui s'apparente à des critères d'identification trans-mondaine de manière plus ou moins stricte, qui prendront la forme de contraintes sur la relation d'accessibilité. Il en résulte, au-delà de la caractérisation très générale de situation que nous avons faite section 5.2.1, plusieurs conceptions différentes de ce qu'est une situation, et ce qui différencie ces conceptions s'exprime

en termes modaux : on peut leur associer différents types de propriétés modales attribuées aux situations.

Si l'on envisage qu'une situation donnée aurait pu être mesurée différemment, nous nous engageons envers l'idée que les situations sont des entités autonomes du monde, qui nous sont indépendantes, et qui, plus généralement, sont indépendantes de leurs relations aux situations environnantes : c'est toujours la même situation, même quand elle n'est pas mesurée de la même façon. Ceci s'oppose à l'idée qu'une situation serait en quelque sorte perspective, identifiée relationnellement par ce qui est mesuré sur elle, puisque les propriétés mesurées concernent les relations d'une situation à son environnement. Autrement dit, nous faisons de notre situation un objet. Le postulat métaphysique qui accompagne cette conception des situations est celui de l'objectivité, en un sens différent de celui employé jusqu'ici à propos des caractéristiques des situations : une situation n'a pas seulement des caractéristiques objectivables ou objectives une fois mesurée d'une certaine façon, mais elle est elle-même un objet identifiable indépendamment de la façon dont il est mesuré. Nous pourrions parler à ce sujet, pour le différencier de l'objectivité, d'un postulat d'objectualité¹⁸.

Suivant le type de raisonnement proposé à la fin de la section précédente, ce type de postulat nous autorise à attribuer, à l'issue d'une induction, des propriétés *intrinsèques* aux situations, qui seraient communes à toutes les alternatives différant par leurs propriétés mesurées et qui détermineront les résultats qu'on pourrait obtenir pour toutes les mesures possibles. Nous avons donc un premier type de propriété modale, dont l'attribution prendra la forme suivante¹⁹ :

$$\Box_s(\forall O)\phi(O, s)$$

C'est-à-dire qu'une même caractéristique ϕ propre à la situation permet d'établir des prédictions quel que soit ce qu'on mesure sur cette situation. Dans le cas de l'expérience de Stern et Gerlach décrite ci-dessous, il s'agit de considérer que le dispositif expérimental mesure un objet (une particule) doté de propriétés intrinsèques qui déterminent les résultats qu'on peut obtenir à l'issue de différentes mesures possibles.

Cette idée peut être illustrée de manière plus mondaine de la sorte : imaginons que l'on observe un objet suivant différents angles. Chaque angle de vue correspond à une propriété mesurée différente. En faisant

18. On retrouve le terme dans la littérature phénoménologique, mais nous ne sommes pas certain qu'il est employé dans le même sens.

19. voir l'annexe du chapitre pour les aspects formels.

varier les angles de vue, on peut en principe reconstruire une image de la structure de l'objet dans un espace à trois dimensions. Ce faisant, nous attribuons une propriété intrinsèque à notre objet (une structure en trois dimensions) qui ne dépend pas de l'angle sous lequel on observe l'objet, mais qui permet de retrouver, par projection, les images obtenues depuis n'importe quel angle.

On peut voir que ce type de variation modale va nous amener à réifier l'espace des phases du système (et donc l'espace-temps physique) comme représentant une structure réelle (ce qui n'exclut pas que plusieurs options interprétatives existent ensuite sur le plan métaphysique). En effet, nous avons vu que les propriétés mesurées pouvaient être définies comme des partitions de l'espace des phases. Ce dernier synthétise l'ensemble des propriétés mesurables sur un système. La propriété ϕ pourra par exemple prendre la forme d'un champ sur l'espace des phases, ou encore de trajectoires sur l'espace des phases, qui permet d'associer des prédictions à toutes les propriétés mesurées possibles.

Les événements de détection associés aux résultats des mesures peuvent éventuellement être éliminés de notre ontologie : on pourrait envisager de les réduire au fait, pour un système, d'avoir certaines relations avec son environnement ; nous pourrions en principe nous intéresser à une situation plus englobante qui inclut les appareils de mesure pour opérer cette réduction. Cependant, la structure résultante est toujours conceptuellement interprétée en relation à certaines propriétés mesurables, puisqu'un état se caractérise ici, de manière modale, par ce qu'on observerait si l'on mesurait telle ou telle propriété. Autrement dit, les différents axes de l'espace des phases sont toujours interprétés relativement à notre expérience.

Nous proposons d'employer la catégorie d'état physique pour désigner les propriétés intrinsèques qu'il serait possible d'attribuer aux situations à l'issue d'une induction sur les propriétés mesurées. On peut penser à ce titre à la notion de substance chez Aristote, conçue comme « ce qui existe de manière indépendante ». Un état physique peut être conçu comme le fondement de nos observations, puisque l'attribution d'un état à une situation permet en principe de savoir ce qu'il est possible d'observer. Nous ne prétendons pas ici faire référence à une substance au sens métaphysique d'entité fondamentale de la réalité, mais on retrouve au moins l'idée de fondement et d'existence indépendante dans la notion d'état physique.²⁰

20. On pensera également à la façon dont l'objet est conçu chez certains auteurs (notamment Husserl ou Cassirer) comme ce qui synthétise différentes perspectives possibles, si ce n'est pour la subjectivité associée, chez ces auteurs, à la notion de perspective (nous avons évoqué cet aspect à propos du réalisme structural ontique, section 3.3).

On voit immédiatement surgir une difficulté dans le cas de la mécanique quantique, où l'on peut se demander si la mesure préparatoire ne participe pas à faire en sorte que le système se retrouve dans les conditions initiales dans lesquels on le trouve (on peut se demander si la mesure est perturbative). Si une situation correspond à une particule de spin haut, est-il sensé d'affirmer que la mesure préparatoire aurait pu avoir été effectuée dans la direction horizontale plutôt que verticale, mais que la même particule aurait toujours eut un spin haut ? Envisager ceci amène à des incohérences logiques en mécanique quantique, puisque comme déjà noté, un espace de Hilbert ne reproduit un espace de phase classique, sur lequel on peut employer la logique standard pour parler des propriétés et valeurs possibles, que dans le cas où l'on impose un framework (ce que permet le fait de fixer les propriétés mesurées). Mais alors fixer des propriétés mesurées différentes nous amène à considérer un espace des phases différent, et donc, pourrait-on penser, une situation différente. Ce pourrait être une raison de rejeter cette option, mais laissons ces aspects de côté pour l'instant.

Un autre problème plus général est qu'en ne fixant pas les propriétés mesurées, on ne limite pas l'étendue temporelle des situations. Or on pourrait penser qu'une situation est bornée dans le temps.

Si l'on envisage maintenant qu'une situation aurait pu avoir des conditions initiales différentes (au moins celles qui correspondent à des valeurs possibles pour la mesure préparatoire, si celle-ci est tenue pour fixe), nous nous engageons envers une certaine forme d'indéterminisme métaphysique, au sens le plus général : les faits du monde (les valeurs de propriété qu'on observe) ne sont pas nécessaires, mais contingents, ils auraient pu être différents²¹. La conception des situations associée est l'idée qu'une situation est une configuration dans le monde, une entité fonctionnelle dont les propriétés observées sont contingentes plutôt qu'un état de fait identifié par ses propriétés observées. Ce sera, par exemple, une configuration expérimentale (nos appareils de préparation et de mesure) pour laquelle on ne spécifie pas de conditions initiales particulières, mais une plage de conditions initiales possibles qui correspondent aux valeurs possibles pour la mesure préparatoire. Le fait d'identifier une configuration suppose bien sûr qu'il y ait quelque chose comme des états de fait dans le monde : les

21. Il ne s'agit pas ici d'indéterminisme au sens laplacien, suivant lequel les faits futurs ne sont pas déterminés par les faits passés et les lois de la nature, puisque nous ne faisons pas référence à des lois de la nature. Cette option est en fait compatible avec un déterminisme laplacien, bien que dans ce cas, l'indéterminisme serait repoussé à la contingence des conditions initiales de l'univers, ce qui pourrait nous enjoindre à adopter une sémantique de mondes possibles plutôt que de situations possibles.

appareils de mesures doivent avoir certaines relations objectives avec les systèmes mesurés. Cependant, on pourra concevoir que ces états de faits sont les conditions initiales contingentes d'une situation plus englobante.

Il ne s'agit plus d'attribuer une propriété intrinsèque à une situation actuelle (quelque chose qui resterait vrai quoi qu'on observe), puisque les mesures effectuées dans chaque cas peuvent être les mêmes. Le type de modalité concerné est maintenant nomologique : nous relierons différentes prédictions à différentes conditions initiales possibles. Opter pour un indéterminisme métaphysique nous autorise donc à attribuer des propriétés modales de type nomologiques (il faut en effet que d'autres conditions initiales soient possibles pour pouvoir parler de modalités nomologiques). Notre système possède nécessairement une certaine dynamique qui se manifeste par les résultats de mesure associés aux conditions initiales possibles. Celle-ci, de plus, ne concerne pas des régularités dans l'évolution de situations différentes, mais est propre à une situation particulière. Nous avons un second type de propriété modale, dont l'attribution prendra la forme suivante :

$$\Box_s(\forall I)\phi(I, s)$$

Nous pouvons rapprocher l'idée d'une nomologie « interne » à une situation de la catégorie métaphysique de disposition, les stimuli et manifestations des dispositions étant les valeurs de propriétés mesurées. Une disposition est un pouvoir causal conditionnel possédé par un objet (ici une configuration expérimentale). Suivant une analyse contrefactuelle de la causalité, on peut en effet attribuer à notre situation des pouvoirs causaux, dont les stimuli sont les conditions initiales qu'il a ou aurait pu avoir.

On trouve la notion de disposition entre autre chez Mumford (2004) ou Bird (2007). Cependant nous ne prétendons pas ici qu'on retrouverait un dispositionnalisme essentialiste. Selon le dispositionnalisme essentialiste, les propriétés physiques sont identifiables à leur profil causal, ce de manière circulaire : le profil causal d'une valeur de propriété s'exprime en termes des autres valeurs de propriétés. Nous aboutissons alors à une structure relationnelle de propriétés, interprétée causalement. Ici cependant, dispositions, stimuli et manifestations se situent à des niveaux différents : les dispositions sont attribuées à des situations, caractérisées par des propriétés mesurées (des déterminables) et un type et leurs stimuli et manifestations sont des valeurs précises pour des propriétés mesurables (des déterminés). On évite ainsi les problèmes de régression souvent attribués aux dispositionnalistes, et peut-être en une certaine mesure le problème de Vetter

(2009), qui est que le fait d'attribuer des dispositions à des valeurs précises de propriétés ne permet pas de rendre compte de la généralité des lois théoriques²². Par ailleurs, contrairement à ce que propose le dispositionnalisme essentialiste, les dispositions ne sont pas attribuées au niveau des axiomes de la théorie, mais au niveau des modèles. Le rôle des axiomes est plutôt de décrire des relations de second ordre entre le profil causal des différentes configurations possibles.

Enfin, rappelons que nous ne prétendons rien de plus qu'établir une proximité conceptuelle entre certaines attributions modales et certaines catégories traditionnelles, dans une perspective pragmatiste.

9.3.3 *Comment alléger la tension entre empirisme et métaphysique ?*

Nous semblons ici être entrés de plain-pied dans la métaphysique : nous ne parlons plus d'application et de prédiction, mais d'objets dotés d'états intrinsèques et de dispositions. C'est, semble-t-il, ce que nous autorise à faire le fait même de concevoir que toutes les conditions d'application des modèles sont de l'ordre du possible pour une situation actuelle donnée. Mais ces catégories reçoivent ici une interprétation pragmatique plutôt que métaphysique (bien qu'elles reposent sur des postulats métaphysiques). Notre intention est de mettre en avant certaines affinités conceptuelles qui peuvent nous autoriser à emprunter les termes de la métaphysique traditionnelle, sans pour autant les identifier formellement et prétendre leur attribuer la même charge métaphysique. Les états physiques sont toujours conceptuellement interprétés relativement à notre expérience (à ce qu'on pourrait observer si on les mesurait de telle ou telle façon), et de même pour les dispositions.

Reste que la possibilité de retrouver pragmatiquement des catégories qui s'apparentent à celles de la métaphysique traditionnelle repose sur certains postulats métaphysiques, comme l'indéterminisme et l'objectualité. Ces postulats peuvent paraître trop coûteux pour un empiriste.

Du point de vue philosophique, nous avons ici une tension entre deux objectifs. Le premier est d'être en position d'affirmer que notre théorie est modalement adéquate pour tous ses modèles, c'est-à-dire pour toutes les conditions initiales et propriétés mesurées possibles. Cet objectif devrait nous amener à rendre accessibles un ensemble large de situations. Le second

22. au moins pour les propriétés mesurables, le problème pourrait persister pour les grandeurs qui caractérisent un type de système, comme la charge et la masse

objectif est de rester métaphysiquement parcimonieux. Qu'est-ce qui nous autorise ainsi à élargir l'éventail des alternatives à une situation ? Qu'est-ce qui nous autorise à associer certaines conceptions à la notion de situation, au-delà de la caractérisation minimale que nous en avons faite au chapitre 5 qui avait initialement pour but d'obtenir une certaine neutralité ? On aurait pu souhaiter que nos théories seules nous renseignent, à l'issue de leur confrontation empirique, sur l'étendue du possible. Mais il s'avère que nous avons besoin, pour pouvoir mener à son terme notre induction, de penser que la plupart des conditions d'application des modèles (sinon les prédictions) sont en effet possibles, et ce de manière a priori.

Dans tous les cas, il semble s'agir d'un pas vers le réalisme : soit à propos d'objets existant dans le monde de manière autonome, soit d'un réalisme nomologique²³. Une différence avec un réalisme scientifique assumé tient à ce que plutôt que de poser d'emblée l'existence de ces catégories, nous proposons de les retrouver à l'issue d'une induction, sur la base de présupposés métaphysiques plus généraux qui peuvent s'exprimer en termes modaux. Une autre différence tient à une certaine forme de relativité conceptuelle : les objets ou la nomologie sont appréhendées depuis notre perspective, relativement à nos possibilités d'observer et d'interagir. Nous ne faisons, en quelque sorte, que « mimer » le réalisme. Mais ceci a tout de même un prix à payer sur le plan métaphysique.

Afin de mieux concilier ces deux objectifs, celui de satisfaire l'adéquation modale défendue dans la partie précédente de cette étude, tout en conservant une certaine parcimonie métaphysique, nous allons proposer dans ce qui suit une stratégie pour alléger les contraintes qui découlent de ce premier objectif en montrant qu'il est possible d'obtenir une adéquation modale suffisamment forte de manière relativement conservatrice par un recours à la méréologie. Il s'agit, finalement, de poursuivre dans un cadre plus formel l'argument en faveur de l'actualisme que nous avons esquissé dans la première section de ce chapitre : être actualiste ne restreint pas forcément l'étendue de l'adéquation empirique si l'on envisage des situations suffisamment englobantes, de manière à ce que des situations incluses exemplifient les modèles de la théorie que l'on veut empiriquement adéquats. De même, limiter les alternatives accessibles depuis une situation ne limite pas forcément l'adéquation empirique de la théorie si les modèles qu'on veut empiriquement adéquats s'appliquent toujours à des situations incluses dans les alternatives de situations plus englobantes qui, elles, sont

23. On retrouve quelque chose qui se rapprocherait du réalisme des entités dans un cas, du réalisme structural dans l'autre. On pourrait aussi accepter les deux, et nous rapprocher d'un réalisme traditionnel.

accessibles.

Si tel est le cas, on peut juger qu'étendre ainsi notre conception de ce qu'est une situation consiste, essentiellement, à choisir entre tirer parti d'aspects très généraux de nos théories (et notamment, nous le verrons, des principes de séparabilité, mais aussi l'indéterminisme et l'objectualité que nous avons évoqué) qu'on tiendra pour acquis de manière à enrichir notre conception des situations, ou au contraire à reléguer ces aspects au contenu théorique pour rester plus parcimonieux.

Méréologie temporelle et conditions initiales

Commençons pas nous intéresser aux variations de conditions initiales. Imaginons que par souci de parcimonie, refusant de nous prononcer a priori sur l'indéterminisme métaphysique, nous décrétions qu'une situation n'aurait pas pu avoir des conditions initiales différentes. Les situations doivent posséder des propriétés bien déterminées au début d'une expérience (parce qu'on les considère comme des états de fait dans le monde). Ceci prendra la forme d'une restriction sur la relation d'accessibilité : seules les situations ayant les mêmes conditions initiales sont accessibles²⁴. Dans le cas de l'expérience de Stern et Gerlach décrite plus haut, nous voulons affirmer qu'une situation s' dans laquelle la particule a un spin bas plutôt que haut n'est pas accessible depuis la situation actuelle s .

Rien ne nous empêche, cependant, de considérer une situation temporellement plus englobante s_0 qui inclut la particule avant la mesure préparatoire, au moment de son émission par la source. Au lieu de décrire une particule de spin haut soumise à un champ magnétique horizontale, nous décrivons maintenant une particule dont les propriétés nous sont inconnues, mais qu'on suppose bien déterminées, soumise successivement à une mesure de spin vertical, puis horizontal. Le modèle de la situation englobante prédira que la particule a une probabilité de 50% d'être mesurée comme ayant un spin haut à l'issue de la première mesure, et, dans chaque cas, une probabilité de 50% d'être mesurée avec un spin gauche. La situation englobante possède donc au moins quatre alternatives, l'une s_0 actuelle, et d'autres seulement possibles dont certaines, s'_0 , au cours desquelles la particule aura un spin bas à l'issue de la première mesure. Or les situations s'_0 peuvent être décomposées temporellement en plusieurs situations, dont l'une chaque fois, s' , correspondra exactement aux condi-

24. Formellement, ce type de restriction pourra s'exprimer : $(\forall I)(\forall s)(Is \rightarrow \Box_s Is)$, où Is exprimerait le fait, pour une situation, d'être mesurée d'une certaine façon. Voir l'annexe du chapitre pour les aspects formels.

tions d'application que l'on voulait obtenir. Il s'agit de la situation restreinte à la seconde mesure, et pour laquelle la première mesure est considérée comme préparatoire, mais avec un résultat différent de notre expérience initiale. Et si notre théorie est empiriquement adéquate pour les s'_0 , on peut suspecter qu'elle le sera aussi pour s' incluses.

Puisque nous considérons toujours des variations de conditions initiales, nous pouvons considérer que notre théorie nous permet d'attribuer au monde des propriétés nomologiques, mais celles-ci ne concernent plus des situations particulières. Il s'agit plutôt de régularités parmi les situations possibles, y compris les situations incluses dans des alternatives de situations actuelles.

Nous pouvons rapprocher ce type de régularité de la catégorie de loi naturelle. Contrairement à une disposition, une loi ne concerne pas un système en particulier, mais plusieurs systèmes différents. On retrouve, en outre, la plupart des idées intuitives associées aux lois (Carroll, 2008, ch. 1) : il s'agit d'une généralisation universelle (sur un ensemble de situations) ; elles disposent, contrairement aux généralisations accidentelles, d'une « force modale » ; elles sont logiquement contingentes. Mais comme pour les autres catégories métaphysiques mentionnées plus haut, il s'agit d'un rapprochement pragmatique par affinité conceptuelle plutôt que d'une identification à une certaine conception des lois, quelle qu'elle soit.

Faisons plusieurs remarques sur les prérequis de ce raisonnement. Une première remarque est que nous acceptons une certaine forme de séparabilité temporelle. L'adéquation empirique de la théorie pour les s'_0 doit impliquer son adéquation empirique pour les s' temporellement incluses. Ce prérequis est assez peu problématique, puisque nos meilleures théories physiques le respectent. On peut penser que si ce n'était pas le cas, des expériences seraient difficilement réalisables : il nous faudrait remonter arbitrairement loin dans le passé pour pouvoir faire des prédictions à partir d'une théorie, et l'on perdrait tout l'intérêt de notre approche situationniste, dont on a vu qu'elle s'appuyait sur le fait qu'une théorie s'appliquait indifféremment en tous lieux et en tous temps. Mais remarquons que c'est la structure des théories elle-même (en particulier la structure de l'espace des phases) qui nous indique comment construire un modèle d'une partie de situation à partir du modèle d'une situation, ou au contraire comment modéliser une situation englobante à partir de deux situations temporellement successives, et que par notre raisonnement, nous avons évacué ce prérequis de séparabilité hors de notre conception de l'adéquation empirique pour le reléguer au contenu même de la théorie. Nous ne l'acceptons plus a priori : c'est à la théorie de nous dire si la séparabilité temporelle est empirique-

ment adéquate, et c'est à cette condition qu'on peut envisager que la théorie est empiriquement adéquate pour toutes les conditions initiales possibles, et inférer ainsi par induction l'existence de lois, au sens pragmatique où nous l'entendons.

Un autre prérequis implicite, peut-être plus problématique, est que l'ensemble des conditions initiales envisageables soient effectivement possibles, et donc, que le monde soit indéterministe²⁵ : l'alternative dans laquelle la particule a un spin bas doit être accessible depuis la situation englobante. Ce pourrait ne pas être le cas si notre théorie était parfaitement déterministe. De plus, si les propriétés mesurées sont tenues pour fixes, ceci limite les conditions initiales accessibles à celles qui correspondent à des valeurs possibles pour les mesures effectuées (un spin gauche reste inaccessible). Le fait d'obtenir une notion d'adéquation empirique aussi forte est donc tributaire du fait de pouvoir considérer que les propriétés mesurées sont elles aussi variables (nous revenons plus bas sur les stratégies méréologiques applicables pour traiter ce cas). Bien sûr il se peut que les conditions initiales qu'on souhaite obtenir se produisent quelque part dans l'univers, mais alors nous perdons l'aspect modal associé aux variations de conditions initiales : l'adéquation empirique ne concerne que les modèles dont les conditions initiales sont réalisées quelque part dans l'univers actuel.

Remarquons que suivant notre approche empiriste, toutes les théories (y compris les théories déterministes comme la théorie de Newton) font des prédictions probabilistes, dans la mesure où les propriétés mesurées n'ont jamais une précision infinie. Mais d'une part, cet indéterminisme effectif pourra ne concerner en pratique que certains types de situations (par exemple les systèmes chaotiques), et d'autre part, il n'est pas certain que nos théories actuelles soient complètes. Leur indéterminisme pourrait être interprété comme une incertitude épistémique, en quel cas les alternatives ainsi envisagées ne seraient pas de réelles alternatives dans le monde. On peut juger trop coûteux de devoir supposer qu'une théorie idéalement modalement adéquate et complète serait indéterministe (autant dire, que le monde soit métaphysiquement indéterministe, au sens laplacien) pour continuer à accepter que notre théorie est modalement adéquate pour tous ses modèles, et pas seulement les modèles qui s'appliquent à des situations actuelles.

C'est selon nous une raison suffisante pour rejeter cette stratégie. Il est préférable de considérer que les situations qui diffèrent par leurs conditions initiales sont accessibles depuis les situations actuelles, de manière à

25. cette fois en un sens plus proche du sens laplacien

conserver une notion d'adéquation empirique forte sans faire appel à la méréologie, et donc sans attendre de nos théories qu'elles soient indéterministes. Si l'on considère qu'une situation du monde n'est pas identifiée par ses conditions initiales, il n'est nul besoin d'avoir un indéterminisme laplacien pour que différentes conditions initiales soient physiquement possibles. Dans ce cadre, la méréologie temporelle n'apporte pas de contraintes particulières aux possibles. Une situation temporellement plus englobante ne sera pas plus identifiée par ses conditions initiales que les situations qui y sont incluses, et donc contiendra *de facto* les situations possibles qu'on souhaite atteindre au sein de ses alternatives. Considérer les conditions initiales comme identifiantes pour les situations, c'est-à-dire considérer qu'il doit exister des états de faits déterminés dans le monde, ne permet de soutenir un empirisme modal fort qu'au prix de l'indéterminisme laplacien. Pour notre part nous souhaitons plutôt accepter un indéterminisme métaphysique plus général, à savoir l'idée que les faits que nous observons sont contingents, et qu'il existe du possible dans le monde : après tout, cette idée semble être au fondement de l'attitude que choisit d'adopter l'empiriste modal.

Méréologie compositionnelle et propriétés mesurées

Intéressons-nous maintenant aux variations de propriétés mesurées. Si, par souci de parcimonie, nous souhaitons faire des propriétés mesurées des caractéristiques identifiantes pour les situations (qui sont alors vues comme des entités perspectiveles plutôt que comme des objets autonomes du monde), n'apporte-t-on pas des restrictions à notre notion d'adéquation empirique ? Dans le cas de l'expérience de Stern et Gerlach décrite plus haut, nous ne pouvons plus considérer que des situations s' au cours desquelles différentes directions de spin auraient été mesurées sont des alternatives possibles à notre situation expérimentale s . Cependant, de la même façon, nous pouvons envisager une stratégie pour conserver l'idée que nos théories sont empiriquement adéquates pour toutes les propriétés mesurées possibles. Nous aurons alors recours à une méréologie non plus temporelle, mais compositionnelle.

Il s'agira de considérer une situation englobante s_0 qui contient non seulement le système observé, mais aussi nos appareils de mesure, ceux-ci étant eux-mêmes observés depuis une perspective plus large (on observe par exemple la position d'une aiguille plutôt que directement la propriété mesurée sur le système d'origine). Au lieu de décrire dans nos modèles une particule dont on mesure le spin, on décrira la particule, le champ magné-

tique auquel elle est soumise et éventuellement les instruments servant à mesurer sa position finale, et cette situation englobante est identifiée par des propriétés mesurées bien déterminées. Si l'on accepte de faire varier les conditions initiales de cette situation d'un possible à l'autre (soit par décret, soit par méréologie), on peut définir une alternative s'_0 à cette situation englobante au sein de laquelle autre chose que le spin horizontal est mesuré : il suffit de considérer que les appareils de mesure sont trouvés dans une position différente au début de l'expérience, par exemple que le dispositif créant le champ magnétique a un angle différent par rapport à la particule (contrairement au cas précédent, ces alternatives ne se verront pas forcément attribuées un poids de probabilité). Or la situation s'_0 peut être décomposée en plusieurs situations, dont l'une correspondra précisément à la situation s' que l'on souhaitait obtenir, et si notre théorie est empiriquement adéquate pour s'_0 , elle le sera également pour s' .

Puisqu'on considère des variations dans les propriétés mesurées, on peut penser que notre théorie nous permet toujours d'attribuer des propriétés intrinsèques au monde, mais celles-ci ne concernent plus des situations particulières, plutôt des types d'expériences exemplifiés par des situations diverses. Dans l'expérience de Stern et Gerlach, quand une particule est initialement préparée pour avoir une valeur de spin précise dans la direction z et est ensuite mesurée une seconde fois dans la même direction, le même résultat est obtenu. Si l'on considère ensuite les situations dans lesquelles on place le second appareil de mesure dans une direction légèrement différente, on observe alors que plus la nouvelle direction diffère de z , plus la probabilité d'obtenir la même valeur de spin est faible, jusqu'à atteindre 50% pour une direction perpendiculaire.

On voit que la théorie nous permet d'établir des relations entre les différentes façons de mesurer un système. Dans le cas présent, elle ordonne différentes directions pour la mesure du spin dans une structure spatiale. Cette structure n'est plus, cependant, quelque chose qui existe *dans* une situation particulière. Il s'agit plutôt d'une structure abstraite : la structure des mesures possibles sur un certain type de système. L'espace des phases (ou l'espace physique) n'est donc plus réifié de la même manière suivant cette approche. On peut concevoir un espace des phases, une géométrie, ou la structure d'une théorie en général (notamment les groupes de symétrie qui caractérisent les théories contemporaines) non comme la description d'une structure réelle, mais plutôt comme une abstraction permettant de coordonner les différentes propriétés mesurables du monde, c'est-à-dire de situer ces propriétés les unes par rapport aux autres dans une structure abstraite.

Suivant cette approche, il n'y a plus réellement d'états physiques existant de manière autonome. Mais nous pouvons toujours caractériser notre situation par les résultats des mesures, et décrire les situations en employant la catégorie d'événements. En effet, un événement se distingue d'un objet en ce qu'un objet est généralement conçu comme persistant dans le temps, et peut voir ses propriétés changer, quand un événement est occurrent et ne voit donc pas ses propriétés changer. Par ailleurs, un événement est assez clairement borné dans le temps mais pas forcément borné dans l'espace, quand un objet est généralement bien situé dans l'espace mais pas forcément dans le temps (Casati et Varzi, 2014). C'est le cas de nos résultats de mesure lors d'une situation expérimentale : elles sont occurrentes, ne peuvent changer, et elles sont assez clairement situées dans le temps mais pas forcément dans l'espace (on peut mesurer autre chose qu'une position, ou mesurer une position de manière imprécise). Les événements sont d'un certain type, correspondant à la propriété mesurée, et à travers les variations modales de propriétés mesurées, la théorie nous renseigne sur les relations entre ces types d'événements.

De nouveau, ce raisonnement s'accompagne de certains présupposés. Le premier est un présupposé de séparabilité compositionnelle. Il faut qu'une théorie empiriquement adéquate pour une situation englobante le soit également pour les situations incluses. On peut juger de prime abord que ce prérequis est peu coûteux : tout comme dans le cas de la séparabilité temporelle, ce semble être un prérequis que nos théories puissent faire des prédictions pour des situations bornées, et nous ne voulons pas avoir à considérer des systèmes arbitrairement larges (jusqu'à considérer l'univers dans son ensemble) pour pouvoir les confronter à l'expérience. Nos théories respectent généralement ce principe, mais de nouveau, c'est bien la théorie elle-même et sa structure qui nous renseigne sur la manière de modéliser la partie d'une situation à partir du modèle d'une situation englobante. Nous reléguons donc le prérequis de séparabilité compositionnelle à la théorie plutôt que de l'accepter a priori et de l'intégrer au sein de notre conception de l'adéquation empirique.

Plutôt que d'y voir un problème limitant l'adéquation empirique, on peut y voir une vertu, puisqu'il s'agit bien d'être plus parcimonieux. Nous ne nous prononçons pas a priori sur le fait qu'une théorie empiriquement adéquate pour une situation englobante le soit également pour chacune de ses parties considérées séparément. Dans le cas de la mécanique quantique, cette vertu s'avère essentielle, puisque le fait de séparer des modèles composites en parties s'accompagne d'une perte d'information et introduit donc une incertitude. Typiquement, il existera plusieurs façons distinctes

de découper un système en parties, et la partie d'un état pur intriqué sera représentée par une matrice densité, qu'on interprète généralement comme une répartition de probabilité sur des états purs épistémiquement possibles. De même, les propriétés mesurées sur la partie d'un modèle seront représentées par des mesures faibles, soit une répartition de probabilités sur des observables « simples ». On peut donc dire que la mécanique quantique envisage ce postulat de séparabilité de manière assez nuancée (il existe une incertitude sur la manière dont une perspective englobante doit être séparée en perspectives incluses), et que ç'aurait été une erreur d'intégrer d'emblée un tel postulat dans notre conception de l'adéquation empirique (sur ce sujet, voir Healey (2013)).

Ce postulat de séparabilité compositionnelle est finalement le pendant de notre postulat métaphysique d'objectualité : le fait même qu'une situation puisse être décomposée en parties nous autorise à envisager qu'une de ses parties « aurait pu être mesurée différemment » par son environnement. Nous voyons, de nouveau, que la mécanique quantique menace assez directement ce postulat, et il est donc plus judicieux de le déléguer au contenu théorique, d'en faire un postulat à tester empiriquement, plutôt que de l'accepter a priori au cœur même de notre conception de l'adéquation empirique.

Remarquons que l'idée même qu'il existe une situation incluse dans s'_0 ou dans s_0 relève d'un présupposé. Après tout, ce n'est pas un électron doté d'une direction de spin que nous observons, mais plutôt des appareils de mesure, et en tant qu'empiriste, on pourrait ne pas se prononcer sur l'idée que les situations s et s' existent réellement. Mais ce type de présupposé relève de la pragmatique de l'expérimentation. Les scientifiques modélisent rarement leurs appareils de mesure, pour plutôt attribuer directement des propriétés théoriques aux systèmes physiques qu'ils croient reconnaître, sur la base d'une pratique expérimentale transmise au sein de la communauté scientifique. Le fait que les propriétés ainsi attribuées soient projectibles nous renseignent sur le bien-fondé de ce type de présupposé. On pourrait envisager, à la limite, pour poursuivre les analyses du chapitre précédent, de réduire la signification des termes théoriques à des considérations méréologiques : attribuer une propriété comme le spin dans une situation expérimentale reviendrait à postuler l'existence d'une situation incluse qui se comporte fonctionnellement (modalement) d'une certaine façon vis-à-vis de nos appareils, c'est-à-dire de la situation dans laquelle elle est incluse, qui, elle, est appréhendée plus directement. Cependant ces aspects dépassent le cadre de notre étude.

Le deuxième prérequis pour pouvoir retrouver une notion d'adéquation

empirique forte est que les propriétés mesurables pour lesquelles on souhaite que notre théorie soit modalement adéquate soient en effet possibles du point de vue de la situation englobante, c'est-à-dire qu'elles correspondent à des situations incluses dans les alternatives de cette situation englobante. Ce prérequis ne nous apparaît pas particulièrement problématique. Dans le cas de la direction de spin, il semble aisé de faire varier les conditions initiales qui concernent la position de nos appareils de manière à obtenir une mesure de la direction de spin qu'on souhaite, du moins tant que les conditions initiales correspondantes sont des valeurs possibles pour les propriétés mesurées sur la situation englobante. Contrairement au cas précédent, où nous avons besoin d'un indéterminisme laplacien pour que certaines conditions initiales soient possibles à partir d'une situation englobante dont les conditions initiales sont fixées, l'idée que la façon dont deux systèmes (un appareil de mesure et un système mesuré) s'interfacent ne soit pas entièrement déterminée par la façon dont nous observons la situation globale n'a rien de particulièrement problématique. Il s'agit d'un postulat d'objectivité très faible, voire trivial (nos observations ne déterminent pas entièrement ce qu'on observe) qui est satisfait par toutes les théories.

Ceci dit, nous n'obtiendrons pas forcément toutes les propriétés définissables au sein de la théorie. Les propriétés mesurées sur la situation englobante peuvent limiter ses conditions initiales possibles, et donc ce qui peut être mesuré sur la situation incluse. Pour cette raison, dans le cas de la mécanique quantique, il n'est pas certain que toutes les observables mathématiquement définissables puissent être réalisées en considérant des situations larges constituées d'appareils de mesure dans des conditions initiales adéquates, sur lesquelles les propriétés mesurées sont fixées. On pourra considérer des situations de plus en plus larges, multipliant les degrés de liberté, et contrôlées finement pour atteindre les observables souhaités²⁶, mais il pourra y avoir des limites, techniques ou de principe, à nos possibilités. L'adéquation empirique de notre théorie est donc limitée par notre stratégie : notre théorie n'est pas empiriquement adéquate pour toutes les propriétés mesurables en principe (tous les modèles constructibles mathématiquement), mais seulement pour toutes les propriétés mesurables dans notre univers. Or, de nouveau, nous pouvons y voir une vertu : pourquoi nous prononcer sur les prédictions de la théorie qui concernent des quantités (des observables) dont on ignore si (et comment) elles peuvent être mesurées ?

26. Remarquons que l'expérimentation en physique nous demande de construire des accélérateurs de particule de plus en plus grands pour faire les mesures qu'on souhaite : les remarques présentes ne sont pas déconnectées d'aspects pratiques de l'expérimentation

Il peut paraître étrange que ce qui apparaissait comme une limitation insupportable dans le cas précédent (le déterminisme supposerait une limitation de l'adéquation empirique aux conditions initiales réalisées dans l'univers) apparaisse ici comme une vertu. Mais la limitation apportée par le déterminisme est beaucoup plus importante : elle suppose que notre univers n'a qu'un seul déroulement possible. Ici nous pouvons considérer toutes les observables réalisables dans des alternatives ou parties d'alternatives de situations actuelles. Le fait de pouvoir faire varier les conditions initiales semble beaucoup plus important pour conserver la force de notre adéquation empirique modale que le fait de pouvoir faire varier les propriétés mesurées, entre autre car la seconde variation repose sur la première (pour faire varier les propriétés mesurées, il faut envisager une situation englobante dont les conditions initiales diffèrent, mais une situation englobante dont les propriétés mesurées sont fixes autorise déjà un certain nombre de conditions initiales possibles, celles qui sont des valeurs possibles pour la mesure préparatoire). Enfin, une induction sur les conditions initiales possibles semble plus raisonnable. Il s'agit d'une induction sur les différents résultats concevables d'une mesure préparatoire, donc sur un nombre fini (ou tout au moins dénombrable) de valeurs. Au contraire, une induction sur les propriétés mesurées concevables depuis la théorie est plus douteuse : les propriétés mesurées concernent directement le domaine d'application de notre théorie. La propriété mesurable « spin » correspond à certains dispositifs expérimentaux que nous appréhendons depuis notre position épistémique, et si la théorie nous permet de concevoir des propriétés mesurables différentes, c'est toujours sur la base de propriétés mesurables plus directement appréhendables, en particulier la position. Mais il n'y a pas de raison que toute théorie puisse s'étendre ainsi indéfiniment dans son domaine d'application. Il se pourrait, par exemple, qu'une théorie succédant à la mécanique quantique nous amène à limiter les observables mathématiquement définissables qui correspondent à des mesures physiquement possibles.

9.3.4 *Une taxinomie des propriétés modales*

Nous disposons donc de deux stratégies pour conserver une conception suffisamment forte de l'adéquation modale des théories tout en restant parcimonieux quant à l'étendue des alternatives à une situation. La première consiste à accéder indirectement à des conditions initiales possibles en usant de la méréologie temporelle, et la seconde à accéder indirectement à des

propriétés mesurées possibles en usant de la méréologie compositionnelle²⁷. Dans les deux cas, il s'agit de reléguer à la théorie certains présupposés (concernant la séparabilité et l'étendue des possibles) qui demanderont à être testés empiriquement, quand ils étaient initialement acceptés a priori et inscrits dans notre conception même de l'adéquation empirique.

En somme, nous avons deux choix à faire. Le premier concerne les propriétés mesurées. Nous pouvons considérer que les situations sont des objets autonomes, et que leurs relations aux autres situations sont contingentes. Les variations de propriétés mesurées sont alors accessibles. Ce présupposé d'objectualité nous autorise à attribuer aux situations des propriétés intrinsèques : des états physiques. Ou bien nous pouvons, par souci de parcimonie, considérer que les situations sont des perspectives, identifiées relationnellement, instanciant des événements de mesure.

Notre second choix concerne les conditions initiales. Nous pouvons voir les situations comme des entités fonctionnelles (des configurations) dont l'état est contingent. Ceci suppose une forme d'indéterminisme métaphysique, qui nous permet d'attribuer à ces situations des propriétés nomologiques : des dispositions. Ou bien nous pouvons rester parcimonieux et voir dans les situations des entités factuelles, et se contenter de décrire les régularités observées dans différentes situations par des lois.

Ces deux choix combinés donneront lieu à quatre « packages métaphysiques », que nous examinerons dans le chapitre suivant dans le cadre de la mécanique quantique non relativiste.

Nous voyons que le recours aux modalités permet d'obtenir une certaine richesse interprétative, en effectuant un rapprochement de catégories métaphysiques traditionnelles. Ces catégories sont ici interprétées pragmatiquement (bien qu'elles reposent sur des postulats métaphysiques, elles se ramènent conceptuellement à l'expérience) : on peut les traduire en termes d'attentes dans les prédictions suivant certaines variations des conditions d'application de modèles, en association à certaines conventions sur la manière d'identifier les situations. Il ne s'agit donc pas de les identifier pour leur attribuer la même charge métaphysique : nos attributions modales possèdent au mieux certaines affinités conceptuelles avec ces catégories traditionnelles (l'indépendance vis-à-vis de nos mesures, le soutien de rapports contrefactuels, le fait de concerner une situation particulière ou au contraire des situations différentes...). C'est suffisant, selon nous, pour se permettre d'emprunter les mêmes termes.

27. Ceci nous permet au passage de voir que conditions initiales et propriétés se comportent différemment, et de manière symétrique, par rapport aux méréologies compositionnelles et temporelles.

| Variation | Propriétés mesurées (intrinsèque) | Conditions initiales (nomologique) |
|-------------|---|--|
| Contingent | Objet + état physique (objectualité) | fonctionnel + dispositions (indéterminisme) |
| Identifiant | Perspective + événements | factuel + lois |

TABLE 9.1 – Les différents types de modalités

9.3.5 *L'induction sur les types de systèmes*

Nous n'avons considéré jusqu'à présent que deux types de caractéristiques variables pour les situations du monde : les propriétés mesurées et les conditions initiales. Nous avons justifié ceci en affirmant que le type de système est nécessairement identifiant : nous en avons besoin avant de pouvoir déterminer les conditions initiales ou propriétés mesurées possibles. Mais il est certain que les théories physiques ne portent pas sur un type de système, ou un type de dynamique particulière, mais proposent des lois générales valant pour tous les types de systèmes et toutes les dynamiques. Comment, alors, interpréter les énoncés les plus généraux des théories ?

En physique des particules, les variations pourront concerner :

- le type de particule ou le type de champ (et les propriétés intrinsèques ou « nombres quantiques » associées : la charge, la masse au repos...),
- le nombre de particules, parfois interprété comme état d'excitation du champ (Teller, 1995) (on reléguera leur agencement aux conditions initiales),
- la dynamique (le champ extérieur auquel les particules sont soumises ou avec lequel le champ interagit).

Les deux dernières caractéristiques peuvent facilement être réduites à des aspects de méréologie compositionnelle. La dynamique (qui, en mécanique quantique, contraint les propriétés mesurables) concerne les interactions entre systèmes, c'est-à-dire la façon dont ils se composent en situations plus englobantes, et on peut, en général, réduire cet aspect pour considérer un système isolé composite plutôt qu'un système ouvert soumis à un champ externe. De même, le nombre de particules correspond directement à une méréologie compositionnelle, ou se ramène à des conditions initiales dans le cas de la théorie quantique des champs²⁸.

28. Le nombre de particule est une caractéristique dynamique des champs, ce qui permet

Il reste à savoir comment interpréter les différents types de particules. Quel sens y a-t-il à affirmer, par exemple : « si la particule avait été un neutron plutôt qu'un proton, on aurait observé ceci » ? Quel sens y a-t-il à produire des énoncés généraux qui s'appliquent aussi bien aux protons qu'aux neutrons, et qu'on pourrait obtenir à l'issue d'une induction sur les types de particules ?

Une solution pourrait être de reléguer ceci aux conditions initiales. En effet, en physique des particules, un neutron peut se désintégrer en proton, si bien que le fait d'être un proton ou un neutron (ou un certain type de quark) peut être considéré comme une variable dynamique plutôt que statique. Cependant tous les types de particules ne peuvent se convertir ainsi en n'importe quel autre type, et cette stratégie n'est pas généralisable. Il nous reste alors une possibilité : abandonner simplement les modalités dans le cas où la généralisation n'est plus possible, et considérer que les énoncés qui quantifient sur les différentes familles inconvertibles de particules quantifient uniquement sur les particules actuelles (ou les champs associés). Il ne s'agirait pas d'énoncés modaux, mais d'énoncés décrivant certaines régularités factuelles, et il n'y aurait aucun sens à affirmer qu'une particule aurait pu être d'un autre type (du moins quand aucune transformation d'un type à l'autre n'est envisageable).

Un argument en faveur de cette interprétation, fondé sur la pratique scientifique, est qu'à notre connaissance, les scientifiques n'emploient pas de modèles qui synthétisent plusieurs situations possibles dans lesquels le type des particules est différent d'un possible à l'autre pour des types non convertibles²⁹, tandis qu'ils peuvent employer des modèles qui synthétisent plusieurs conditions initiales ou propriétés mesurées possibles. Par ailleurs, le fait que certaines lois ou que certains principes de symétrie sont généralisables à des types différents peut être attribué au fait que les mêmes propriétés mesurables s'appliquent à ces différents types : on peut comprendre les principes de symétrie spatiale comme portant sur la propriété mesurable « position », et attribuer à cette propriété des aspects modaux qui ne dépendent pas du type de particules, quand bien même il

de rendre compte des cas d'annihilation et de création. S'il existe des complications comme l'effet Unruh (Earman, 2011), ou le fait que le nombre de particules peut théoriquement être vu comme différents pour différents observateurs, on peut envisager d'associer à ces observateurs des propriétés mesurées différentes : nous avons alors une variation de conditions initiales *et* de propriétés mesurées. Évaluer le succès de ce type d'analyse dépasse le cadre de notre étude.

29. ceci reviendrait par exemple à attribuer des poids de probabilité au fait qu'un champ plutôt qu'un autre soit présent dans une région de l'univers, indépendamment de l'état de ces champs, ce qui semble absurde

n'y aurait pas de sens à procéder à une induction sur les types *possibles*.

Ces aspects dépassent le cadre de cette étude, aussi nous ne les développerons pas plus.

Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons souhaité expliquer ce que pourrait être une interprétation de la nature des modalités dans le cadre de l'empirisme modal.

Nous avons commencé par défendre un actualisme, qui consiste à attribuer des propriétés modales aux situations actuelles du monde. Il s'agit de postuler que seules les situations actuelles existent, et que les situations possibles ne sont que les alternatives de situations actuelles. Cette position, plus en phase avec le langage des situations possibles (par opposition aux mondes possibles), nous permet d'obtenir une conception parcimonieuse de l'adéquation empirique modale de nos théories, sans faire référence à des possibles déconnectés du monde actuel. En outre, elle ouvre la voie à une interprétation métaphysique des modalités, en permettant d'attribuer des propriétés modales aux situations du monde, dont la nature pourra être élucidée en observant le contenu des modèles théoriques qui représentent ces situations et leurs alternatives physiquement possibles.

Mais cette position a un prérequis important : il nous faut adopter des choix relatifs à l'identification des situations du monde, de manière à pouvoir affirmer de situations possibles qu'il s'agit bien d'alternatives de la même situation actuelle. Il nous faut considérer que certaines caractéristiques des situations sont possédées nécessairement d'un possible à l'autre, quand d'autres sont contingentes. Nous avons proposé de sélectionner ces caractéristiques parmi les caractéristiques objectives des situations : le type de système, les conditions initiales et les propriétés mesurées. Cependant il reste une part d'arbitraire dans ce choix, et donc dans les modèles abstraits des théories qu'on considérera représenter des situations du monde. Ce choix dépend notamment de la manière dont on conçoit ce qu'est une situation, et des caractéristiques qu'on juge identifiantes ou contingentes, et s'accompagne de présupposés métaphysiques comme l'indéterminisme ou l'objectualité. Il est possible, cependant, de reléguer ces présupposés au contenu théorique en retrouvant indirectement les variations souhaitées par des considérations méréologiques.

Ces analyses nous ont permis de distinguer quatre types de propriétés modales qu'il est possible d'attribuer au monde, en fonction de nos choix

métaphysiques. Nous avons proposé de les rapprocher de catégories de la métaphysique traditionnelle : dispositions ou lois pour les variations de conditions initiales, et états physiques ou événements pour les variations de propriétés mesurées, suivant qu'on accepte ou non que ces variations puissent concerner une même situation particulière. Nous voyons en quoi le recours aux modalités permet de retrouver les catégories de la métaphysique traditionnelle. Pour autant, il ne s'agit pas d'une identification, mais d'une réinterprétation pragmatique de ces catégories suivant des affinités conceptuelles, qui ne s'accompagne donc pas de la même charge métaphysique.

Nous pouvons tirer deux leçons de ces analyses, l'une positive et l'autre négative. La leçon positive est qu'il est possible de produire une analyse de la nature métaphysique des modalités dans un cadre empiriste, en se concentrant sur les caractéristiques objectivables des situations que sont les propriétés mesurées et les conditions initiales. Nous obtenons, par un recours aux modalités, une partie de la richesse de la métaphysique traditionnelle, tout en ancrant celle-ci dans l'expérience. La leçon négative est que tout ceci dépend de choix qui tiennent à la façon dont on choisit d'identifier les situations du monde, et donc, aux caractéristiques objectivables qu'on considère être possédées nécessairement ou de manière contingente par les situations actuelles. Ceci pourrait nous rendre pessimiste : cette richesse aurait un coût, qui est que l'interprétation des modalités serait finalement sous-déterminée par l'expérience, exactement comme peut l'être la métaphysique traditionnelle.

Nous examinerons dans le chapitre suivant les différentes voies ouvertes par ces analyses, et le contenu des modèles théoriques associé à chacune de ces voies dans le cas de la mécanique quantique non relativiste. Pour tempérer la leçon pessimiste de ce chapitre, nous donnerons quelques raisons, dans une optique pragmatique, d'adopter une option en particulier : il s'agira de défendre une ontologie d'événements et de dispositions.

Annexe : formalisation

Considérons \mathcal{S}_{\square} l'ensemble des situations physiquement possibles qui inclut les situations actuelles : $\mathcal{S} \subset \mathcal{S}_{\square}$ et \leq une relation méréologique indiquant qu'une situation est une partie (temporelle ou compositionnelle – nous n'envisagerons pas ici de distinction formelle) d'une autre situation (ou d'elle-même). La relation \leq est une relation d'ordre partiel : elle est transitive, anti-symétrique et réflexive. Nous pourrions lui ajouter certains

axiomes de la méréologie (Simons, 1987). Il conviendrait d'examiner en quelle mesure les différents axiomes collent avec la manière dont on appréhende les situations expérimentales et leurs combinaisons dans une approche empiriste, et en quelle mesure ceux-ci devraient être délégués au contenu de nos théories et à leur adéquation empirique plutôt que d'être acceptés a priori, ce que nous ne ferons pas ici.

Une situation actuelle peut être la partie d'une situation possible (par exemple, si elle peut évoluer de différentes façons à l'avenir) mais on peut suspecter que l'inverse est impossible (cependant cet axiome ne sera pas utilisé) :

Axiome 1. $(\forall s_1 \in \mathcal{S}_\square, s_2 \in \mathcal{S})(s_1 \leq s_2 \rightarrow s_1 \in \mathcal{S})$.

On introduit une relation d'accessibilité R , transitive, réflexive et symétrique (correspondant donc à un système S5 localisé sur une situation), qui permet d'accéder aux situations possibles depuis les situations actuelles. Les situations actuelles ne sont pas accessibles entre elles (cet axiome ne sera pas non plus utilisé) :

Axiome 2. $(\forall s_1, s_2 \in \mathcal{S})(R s_1 s_2 \rightarrow s_1 = s_2)$

L'ensemble \mathcal{S}_\square se réduit aux situations accessibles depuis le monde actuel et à leurs parties :

Axiome 3. $(\forall s')(s' \in \mathcal{S}_\square \equiv (\exists s'_0 \in \mathcal{S}_\square, s_0 \in \mathcal{S})(s' \leq s'_0 \wedge R s_0 s'_0))$

On pourrait considérer que les parties de situations accessibles sont également directement accessibles depuis une partie d'une situation actuelle, mais ce pourrait être trop fort : on veut pouvoir envisager des déroulements alternatifs de l'univers qui correspondent à des situations sans contreparties dans le monde actuel. Nous considérerons cependant que l'inverse est vrai : les situations accessibles depuis une partie sont des parties de situations accessibles.

Axiome 4.

$(\forall s_0, s \in \mathcal{S}_\square)(\forall s')(R s s' \wedge s \leq s_0 \rightarrow (\exists s'_0 \in \mathcal{S}_\square)(s' \leq s'_0 \wedge R s_0 s'_0))$

Ceci semble raisonnable : considérant dans une situation s qu'un objet aurait pu se trouver à un autre endroit (s'), on peut considérer une situation englobante s_0 incluant par exemple d'autres objets, et affirmer que dans cette situation englobante, ce même objet aurait pu se trouver à ce même

autre endroit (s'_0). On peut voir ceci comme une contrainte de cohérence apportée par les situations englobantes sur les situations qu'elles contiennent : les possibles doivent être permis par les situations plus englobantes.

Si la relation d'accessibilité R est transitive, il est alors inutile d'introduire un ensemble plus large de situations possibles qui contiendrait les situations accessibles depuis les parties de situations accessibles (et ainsi de suite). On peut en effet montrer que celles-ci sont déjà incluses dans \mathcal{S}_\square .

Théorème 7.

$$(\forall s')((\exists s \in \mathcal{S}_\square)Rss' \rightarrow s' \in \mathcal{S}_\square)$$

Preuve : en appliquant l'axiome 3 à s , on déduit que s est la partie d'une situation s_0 de \mathcal{S}_\square directement accessible depuis une situation s_a de \mathcal{S} (du monde actuel). En appliquant l'axiome 4 à s_0, s, s' , on déduit qu'il existe une situation s'_0 de \mathcal{S}_\square accessible depuis s_0 et qui contient s' . La relation d'accessibilité étant transitive, s'_0 est accessible depuis une situation du monde actuel s_a . Donc s' est incluse dans une situation s'_0 de \mathcal{S}_\square accessible depuis une situation du monde actuel s_a . En lui appliquant l'axiome 3, on en déduit qu'elle appartient à \mathcal{S}_\square .

Afin de simplifier les notations, on utilisera l'opérateur modal \Box_s pour quantifier sur les situations \mathcal{S}_\square accessibles directement depuis une situation s . À l'intérieur de l'opérateur, une variable s fait référence aux situations sur lesquelles on quantifie.

Notation 1. $\Box_s[\phi(s)] \leftrightarrow (\forall s')(Rss' \rightarrow [\phi(s')])$

Rappelons qu'un type d'expérience spécifie les caractéristiques objectives d'une situation. On dit qu'une situation exemplifie un type. On propose d'introduire les conditions d'application des modèles en regroupant les types d'expérience qui partagent certains aspects, par les ensembles suivants :

1. $\mathcal{S}_T \subset \mathcal{P}(\mathcal{E})$ une partition de l'ensemble des types d'expérience qui les regroupe par type de système, tels que classifiés par une théorie T . Un élément de \mathcal{S}_T est donc l'ensemble des types d'expériences qui correspondent à un certain type de système pour une théorie.
2. $\mathcal{O}_S \subset \mathcal{P}(S)$ une partition de $S \in \mathcal{S}_T$. Ses éléments sont les ensembles de types d'expériences correspondant à des propriétés mesurées particulières sur les systèmes de type S .
3. $\mathcal{I}_S \subset \mathcal{P}(S)$ une partition de $S \in \mathcal{S}_T$. Ses éléments sont les ensembles de types d'expériences correspondant à des conditions initiales particulières pour un système de type S .

4. $\mathcal{P}_{IOS} \subset \mathcal{P}(I_S \cap O_S)$ une partition de l'intersection de $I_S \in \mathcal{I}_S$ et de $O_S \in \mathcal{O}_S$. Ses éléments sont l'ensemble des types d'expériences correspondant à des prédictions particulières pour les systèmes dont les conditions initiales sont I_S et les propriétés mesurées O_S .

Comme au chapitre 5, nous omettrons les ensembles dans les quantificateurs pour utiliser les lettres appropriées (par exemple O_S pour une propriété mesurable sur un système de type S) afin de faciliter la lecture.

Ces éléments nous permettent de reproduire les espaces de phases de manière beaucoup plus générique que ce que nous avons proposé section 9.2.2. On peut représenter un type d'expérience depuis la théorie par une histoire. Les éléments P, O, I, S sont des collections d'histoires a priori compatibles avec certaines prédictions, propriétés mesurées, conditions initiales et types de systèmes. En pratique, les espaces de phase apportent une structure supplémentaire concernant les relations entre propriétés mesurées et conditions initiales.

Ce découpage des types d'expérience est relatif à une théorie T . Puisque ces ensembles forment des partitions, chaque type d'expérience peut être classé par une théorie dans l'un d'eux. On notera :

- $S_E \in \mathcal{S}_T$ le type de système d'un type d'expérience E ,
- $O_E \subset S_E$ ses propriétés mesurées.
- $I_E \subset S_E$ ses conditions initiales,
- $P_E \subset I_E \cap O_E$ ses prédictions. On a par définition $E \in P_E$ (et donc de même pour les autres composantes).

Pour simplifier les notations, on notera Ss (respectivement Is, Os, Ps) la proposition suivant laquelle une situation s exemplifie un type d'expérience correspondant à un système de type S (respectivement des conditions initiales I , des propriétés mesurées O , des prédictions P) :

Notation 2. $[S]_s \leftrightarrow (\exists E \in \mathcal{E})(E_s \wedge [S]_E = [S])$

On peut montrer facilement que si une situation exemplifie un type d'expérience, elle exemplifie chacune des composantes correspondante avec cette notation. Les composantes O_E, I_E suffisent à spécifier des conditions d'application d'un modèle M (que nous avons noté A_M), et les composantes P_E suffisent à spécifier ses prédictions (P_M) :

Axiome 5.

$$(\forall T)(\forall M_T)(\forall E)((E \in A_{M_T}) \rightarrow (A_{M_T} = I_E \cap O_E))$$

Axiome 6.

$$(\forall T)(\forall M_T)(\forall E)((E \in P_{M_T}) \rightarrow (P_{M_T} = P_E))$$

Nous pouvons alors exprimer l'adéquation empirique modale comme suit :

Définition 11.

$$\begin{aligned} \text{adequation}_{\square}(T) &:= (\forall M_T)(\forall s) \\ \square_s(\forall P)(P_s \rightarrow P \subset A_{M_T} \rightarrow P = P_{M_T}) \end{aligned}$$

C'est-à-dire que quand un type d'expérience est exemplifié par une situation, s'il correspond aux conditions d'application d'un modèle de la théorie, il correspond également à ses prédictions. Cette nouvelle définition est équivalente à celle introduite dans l'annexe du chapitre 5, si l'on ignore l'interprétation de l'opérateur modal (qui n'était pas définie alors, et qui recevait par défaut une interprétation *de dicto*) :

Théorème 8.

$$(\forall T)(\text{adequation}_m(T) \equiv \text{adequation}_{\square}(T))$$

Preuve : soit une théorie adequate_m, l'un de ses modèles M et une situation possible s. Soit des prédictions P ⊂ A_M et qui s'appliquent à s, c'est-à-dire qu'il existe un type d'expérience E tel que P_E = P exemplifié par s. Puisque P ⊂ A_M, E est inclus dans A_M. D'après la définition de adequate_m, il est inclus dans P_M. D'après l'axiome 6, P = P_M : la théorie est adequate_□. Dans l'autre sens : soit une théorie adequate_□, un modèle M, un type d'expérience E de A_M et une situation s qui l'exemplifie. De par notre notation, la situation exemplifie donc P_E. D'après l'axiome 5, I_E ∩ O_E = A_M et par définition, P_E ⊂ I_E ∩ O_E donc P_E ⊂ A_M. D'après la définition de adequate_□ appliquée à ces conditions d'application, P_E = P_M. Donc E est inclus dans P_M : la théorie est adequate_m.

Nous avons donc une notion d'adéquation empirique équivalente à celle proposée au chapitre 5, si ce n'est sur les aspects modaux.

Nous pouvons présumer que les situations accessibles depuis une situation exemplifient toutes le même type de système :

Axiome 7. $(\forall S)(\forall s)(S_s \rightarrow \square_s S_s)$

Ceci nous permet d'aboutir à une nouvelle définition équivalente de l'adéquation empirique (nous ne proposons pas de démonstration) :

Définition 12.

$$\begin{aligned} \text{adequation}_S(T) &:= (\forall M_T)(\forall S)(\forall s)(S_s \rightarrow \\ \square_s(\forall P \subset S)(P_s \rightarrow P \subset A_{M_T} \rightarrow P = P_{M_T})) \end{aligned}$$

Nous pouvons envisager de contraindre la relation d'accessibilité de manière à ce que les situations accessibles partagent non seulement le même type de système, mais aussi les mêmes propriétés mesurées (en adaptant l'axiome 7). Alors nous pouvons faire sortir ces conditions d'application en dehors de l'opérateur modal :

Définition 13.

$$\text{adequate}_O(T) := (\forall M_T)(\forall O)(\forall s)(Os \rightarrow \Box_s(\forall P \subset O)(Ps \rightarrow P \subset A_{M_T} \rightarrow P = P_{M_T}))$$

La partie de cette formule se situant après l'opérateur modal peut être interprétée comme une propriété modale attribuée à une situation s , que nous avons qualifié de disposition (section 9.3). En effet, les P inclus dans O correspondront à tous les types d'expérience compatibles avec des propriétés mesurées O , quelles que soient leurs conditions initiales. La formule nous indique que ceux qui s'appliquent à des situations possibles respectent certaines contraintes, qui porteront donc sur des relations entre conditions initiales et prédictions.

Une seconde option consiste à fixer les conditions initiales. L'adéquation empirique devient :

Définition 14.

$$\text{adequate}_I(T) := (\forall M_T)(\forall I)(\forall s)(Is \rightarrow \Box_s(\forall P \subset I)(Ps \rightarrow P \subset A_{M_T} \rightarrow P = P_{M_T}))$$

Nous obtenons une propriété modale de type différent, que nous avons qualifié d'état intrinsèque. En effet, l'ensemble des $P \subset I$ comprendra tous les types d'expériences compatibles avec I qui diffèrent par leurs propriétés mesurées. La formule nous indique que ceux qui sont exemplifiés respectent certaines contraintes, qui prendront la forme de relations entre propriétés mesurées et prédictions.

Enfin on peut choisir de fixer à la fois les propriétés mesurées et les conditions initiales. On obtient alors la formule suivante :

Définition 15.

$$\text{adequate}_I(T) := (\forall M_T)(\forall I, O)(\forall s)((Is \wedge Os) \rightarrow \Box_s(\forall P \subset I \cap O)(Ps \rightarrow P \subset A_{M_T} \rightarrow P = P_{M_T}))$$

Chapitre 10

Interpréter les théories

English abstract

We examine the different metaphysical possibilities for attributing modal properties to actual situations, by applying the tools presented in the previous chapter to the case of non-relativistic quantum mechanics. We focus on two ontologies in particular : an ontology of laws and physical states (which identifies situations by their initial condition, but not by what is measured on them), and an ontology of dispositions and events (which identifies situations by what is measured on them, but not their initial conditions). We argue that the choice is pragmatic, and depends on the aim of science : describing what exists in the external world in one case, allowing the development of techniques in the other. We argue that the latter is more fruitful, and corresponds better to the way causal explanations are produced in science. We argue that the former faces difficulties when it comes to interpreting quantum mechanics. Finally, in a more programmatic way, we explain how an ontology of dispositions and events would fit with quantum mechanics, and how it could address problems of reduction and emergence.

Dans le chapitre précédent (chapitre 9), nous avons suggéré qu'il doit être possible d'interpréter métaphysiquement les modalités dans un cadre empiriste, en considérant que l'adéquation empirique de modèles abstraits, représentant différentes alternatives d'une même situation, doit permettre d'attribuer des propriétés modales aux situations du monde. Nous avons proposé une taxinomie des différentes propriétés modales que nous avons associées à différentes catégories ontologiques (états, événements de mesure, dispositions, lois), réinterprétées pragmatiquement dans le cadre d'un empirisme modal. Nous avons remarqué, cependant, que ce type d'interprétation pouvait dépendre de choix métaphysiques liés à la façon dont on identifie les situations du monde, et donc aux modèles abstraits qu'on considère représenter ces situations.

Nous proposons dans ce chapitre de déployer ces outils de manière plus concrète en explorant les différentes voies. Il s'agira, dans la section 10.1, d'examiner le contenu des modèles abstraits de la mécanique quantique non relativiste dans sa formulation hamiltonienne qu'on peut obtenir en fonction des différentes manières d'identifier les situations du monde. Dans la section 10.2, nous proposerons de motiver l'une de ces options, celle correspondant à une ontologie de dispositions et d'événements, sur la base de considérations pragmatiques. Enfin dans la section 10.3, nous explorerons, à titre plus programmatique, les perspectives qu'offre cette option dans différents champs de la philosophie des sciences, en particulier l'interprétation de la mécanique quantique et les problématiques de réduction et d'émergence.

10.1 Induction sur les modèles et engagement ontologique

Dans cette section, nous proposons d'examiner les différentes manières d'identifier les situations, sur la base des caractéristiques objectives qu'on considère variables ou identifiantes, et les engagements ontologiques qui en découlent. Nous appliquons les outils développés dans le chapitre précédent au cas de la mécanique quantique non relativiste dans sa formulation hamiltonienne, et verrons qu'à chaque option correspondront différents types de modèles théoriques. Mais commençons par quelques brèves remarques sur la façon dont on analysera ce contenu.

10.1.1 *Le contenu des modèles*

Pour savoir quelles propriétés modales attribuer aux situations du monde, nous regarderons le contenu des modèles théoriques qui représentent ces situations et leurs alternatives possibles.

Ces modèles dépendront de choix concernant les caractéristiques objectives des situations (conditions initiales ou propriétés mesurées) qu'on juge identifiantes, donc possédées nécessairement, ou contingentes et donc variables parmi les possibles : de ces choix découleront différents types de modèles. Nous avons vu dans le chapitre précédent que nous pouvons associer ces choix à différentes façons de concevoir ce qu'est une situation :

- comme objets autonomes pouvant être mesurés de différentes façons, excluant les propriétés mesurées des caractéristiques identifiantes, ou comme des perspectives sur le monde identifiées relationnellement par les propriétés mesurées ;
- comme des entités fonctionnelles dont les conditions initiales sont contingentes, ou comme des états de faits identifiés par leurs conditions initiales.

Nous avons vu également dans le dernier chapitre que les caractéristiques objectives que sont les conditions initiales et propriétés mesurées peuvent être formalisées comme régions et partitions de l'espace des phases associé au type de situation considéré. Ceux-ci correspondent, dans le cas de la mécanique quantique sous sa formulation hamiltonienne, aux observables (et combinaisons d'observables) et aux vecteurs d'état (et matrices densités). Il s'agit là d'ingrédients de base qui permettent de construire les modèles représentant ces situations : ils sont associés, en situation, à différentes configurations expérimentales et aux résultats de mesures préparatoires. Les modèles construits à partir de ces ingrédients permettent de produire des prédictions.

Nous obtiendrons des modèles différents suivant les ingrédients que l'on décide ou non d'incorporer dans les modèles. Typiquement, en ne prenant que le type de système et les conditions initiales comme critère identifiant, nous construisons un modèle en spécifiant uniquement un espace de Hilbert et un vecteur d'état à l'instant initial, puis en appliquant les lois de la théorie. Les observables sont alors considérées comme externes au modèle, permettant seulement de dériver des prédictions à partir du modèle pour différentes alternatives. Il en résultera une certaine structure mathématique : en l'occurrence un vecteur en évolution temporelle.

Ce modèle abstrait est empiriquement adéquat pour toutes les alternatives de la situation qu'il représente (dans notre exemple, quel que soit ce

qu'on mesure sur le système). Nous proposons d'interpréter cette structure par la manière dont elle se rapporte à l'expérience. On peut considérer que le modèle synthétise mathématiquement toutes ces alternatives (qu'on pourrait représenter par des modèles unitaires différents : des histoires) : il synthétise toutes les prédictions qu'on pourrait obtenir en fonction des propriétés mesurées. Notre démarche consiste donc à procéder à une induction purement mathématique en miroir de l'induction expérimentale sur les possibles, et à interpréter la structure résultant en termes de propriétés modales possédées par les situations.

Ceci suppose que les éléments qui nous ont permis de construire le modèle, mais qui ne sont plus utiles pour dériver des prédictions, ne représente aucun aspect d'une situation particulière. Si, par exemple, nous employons un espace de Hilbert auxquels nous appliquons des observables pour dériver des résultats de mesure possibles qui prendront la forme d'histoires, nous pouvons considérer l'espace de Hilbert et les observables comme de simples outils, mais le contenu pertinent de notre modèle sera uniquement constitué des histoires que nous avons obtenues¹.

Quand nous affirmons de ces modèles ainsi réduits au minimum essentiel qu'ils représentent correctement les propriétés modales des situations auxquelles ils s'appliquent, l'idée n'est pas d'utiliser un raisonnement abductif (que nous avons critiqué section 6.3). Nous ne prétendons pas expliquer leur succès empirique, mais simplement l'affirmer. Il s'agit donc plutôt d'utiliser un argument d'indispensabilité : les structures que nous avons conservés dans notre modèle (ceux qui sont directement associés au vocabulaire des propriétés mesurables) sont indispensables pour que celui-ci prédise avec succès, et affirmer ce succès, au sens modal, ce n'est rien de plus qu'affirmer la correspondance entre ces éléments et tous les

1. Le modèle réduit résultant n'est donc plus, à strictement parler, un modèle de la théorie au sens de Tarski (voir la section 4.2). Dans cette optique, une théorie s'apparente plutôt à un ensemble de recettes pour construire des modèles, comme le propose Cartwright (1999). Mais la notion de modèle que nous avons utilisé jusqu'ici garde son utilité comme étape intermédiaire dans cette construction (elle permet notamment de spécifier clairement le domaine des modèles concevables) : un modèle réduit est la partie d'un modèle abstrait qui satisfait la théorie au sens de Tarski. Une autre approche consisterait à formuler nos théories en ne gardant dans leur vocabulaire que les termes correspondant à des degrés de libertés (les propriétés mesurables), éliminant (par ramseyfication ?) les termes faisant référence à des structures mathématiques ou à des entités comme les points de l'espace-temps. Alors les modèles réduits sont toujours des modèles de la théorie au sens de Tarski. Mais le statut des propriétés ne correspondant pas à des degrés de liberté mais caractérisent plutôt des types de systèmes, comme la masse ou la charge, qui permettent toujours d'organiser les modèles entre eux et peuvent jouer un rôle au moment de la confrontation expérimentale, risque de poser problème.

résultats expérimentaux possibles. Ces éléments synthétisent ce qui est ou serait accessible par l'expérience dans une situation donnée, si bien que nous devrions être engagés envers l'existence de ces éléments dans la situation dont nous faisons l'expérience pour prétendre affirmer que nos modèles sont adéquats. Il restera cependant à interpréter ces structures mathématiques, et c'est à ce moment que les outils du dernier chapitre seront mis en œuvre.

10.1.2 Quatre « packages » métaphysiques

Maintenant expliquée notre approche, nous pouvons passer à la pratique. Les choix à faire concernent le fait, pour certaines caractéristiques, d'être considérées contingentes ou identifiantes. Nous considérerons que le type de système et sa dynamique (par exemple, un électron dans un champ électromagnétique, qu'on associera lors de la confrontation expérimentale à certains types de dispositifs expérimentaux) sont systématiquement identifiants. Il nous restera à savoir si les propriétés mesurées et conditions initiales qu'un système d'un type donné peut avoir sont ou non identifiantes. Quatre options sont envisageables : l'identification la plus stricte (une situation se caractérise par des conditions initiales et propriétés mesurées précises), une identification par les conditions initiales uniquement, une identification par les propriétés mesurées uniquement, enfin une identification par aucune de ces caractéristiques, mais uniquement le type de système et sa dynamique. Suivant la taxinomie proposée dans le chapitre précédent (section 9.3), ces options correspondront à l'attribution de propriétés modales nomologiques ou intrinsèques différentes, qui correspondront donc à nos quatre « packages métaphysiques » : états et dispositions, états et lois, événements et dispositions, ou événements et lois.

Pour illustrer cette démarche, nous allons appliquer ces quatre options au cas de la mécanique quantique non relativiste dans sa formulation hamiltonienne. De manière à simplifier l'analyse, nous en excluons les mesures faibles et les mélanges statistiques (habituellement représentés par des matrices densités). Les ingrédients formels à notre disposition pour construire des modèles sont donc les suivants :

- L'espace de Hilbert associé au type de système considéré
- L'hamiltonien associé à la dynamique du type de système considéré
- Un vecteur dans l'espace de Hilbert associé aux conditions initiales de la situation
- Une collection d'observables indexées dans le temps, associé aux

propriétés mesurées dans la situation

Nous allons voir comment construire des modèles et réduire leur contenu, suivant les caractéristiques considérées comme fixes ou variables parmi les possibles.

Événements et lois

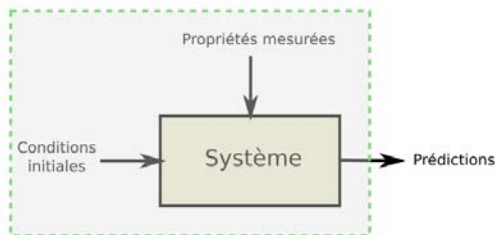


FIGURE 10.1 – Modèle prédictif

La première option consiste à adopter l'identification la plus stricte possible pour les situations : en considérant à la fois les propriétés mesurées et les conditions initiales comme des caractéristiques identifiantes des situations (figure 10.1). Dans ce cadre, une situation n'aurait pas pu avoir des conditions initiales différentes, elle n'aurait pas pu être mesurée autrement. Nous devons donc spécifier dans notre modèle un espace de Hilbert, un hamiltonien, un vecteur dans l'espace de Hilbert et une collection d'observables. Ces éléments nous permettent de dériver des prédictions, qui prendront la forme d'une répartition de probabilités sur les valeurs propres de chaque observable, ou encore, d'histoires pondérées (rappelons qu'une histoire est une succession de valeurs de propriétés indexées dans le temps), qui correspondent aux différents déroulements possibles de la situation. L'adéquation empirique de ces modèles sera obtenue à l'issue d'une induction sur les situations qui ont exactement les caractéristiques identifiantes spécifiées.

Nous avons vu dans le chapitre précédent que ceci revenait à considérer les situations comme des états de faits appréhendés depuis une perspective, instanciant des événements. Les régularités parmi les situations peuvent être décrites par des lois. Nous pouvons en effet interpréter les modèles réduits (les histoires) en utilisant la catégorie d'événement, qui correspondront aux éléments des histoires. La théorie nous renseigne sur la nature de

ces événements et sur certaines lois de régularité dans leurs instanciations possibles et actuelles.

C'est l'identification la plus stricte et la moins métaphysiquement coûteuse (mais le contenu des lois peut être difficile à appréhender). D'un point de vue pragmatique, de tels modèles nous permettent seulement de faire des prédictions face aux situations du monde que nous rencontrons ainsi strictement identifiées. Nous parlerons à ce sujet de modèle prédictif.

États et lois

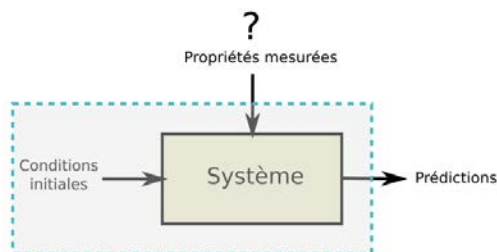


FIGURE 10.2 – Modèle descriptif

La seconde option consiste à identifier les situations par leurs conditions initiales et le type de système, mais pas par les propriétés mesurées, qui peuvent être variables d'une alternative à l'autre (figure 10.2). Nous devons donc spécifier dans notre modèle un espace de Hilbert, un vecteur d'onde et un hamiltonien, mais les observables sont externes au modèle : elles servent uniquement à dériver des prédictions à partir du modèle dans différentes alternatives. Si l'on incorpore uniquement un espace de Hilbert, un vecteur et un hamiltonien comme ingrédients, notre modèle prendra la forme d'un vecteur de l'espace de Hilbert évoluant au cours du temps, suivant la dynamique spécifiée par l'hamiltonien. C'est ce dont nous avons besoin pour pouvoir dériver des prédictions *quelles que soient* les mesures effectuées. Pour tester l'adéquation empirique d'un tel modèle, il nous faudra considérer une situation expérimentale, puis faire varier la manière dont on place les instruments de mesure, de manière à procéder à une induction sur ce qui est mesuré. À l'issue d'une induction, nous pourrions affirmer que quel que soit ce qui est mesuré sur une situation ainsi identifiée (quelle que soit l'observable), le modèle qui la représente fait de bonnes prédictions. Notre vecteur représente donc les propriétés modales intrinsèques de la situation.

Nous avons vu dans le chapitre précédent qu'il s'agissait de concevoir les situations comme des objets autonomes du monde, auxquelles nous pouvons attribuer des états physiques. Nous pouvons en effet interpréter le vecteur d'un modèle comme représentant l'état physique d'une situation (ce vecteur est toujours conceptuellement interprété en relation à certaines propriétés mesurables : certaines directions de l'espace de Hilbert correspondent à certaines valeurs pour la position, le spin, etc.). Les régularités dans l'évolution d'états physiques différents sont décrites par des lois : les aspects nomologiques sont externes aux situations.

Il s'agit peut-être de l'option la plus intuitive, et elle correspond en tout cas à la manière de procéder qui est la plus fréquemment suivie en métaphysique, où l'on cherchera à interpréter les modèles de la mécanique quantique en considérant que les observables leurs sont externes. Il s'agit, en quelque sorte, de suivre la prescription de Bell (2004) suivant laquelle la notion de mesure ne devrait pas faire partie d'une théorie physique fondamentale : elle ne fait plus partie du contenu qui nous sert à représenter les situations du monde.

Cette approche est associée, de manière générale, à une attitude réaliste : on pense que les modèles de nos théories décrivent ce qui existe dans le monde de manière autonome, indépendamment des mesures qu'on en fait. Le modèle abstrait ainsi obtenu joue précisément ce rôle : il sert à représenter, ou décrire, ce qui existe dans le monde indépendamment de nos observations. Nous parlerons de *modèle descriptif*.

Événements et dispositions

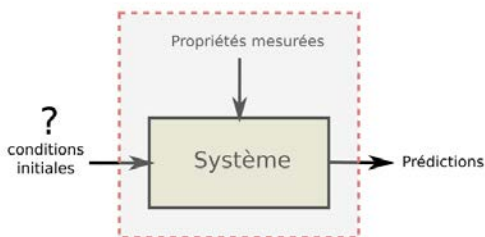


FIGURE 10.3 – Modèle fonctionnel

Une troisième option est de considérer que les propriétés mesurées sur un système sont une caractéristique identifiante pour notre situation : si nous mesurons autre chose, ce serait une situation différente. Pour

autant, les conditions initiales dans lesquelles on trouve notre système sont contingentes (figure 10.3). Ceci fait sens notamment dans le cadre de la mécanique quantique, où les conditions initiales sont obtenues à l'issue d'une première mesure, dont on peut considérer (suivant certaines interprétations) que le résultat est aléatoire : il est alors sensé d'affirmer qu'on aurait pu obtenir un résultat différent lors de cette première mesure, au cours de cette même situation.

Dans ce cadre, nous devons spécifier, pour construire le modèle d'une situation, un espace de Hilbert, un hamiltonien et une collection d'observables indexées dans le temps, mais le vecteur correspondant à l'état initial sera relégué hors du modèle : il sert uniquement à dériver des prédictions pour les alternatives de la situation. Tester l'adéquation empirique d'un modèle nous demandera d'effectuer plusieurs expériences sur la même configuration expérimentale en faisant varier les conditions initiales de l'expérience (ce qui ne requiert pas d'interventions particulières dans le cas de la mécanique quantique, où le résultat d'une première mesure est imprévisible).

Si l'on utilise uniquement un espace de Hilbert, un hamiltonien et une collection d'observables, notre modèle contiendra un ensemble de probabilités conditionnelles entre les différentes conditions initiales possibles (les valeurs propres de l'observable correspondant à une mesure préparatoire) et les histoires associées aux résultats possibles de mesures (les valeurs propres des différentes observables), ces probabilités respectant les règles standard du calcul des probabilités. Mais les conditions initiales du système peuvent être assimilées au résultat d'une mesure parmi d'autres, et on peut donc voir ce type de modèle comme spécifiant des probabilités conditionnelles entre tous les résultats de mesure possibles. C'est l'approche suivie par le formalisme des histoires consistantes, auquel nous renvoyons pour plus de détails sur la nature des modèles obtenus (Griffiths, 2003).

Nous avons vu dans le chapitre précédent que ceci revenait à assimiler les situations à des configurations appréhendées relativement à une perspective, instanciant des événements de mesure. Nous pouvons attribuer à ces configurations des dispositions. Dans cette optique, les probabilités conditionnelles représenteraient des dispositions, et les éléments des histoires des événements de mesure, qui sont les stimuli et manifestations de ces dispositions. Le contenu d'une théorie décrivant les régularités parmi plusieurs situations différentes n'est plus alors nomologique (la nomologie étant intégrée aux modèles). On pourrait l'interpréter plutôt comme une élucidation des rapports qu'entretiennent les différentes mesures possibles sur un type de système (voir la section 9.3). La théorie nous permet de savoir

que si une situation dans laquelle on mesure la position possède telles dispositions, une situation différente dans laquelle on mesure la vitesse (toutes choses égales par ailleurs) possédera telles dispositions. Ses axiomes nous renseignent donc sur la manière dont les différentes propriétés mesurables sont liées les unes aux autres.

Remarquons que la structure de l'espace et du temps, ou à celle des espaces de phases, n'apparaissent pas dans nos modèles réduits. Nous n'avons pas à postuler qu'il s'agit de structures réelles, plutôt que de structures abstraites qui concernent les relations entre les différentes propriétés mesurables.

Nous aboutissons à une vision fort différente de celle, plus traditionnelle, que nous avons envisagée précédemment. Dans le cas précédent, le rôle joué par le modèle abstrait obtenu était descriptif : il s'agissait de se représenter ce qui peut exister dans le monde de manière autonome. Le type de modèle abstrait que nous envisageons ici pourrait jouer un rôle plutôt fonctionnel : ce type de modèle nous indique à quel résultat on peut s'attendre quand une certaine configuration expérimentale est implémentée, ce quelles que soient les contingences physiques. Nous parlerons à ce sujet de modèle fonctionnel.

États et dispositions

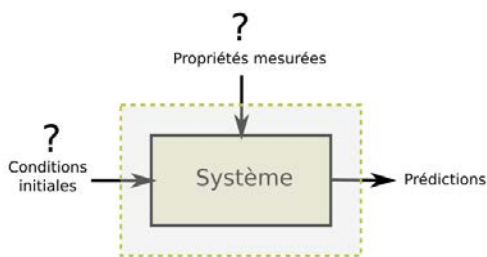


FIGURE 10.4 – Modèle général

Si nous choisissons d'identifier les situations uniquement par le type de système, et qu'on considère que les conditions initiales et les propriétés mesurées sont contingentes (figure 10.4), nous ne construisons notre modèle qu'à partir d'un espace de Hilbert et d'un hamiltonien. Vecteurs et observables seront considérés comme externes au modèle, permettant seulement d'établir des prédictions pour les différentes alternatives. Le type de modèle théorique qui en résulte n'est donc constitué que d'un

hamiltonien. Cependant ce dernier n'intègre aucun aspect temporel. Pour y remédier, on pourrait voir le contenu d'un modèle comme une collection infinie de trajectoires dans l'espace de Hilbert, couvrant tout l'espace (ce qui peut évoquer les « *fibre bundles* »). Spécifier vecteur au moment initial permet de sélectionner l'une de ces trajectoires, et spécifier un observable permet de dériver des prédictions.

Dans cette approche, suivant notre taxinomie du chapitre précédent, les situations sont des objets autonomes dotés d'états physiques, mais ces objets s'apparentent à des configurations dispositionnelles plutôt qu'ils ne soutiendraient des états de faits déterminés suivant des lois de régularité. Ce type de modèle semble plus difficile à interpréter, en ce qu'il ne hiérarchise pas propriétés mesurées et conditions initiales en faisant de l'une de ces deux caractéristiques un critère identifiant.

| Ontologie | Identité | Modèle d'une situation |
|----------------------------|-----------------|-------------------------------------|
| Événements et lois | S, I, M | histoires pondérées |
| États et lois | S, I | vecteur en évolution |
| Événements et dispositions | S, M | collection d'histoires pondérées |
| États et dispositions | S | collection de vecteurs en évolution |

TABLE 10.1 – Récapitulatif des options métaphysiques

10.2 Quelle voie choisir ?

Nous avons donc à notre disposition quatre « packages métaphysiques », et l'on pourrait craindre que le choix est sous-déterminé. Selon nous, ce choix est en partie une affaire pragmatique : il a à voir avec ce qu'on considère être le but de la science (prédire, décrire, développer des techniques...). Mais il n'est pas entièrement conventionnel pour autant, et on peut juger que les sciences permettent mieux de réaliser certains buts que d'autres, ce qui pourrait jouer en faveur de l'adoption de la métaphysique correspondante. Suivant une conception pragmatiste de la vérité, il faudrait juger une ontologie à sa capacité à être utile pour réaliser avec succès certains buts. Dans ce cadre, nous pensons qu'une ontologie de dispositions et d'événements associées à des situations conçues comme perspectives est la plus appropriée, et qu'une ontologie, d'apparence plus réaliste, d'états et de lois,

rencontre de nombreuses difficultés et devrait de ce fait être abandonnée, quand une ontologie d'événements et de lois serait trop faible pour rendre compte du succès technique de la science.

C'est ce que nous allons défendre dans cette section. Nous commencerons par défendre cette option relativement à ce qu'on pense être le but de la science, en avançant que le succès technique de la science est plus impressionnant que sa capacité à nous fournir une métaphysique réaliste clé en main. Puis nous nous intéresserons plus particulièrement aux problèmes d'interprétation de la mécanique quantique, qui minent, selon nous, l'idée qu'une théorie devrait décrire une réalité indépendante. Enfin nous verrons en quoi une ontologie de dispositions relatives à une perspective est plus prometteuse et permet d'établir un lien assez direct entre nos modèles et l'image manifeste du monde.

10.2.1 *Le but de la science*

Si nos conventions concernant ce qu'on décide d'identifier comme situation du monde sont une affaire pragmatique, nos choix dépendront de ce qu'on considère être notre but, et à ce titre, on peut se questionner sur le but de la science. Est-ce simplement de faire des prédictions couronnées de succès (comme le retour de la comète de Halley)? Est-ce de développer des techniques, qui fonctionneront parfaitement (comme les ordinateurs ou les avions)? Ou est-ce de décrire la nature, de savoir ce qui existe dans le monde?

Les buts que l'on poursuit auront certainement pour effet d'orienter nos choix. Prenons la première option : nous voulons simplement prédire ce qui va se produire dans une situation. Nous voulons savoir comment elle va évoluer. Autant obtenir le maximum d'informations sur notre situation à cette fin : ses conditions initiales sont particulièrement importantes. Par ailleurs, certaines propriétés en particulier vont nous intéresser : celles qu'on va observer, celles pour lesquelles nous souhaitons faire des prédictions. Nous pouvons donc identifier la situation à prédire de manière précise, en spécifiant à la fois ses conditions initiales et les propriétés qu'on y mesurera (si l'une ou l'autre de ces caractéristiques avaient été différente, ç'aurait été une autre situation à prédire, mais elle ne nous intéresse pas). On optera alors pour le premier package.

On peut être peu satisfait de ce rôle minimal, notamment si l'on est d'inclination réaliste. La science fait plus que ça : elle se donne pour but de décrire le monde. Elle nous dit ce qui existe dans la nature indépendamment de nous : des gènes, des quarks ... Si on pense qu'en effet c'est là le but

de la science, notre appréhension des situations sera différente : nous y verrons des choses qui nous sont indépendantes, qui existent de manière autonome. Si nous voulons savoir ce qui existe, nous avons tout intérêt, encore une fois, à amasser le maximum d'informations sur les situations, y compris leurs conditions initiales. Mais ce que l'on mesure de ces situations n'est pas propre à ces situations elles-mêmes, et nous ne souhaiterons pas en faire une caractéristique identifiante. On optera pour le second package.

On voit au passage qu'il est possible de retrouver une certaine forme de réalisme dans le cadre d'un empirisme modal : non pas au sens faible où nos théories sont vraies (ce que nous acceptons déjà dans un cadre pragmatiste, voir le chapitre 8), mais en un sens plus fort où elles nous amènent à postuler l'existence d'entités autonomes dans la réalité (ce qui correspond au postulat d'objectualité évoqué dans le chapitre précédent). La différence avec le réalisme scientifique tel qu'il est généralement conçu est que nos descriptions de la réalité seront exprimées en termes d'expériences possibles. C'est donc une différence essentiellement sémantique. Nous parlerons toutefois de réalisme dans la suite pour caractériser cette approche.

Il n'est pas besoin d'être réaliste pour penser que la science fait plus que prédire. Elle permet aussi d'agir sur le monde, et en particulier, de développer des techniques. Elle nous permet d'envoyer des robots sur Mars. Il ne s'agit pas forcément de dire que le seul but de la science est le développement de techniques particulières, mais peut-être de nous doter de représentations efficaces pour permettre le développement de toutes les techniques qu'on souhaite, sans limites a priori, c'est-à-dire les représentations qui permettent le mieux d'interagir avec les domaines de la réalité auxquels elle s'intéresse de manière systématique, indépendamment des buts particuliers que l'on poursuit à un moment donné (de manière à conserver l'idée qu'idéalement, la science est neutre vis-à-vis des valeurs non épistémiques).

Si l'on pense que c'est là son but, alors de nouveau nous aurons une conception des situations légèrement différente. Une bonne technologie se doit de faire face à toutes les contingences du monde. Nous ne voulons donc pas nous cantonner à certaines conditions initiales, mais les considérer toutes. Cependant, une technologie doit répondre à un besoin particulier : à l'instar des prédictions, nous voulons obtenir des résultats de manière systématique et prévisible, et donc, les propriétés mesurées ont leur importance : un robot qui doit se tenir à la verticale devra mesurer son orientation par rapport au champ gravitationnel, mais sa couleur importe peu. Même si, au final, une théorie doit nous permettre de s'intéresser aux propriétés qu'on

souhaite, chacun de ses modèles devrait intégrer des propriétés d'intérêt particulières. C'est donc le troisième package qui aura nos faveurs.

Enfin peut-être que la science poursuit un but plus abstrait, qui serait de décrire la structure de la réalité, indépendamment des faits locaux ou de nos mesures, et dans ce cas, c'est le quatrième package qu'on choisira.

10.2.2 *Quels sont les buts couronnés de succès ?*

Comment évaluer ces options ? Nous avons déjà donné quelques raisons section 9.3.3 de rejeter les deux premières : ne pas envisager a priori que des variations dans les conditions initiales soient possibles limiterait l'adéquation empirique modale de nos théories de manière trop drastique pour pouvoir encore soutenir les arguments de la partie II de cette étude. Après tout, c'est généralement en termes de nomologie que l'on pense les modalités physiques, et ceci suppose un indéterminisme métaphysique au sens le plus général où les faits actuels du monde sont contingents.

Nous souhaitons maintenant donner plus d'arguments en ce sens suivant un angle pragmatiste. Si l'on est pragmatiste, on pourra être tenté de juger du but de la science sur la base de ce qu'elle réalise avec le plus de succès. Il nous semble, à ce titre, que considérer que son rôle est de prédire nos observations futures dans un domaine bien cadré est une vision trop limitée des choses, en particulier à l'égard des arguments contre l'instrumentalisme évoqués aux chapitres 1 et 2. C'est sans doute insuffisant pour permettre à l'empirisme modal de répondre à l'argument du miracle (section 6.2.1) : dans un tel cadre, nous ne procédons pas vraiment à une induction sur des types d'expérience différents (si ce n'est quant à leurs prédictions).

Mais si le but de la science était de décrire ce qui existe indépendamment de nous, il n'est pas certain qu'elle y parvienne : comment pourrions-nous le savoir ? L'approche mène à des problèmes de sous-détermination : il existe plusieurs manières d'interpréter le contenu des modèles comme une description de ce qui existe indépendamment de nous. Il existe plusieurs interprétations de la mécanique quantique (et aucune n'est vraiment satisfaisante, comme nous le verrons). Enfin les changements théoriques nous amènent à revoir de manière importante le contenu des modèles ainsi conçus : une fonction d'onde a peu de chose à voir avec une particule ponctuelle.

Notre approche se distingue d'un pur réalisme, mais nous retrouvons des problèmes similaires si l'on choisit le second package. Une raison à ceci se trouve dans le fait que l'approche consistant à postuler des états

parfaitement déterminés pour supporter toutes les observations possibles nous demande d'aller au-delà de l'expérience, puisque nos mesures n'ont jamais une précision infinie. Ainsi, les conditions initiales qui nous servent à savoir qu'un modèle s'applique peuvent être formalisée comme une région de l'espace des phases, mais si l'on doit postuler que d'autres mesures auraient pu être faites, y compris des mesures à des degrés de précision arbitraires, nous devons assimiler l'état initial de notre système à un point de l'espace des phases, non plus une région. Nous devons postuler, par exemple, qu'une particule a une position précise, représentée par un nombre réel, c'est-à-dire qu'il faudrait une infinité de « chiffres après la virgule » pour décrire sa position exacte. Ce faisant, nous introduisons un fossé entre notre ontologie et nos capacités épistémiques.

Remarquons également, au passage, qu'une induction sur les propriétés mesurées est une induction sur un continuum. Il existe en effet une infinité indénombrable de façons de partitionner un espace des phases. Au contraire, une fois fixées certaines propriétés mesurées, l'induction sur les conditions initiales d'un système est une induction sur un ensemble fini de valeurs possibles (ou au moins idéalement sur un infini dénombrable), puisque nos mesures, y compris la mesure initiale qui nous permettra de déterminer l'état initial d'un système, sont discrètes. Étant donné les paradoxes liés aux infinis, en particulier indénombrables (par exemple le paradoxe de Banach-Tarski), il est sans doute moins problématique de supposer que les alternatives d'une situation forment un ensemble fini².

En outre, le simple fait de procéder à une induction sur les propriétés mesurées possibles nous expose déjà à un risque d'induction pessimiste. Les propriétés mesurées sont, en effet, de l'ordre du domaine d'application de la théorie. Dans les faits, les changements théoriques amènent souvent une redéfinition de nos concepts qui limite la possibilité d'étendre les concepts des anciennes théories à de nouveaux domaines d'expérience (par exemple, la notion classique de position n'est plus pertinente dans le domaine quantique), si bien que ce type d'induction est en principe plus douteux qu'une induction sur les conditions initiales. Les deux pourront trouver leurs limites (voir la section 6.2.2), mais l'extension de l'adéquation empirique de la théorie à des propriétés mesurables quelconques définissables depuis la théorie semble plus douteuse que son extension à de nouvelles conditions initiales possibles pour des propriétés mesurables sur lesquels nous avons déjà testé la théorie.

2. Il faut tempérer cette remarque, cependant, dans la mesure où les probabilités attribuées aux histoires sont des nombres réels : voir la section 9.1.3.

Une façon d'approcher ce problème est sous l'angle de la notion de projectibilité. Nous avons vu que les différentes options métaphysiques correspondaient à différentes façons de regrouper les modèles en classes de modèles partageant certaines caractéristiques (propriétés mesurées ou conditions initiales). De manière pragmatique, une bonne façon de savoir si un regroupement est arbitraire ou non est de savoir s'il est projectible : par exemple, regrouper les animaux par la couleur de leur pelage plutôt que par leur appartenance à une espèce s'avère en pratique peu utile pour prédire leur comportement. On ne peut employer le critère de projectibilité pour évaluer les différents modèles abstraits qu'on peut construire à partir d'une théorie, puisque si cette théorie est empiriquement adéquate, tous ces regroupements seront prédictifs. Cependant on pourrait invoquer un critère de méta-projectibilité. Il s'agirait de savoir si les regroupements opérés survivent aux changements théoriques. Or si la structure des espaces des phases varie d'une théorie à l'autre, les modèles abstraits que l'on construit en regroupant les modèles ayant les mêmes conditions initiales mais des propriétés mesurées variables ne sont pas méta-projectibles, puisque chaque modèle devra incorporer la structure des espaces de phase pour faire des prédictions quel que soit ce qui est mesuré, tandis que ceux qu'on construit en fixant les propriétés mesurées peuvent l'être, puisqu'ils ne contiennent pas la structure des espaces de phase, mais seulement des rapports contrefactuels entre événements de détection associés aux propriétés mesurées. Or nous avons vu que la façon dont les propriétés mesurables sur les systèmes sont liées aux pratiques expérimentales survit généralement aux changements théoriques (chapitre 8). Mais ce n'est pas forcément le cas de la structure des espaces de phase qui synthétise toutes les propriétés mesurables possibles.

Enfin les nouvelles prédictions qui supportent l'argument du miracle (le retour de la comète de Halley, le point blanc de Fresnel, la déviation de la lumière par les corps massifs) ne concernent généralement pas de nouvelles propriétés mesurables, mais plutôt de nouvelles configurations expérimentales qu'on pourrait caractériser en termes de conditions initiales particulières pour des types de systèmes connus, et donc, pouvoir induire sur les conditions initiales (ce qu'on ne fait pas suivant le second package) est plus utile pour répondre à l'argument du miracle que de pouvoir induire sur les propriétés mesurées. Nous avons vu également section 9.3.3 que se contenter d'établir l'adéquation empirique de notre théorie pour les propriétés mesurables réalisables dans notre univers uniquement, en les atteignant par voie de méréologie, ne pose pas forcément de problème.

Tout ceci joue en défaveur de la seconde et quatrième option, qui, toutes

deux, considèrent que les variations de propriétés mesurées sont a priori possibles.

Finalement, c'est sans doute le succès technique de la science qui est le plus impressionnant : sa capacité à nous faire interagir avec la réalité, y compris dans de nouvelles situations. C'est bien cette capacité qui est mise en avant avec l'argument du miracle. Ce succès technique survit aux changements théoriques : de vieilles théories, comme la mécanique de Newton, sont toujours efficaces. À y regarder de près, le succès technique des sciences est beaucoup plus probant que leur capacité à nous fournir une métaphysique réaliste clé en main.

Si l'on s'intéresse à la pratique scientifique, on verra que les modèles utilisés, comme celui de l'atome d'hydrogène, font généralement abstraction des conditions initiales des systèmes. Celles-ci sont importantes au moment des tests empiriques, mais finalement, les conditions initiales d'un système ont formellement le même statut que les prédictions : il s'agit simplement du résultat d'une première mesure qui ne se distingue pas des autres mesures. Comme les autres mesures, ces résultats sont imprévisibles. Les modèles du troisième package tirent parti de cette cohérence formelle en rejetant le résultat de cette première mesure hors de nos modèles. Ceux du second package ne le font pas, et il en résulte des difficultés, comme le problème de la mesure (sur lequel nous revenons plus bas). Spécifier l'état initial en fonction de cette première mesure ne nous permet pas de prédire avec certitude tous les résultats de mesures ultérieures, et on peut alors se demander pourquoi cette première mesure devrait être privilégiée dans nos modèles.

Si les conditions initiales d'un système particulier n'ont finalement que peu d'importance théorique, la façon dont on interagit avec un système, ce qu'on choisit de mesurer sur lui, n'est pas une question mineure, puisque ça concerne justement les différents types de propriétés physiques, les différentes expériences réalisables sur un type de système. Les différents niveaux d'énergie d'un électron dans un atome d'hydrogène sont importants, puisqu'ils nous permettent de connaître le profil spectral de l'hydrogène (et d'autres composés, desquelles on pourra par exemple déduire la couleur de nos objets), indépendamment de l'état de tel ou tel atome d'hydrogène. La position est une propriété importante dans certaines configurations : la position en tant que propriété, non la valeur précise que prend cette propriété dans telle ou telle circonstance, qui n'a de sens qu'en contexte, une fois le référentiel fixé. Quand on s'intéresse à un modèle théorique abstrait comme celui de l'atome d'hydrogène, on cherchera toujours à dériver des prédictions pour les propriétés qui nous intéressent (comme

les raies spectrales), pas pour toutes les propriétés qu'on pourrait définir mathématiquement (des observables quelconques). Toutes les propriétés ne se valent pas : un espace de Hilbert est une structure sans intérêt si l'on n'y ajoute pas une spécification des propriétés mesurables qu'il représente, c'est-à-dire une algèbre d'observables. Toutes ne sont pas reliées à nos capacités de mesurer les systèmes, et certaines n'ont aucun intérêt scientifique. Ceci devrait nous amener à faire des propriétés mesurées des caractéristiques identifiantes pour les situations plutôt que contingentes.

Enfin s'il existe un autre but de la science, souvent mis en avant dans les camps réalistes, c'est celui d'expliquer les phénomènes, en particulier en produisant des explications causales. On pourrait avoir l'impression qu'une description de ce qui existe dans le monde indépendamment de nous constitue toujours le meilleur type d'explication, mais à y regarder de plus près, c'est loin d'être évident. Si la plupart des explications sont causales, la manière dont un réaliste peut rendre compte de la causalité à partir d'un modèle descriptif comme une fonction d'onde est plutôt évasive. Il existe de nombreux débats sur le statut de la causalité en physique (Healey, 1997; Butterfield, 1992), certains auteurs avançant que la notion n'a pas sa place en physique (Norton, 2007; van Fraassen, 1982). Mais alors c'est l'unité des différentes disciplines scientifiques qui pose question : la causalité joue un rôle central dans toutes les sciences autres que la physique, et elle est partie intégrante de « l'image manifeste » du monde.

Ici, interpréter les modèles physiques en termes de dispositions offre un avantage certain, puisqu'alors la causalité est présente à la base, au sein même des modèles physiques, et son extension à des représentations de plus haut niveau ne posera pas de difficultés particulières, notamment si l'on tient compte du caractère holistique des propriétés mesurées (nous dirons quelques mots à ce sujet plus loin). Les problèmes de non-localité liés à la mécanique quantique ne se posent plus vraiment une fois fixées les propriétés mesurées sur un système (Griffiths, 2003, ch. 24). Nous pouvons ainsi facilement rendre compte du pouvoir explicatif des théories scientifiques, mieux qu'un réaliste ne pourrait le faire, puisque nous sommes capables de produire des explications causales aux phénomènes de la physique fondamentale³.

Enfin les explications nous demandent généralement de faire abstrac-

3. Ceci est paradoxal quand on sait à quel point la notion d'explication est mise en avant par les réalistes, mais selon nous, leur emphase sur la notion d'explication est mal placée. Ils conçoivent le réalisme comme étant lui-même une position explicative. Mais ce sont les modèles théoriques qui produisent des explications, non les positions philosophiques.

tion des conditions initiales : on explique l'origine d'un incendie par la présence d'une étincelle en envisageant une situation alternative au cours duquel il n'y aurait pas eu d'étincelle. L'explication nous demande donc de faire abstraction des conditions initiales des situations, mais pas des propriétés mesurées : c'est toujours le fait que la maison soit ou non brûlée, et non d'autres propriétés, qui est important pour expliquer un incendie. Il est notoire que la notion d'explication est contextuelle (voir la section 6.3.3). Ainsi l'explication scientifique suit exactement l'approche du troisième package : on fixera une certaine perspective, certaines propriétés d'intérêt, les propriétés mesurées sur le système, et on considérera des conditions initiales variables.

Ce sont là les principales raisons qui nous font penser que le troisième package, celui qui interprète les modèles théoriques en termes de dispositions et d'événements en faisant abstraction des conditions initiales, mais non des propriétés mesurées, est le bon : il correspond à ce que la science fait avec le plus de succès, développer des techniques et produire des explications aux phénomènes, et il correspond à la manière dont les modèles théoriques sont en pratique utilisés en science : on s'intéressera aux propriétés notables des systèmes physiques, et on considérera que les valeurs de ces propriétés sont des contingences. Mais il existe une autre raison d'adopter ce package plutôt que celui qui consiste à voir dans nos modèles une description de ce qui existe dans le monde indépendamment de nos mesure, qui est que cette dernière approche est semée d'embûches, en particulier dans le cas de la mécanique quantique. Nous nous tournons maintenant vers ces aspects.

10.2.3 L'interprétation de la mécanique quantique

Le problème crucial que rencontre notre second package métaphysique, celui qui fait abstraction des propriétés mesurées sur un système physique, est qu'il ne permet pas d'interpréter correctement la mécanique quantique. Ce type d'approche ne semble parvenir à la clarification conceptuelle qu'on pourrait attendre d'une interprétation métaphysique qu'au prix de nombreuses difficultés.

Une première difficulté est liée à la question de l'identité des particules. Si nous considérons que les modèles ont pour objet de décrire des objets autonomes, il serait naturel de penser que des modèles destinés à représenter une seule particule peuvent être simplement combinés quand il s'agit d'en représenter deux. Mais ce n'est pas le cas : il faut, pour représenter plusieurs particules, se doter d'un nouveau modèle qui en général, ne sera pas

réductible à la combinaison de sous-modèles à une seule particule. Si nous combinons deux situations par méréologie compositionnelle, les propriétés mesurées sur le système composite n'ont pas à être une combinaison des propriétés mesurées sur chaque sous-système, mais si c'est le cas, nous retrouverons les mêmes prédictions : ce seront les mêmes dispositions qui seront assignées à chaque sous-système. Cependant, les conditions initiales du système composite ne seront pas, en général, une simple combinaison des conditions initiales des sous-systèmes, notamment dans le cas de systèmes intriqués. Le modèle composite contiendra alors plus d'information que celles contenues dans les modèles de chaque sous-système considéré séparément.

Ceci invalide tout simplement l'idée de considérer qu'une situation représente un objet autonome du monde (nous avons vu dans le chapitre précédent que ce postulat d'objectualité pouvait être associé à des conditions de séparabilité compositionnelle dans nos théories) : les situations ne sont pas, en général, autonomes en ce sens, et toute représentation d'une situation particulière, conçue comme ne dépendant pas de la façon dont elle est mesurée, sera de ce fait incomplète pour peu que le système considéré ait des relations d'intrication avec d'autres systèmes. Au contraire, une situation identifiée par les propriétés qui y sont mesurées n'est pas par nature indépendante de son environnement, puisque c'est bien cet environnement qui permet de spécifier les propriétés mesurées : nous adoptons une conception relationnelle de l'identité pour les situations, plus adaptée au cas de la mécanique quantique.

La principale difficulté d'interprétation de la mécanique quantique est le problème de la mesure. L'état d'un système ne suffit pas, à lui seul, à déterminer des résultats de mesure. En pratique, il nous faut mettre à contribution une règle (la règle de Born) pour savoir quel résultat de mesure peut être obtenu à partir d'un état physique, mais le statut ontologique de cette règle n'est pas clair : masque-t-elle l'existence d'un processus dans la nature, qui demanderait d'invoquer une loi d'évolution supplémentaire ? Ou bien est-ce l'état physique qui est incomplet ? Ou encore, doit-on en faire un aspect subjectif dans le cadre d'une théorie de la décision ? La règle de Born fait intervenir les propriétés mesurées sur un système, et si l'on pense que celles-ci doivent être éliminées de notre représentation du monde, il nous faut les réduire à autre chose, mais alors, nous nous voyons obliger de compléter la théorie, et le choix entre les différentes solutions est sous-déterminé.

On peut penser que ce problème est simplement une conséquence du fait de penser qu'un modèle théorique devrait décrire ce qui existe dans la réalité

de manière autonome, plutôt qu'il ne devrait attribuer des dispositions à des configurations identifiées par ce qui y est mesuré. Prenons en effet la formulation du problème de la mesure proposée par Maudlin (1995) :

- une fonction d'onde décrit l'état complet d'un système
- elle suit une loi d'évolution linéaire
- un seul résultat est obtenu à l'issue d'une expérience.

Ces trois propositions sont incompatibles parce que la fonction d'onde ne prédit pas un résultat unique à l'issue d'une expérience, mais une superposition d'états. Si on modélise un système mesuré et l'appareil de mesure par une fonction d'onde, et qu'on applique une loi d'évolution linéaire à ce système composite, on obtient, au sein de notre modèle, une superposition d'état à l'issue de l'expérience : l'appareil de mesure n'indique pas un résultat déterminé.

La référence à la notion d'état physique est ici explicite. Ce que nous venons de décrire (le fait d'intégrer l'appareil de mesure dans le modèle) est une tentative de réduire les propriétés mesurées sur un système aux interactions qu'il entretient avec un autre système pour les rejeter hors du modèle théorique. C'est bien là la source du problème : si nous ne spécifions pas de propriétés mesurées sur le modèle composite obtenu, nous n'obtenons plus de prédictions bien définies.

Il existe différentes solutions au problème de la mesure, mais aucune n'est vraiment satisfaisante. Si ces trois propositions sont incompatibles, il nous faut donc rejeter l'une d'elle, ce qui nous amène soit à compléter la théorie de nouvelles structures (au niveau des états, comme dans la mécanique bohémienne, ou de la dynamique, comme dans les théories CSL et GRW), soit à considérer que l'idée qu'un seul résultat est obtenu à l'issue d'une expérience est une illusion indexicale, due à notre perspective épistémique (comme dans le cas des théories multi-monde, où chaque résultat possible est instancié dans une branche de l'univers). La première option souffre d'un problème de sous-détermination⁴ (sans compter les problèmes de compatibilité avec la théorie de la relativité) puisque ces nouvelles structures jouent un rôle explicatif plutôt que prédictif. La seconde option nous fait perdre le lien entre la théorie et sa base empirique. Il devient en effet difficile de rendre intelligible la notion de probabilité dans le cas où tous les résultats de mesure sont en fait actualisés, et les solutions proposées, notamment la théorie de Deutsch-Wallace (Wallace, 2007) qui s'appuie sur des probabilités subjectives et des principes de rationalité, sont parfaitement compatibles avec n'importe quels résultats de mesure passés (Dawid

4. Voir la note 2 du chapitre 2.

et Thébault, 2014), si bien qu'on peut se demander en quel sens ce type de théorie peut être confirmé ou infirmé par l'expérience.

Enfin une dernière difficulté pour l'approche réaliste est que même une fois le problème de la mesure résolu, par exemple par l'ajout de nouvelles structures à la théorie, il reste difficile de faire le lien entre la théorie et « l'image manifeste du monde ». Il semble y avoir un fossé explicatif entre les objets de la vie courante, et notre espace à trois dimensions, et les modèles de la théorie conçus comme descriptifs. Ce problème a motivé le programme des ontologies primitives (Allori et al., 2008; Belot, 2012; Ney et Albert, 2013; Egg et Esfeld, 2015) qui propose d'associer à toute théorie physique une distribution de matière dans l'espace temps, quitte à compléter de nouveau la structure de la théorie pour des besoins explicatifs. Outre qu'on peut simplement être suspicieux envers ce besoin d'explication sous forme de distribution locale de matière, et y voir une tentative de « domestiquer la science par la métaphysique » (Ladyman et Ross, 2007, ch. 1) et qu'un problème de sous-détermination s'ensuit, le statut ontologique de la fonction d'onde (ou du vecteur d'état) est loin d'être clarifié suivant ces approches. Cette structure reste nécessaire pour établir des prédictions, mais y voir une entité qui cohabiterait et interagirait avec l'ontologie primitive, tout en étant définie dans un espace différent, pose problème. Pour cette raison, ces auteurs proposent d'en faire une entité nomologique, par exemple dispositionnelle, ce qui nous rapprocherait peut-être de notre quatrième package métaphysique, mais se voient incapables d'attribuer ces dispositions à l'ontologie primitive (Egg et Esfeld, 2015).

Une autre approche consiste à affirmer que l'espace de configuration dans lequel la fonction d'onde est définie serait le véritable espace physique. Celui-ci aurait beaucoup plus de dimensions que notre espace-temps ordinaire ($3N$, ou N est le nombre de particules dans l'univers), et ce dernier serait émergent, ou se réduirait aux aspects dynamiques de la théorie. On peut s'étonner que des présupposés réalistes nous amènent à interpréter une structure qui se rapproche d'un espace des phases (c'est-à-dire d'un ensemble d'états possibles) comme un véritable espace physique. Mais même si l'on accepte ceci, l'association entre l'espace à grande dimension dans lequel la fonction d'onde est définie et notre espace ordinaire pose problème⁵. On se voit par ailleurs obligé d'adopter une association ad-hoc entre les dimensions de cet espace et celles de l'espace ordinaire (voir

5. En particulier, tous les changements de référentiel dans cet espace ne sont pas admissibles : seuls ceux qui correspondraient à des changements de référentiel dans l'espace ordinaire sont admissibles, ce qui est difficilement compréhensible si l'on pense qu'un choix de référentiel dans un espace physique est arbitraire (Ruyant, 2016c)

Monton (2002), Lewis (2004), Monton (2006), Ney et Albert (2013)).

De nouveau, on voit que le fait même de postuler que nos théories décrivent ce qui existe indépendamment de nos mesures mène à un problème de sous-détermination, et, de surcroît, aucune solution n'est vraiment satisfaisante. Peut-être ferait-on aussi bien d'abandonner ces présupposés.

10.2.4 *Une interprétation dispositionnelle de la mécanique quantique*

L'interprétation de la mécanique quantique pose donc des problèmes notoires liés à la notion de mesure, et au fait de rendre compte de l'image manifeste du monde une fois cette notion évacuée hors de nos modèles. Cependant, remarquons que le problème de la mesure, ainsi formulé, est entièrement subordonné à une interprétation réaliste en termes d'états physiques et de lois. Ceci apparaît clairement dans la formulation de Maudlin présentée plus haut : il y est question d'états physiques décrits par la fonction d'onde et de loi d'évolution. Autrement dit, partant de l'idée que les notions d'état et de loi que nous invoquons dans notre cadre partagent des affinités conceptuelles avec celles invoquées par ces auteurs, tout ceci part d'un présupposé : que l'on devrait commencer par une induction sur les propriétés mesurées pour déterminer ce qui existe dans le monde, indépendamment de ce qu'on en mesure. Mais rien ne nous oblige à prendre cette voie.

Est-ce à dire que le problème de la mesure ne se pose pas si l'on adopte une ontologie d'événements et de dispositions ? L'équivalent de la formulation de Maudlin serait la suivante :

- un modèle (une collection d'histoires consistantes) décrit de manière complète les dispositions d'une situation
- un seul résultat est obtenu à l'issue d'une expérience

Ici, il n'y a aucune contradiction flagrante. Le statut de la règle de Born est clair, puisqu'elle est intégrée dans la construction des modèles : elle permet de dériver les dispositions à partir de la théorie. Bien entendu, tout ceci ne va pas sans payer un prix. En l'occurrence, le prix à payer est l'abandon d'une certaine forme de réalisme.

En fait, toutes les difficultés de la mécanique quantique sont reléguées au fait que notre modèle dispositionnel est relatif à ce qui est mesuré sur le système. Cette contextualité n'est pas dénuée d'aspects contre-intuitifs que nous examinerons ensuite, comme le fait que les mesures sont postérieures dans le temps à l'état initial du système, si bien que les dispositions ne peuvent être attribuées à une configuration expérimentale que rétrospec-

tivement. L'aspect qui semble le plus opposé à une approche réaliste est que les propriétés mesurées (donc ici les situations) sont une affaire de perspective. Mais c'est en fait loin d'être une nouveauté : l'idée de faire des états décrits par la mécanique quantique des entités relatives a été employée de diverses façons pour résoudre les problèmes d'interprétation de cette physique (Rovelli, 1996; Bene et Dieks, 2002; Bitbol, 2010; Healey, 2012). En tout cas, nous ne rencontrons pas réellement de « problème de la mesure » tel qu'il est habituellement formulé suivant cette approche.

Quant au fait de rendre compte de l'image manifeste du monde et de la manière dont les expériences sont menées en laboratoire, ce n'est pas plus un problème, puisque les événements de détection correspondent directement à ce qui est observé en laboratoire. Certes, nos intuitions communes semblent nous indiquer qu'il existe des objets localisés et persistants dans l'espace-temps, et ce type d'intuition est certainement impliqué au moment de faire un test expérimental (nous identifions un appareil de mesure comme un objet). Cependant l'espace-temps intuitif de nos représentations n'est pas forcément l'espace géométrique utilisé par les physiciens. En outre, rien ne nous force à adopter une ontologie substantialiste, et puisque ce sont toujours des événements perceptifs qui nous font constater que ces objets localisés existent, rien n'interdit d'adopter une ontologie d'événements et de dispositions, et de penser la persistance des objets en termes dispositionnels.

En effet, on peut penser que notre façon commune de nous représenter des objets localisés dans un espace en trois dimensions peut s'exprimer en termes dispositionnels. Prenons, par exemple, la théorie des affordances en sciences cognitives (Gibson, 1986), qui assimile nos représentations des objets aux possibilités d'action sur ces objets (par exemple, on se représente une large surface plane et solide comme permettant de se déplacer dessus, et nous l'appelons alors « le sol », contrairement à une surface liquide). Selon cette théorie, les actions qu'il est possible de faire dans le monde ne sont pas inférées sur la base d'une représentation préalable en termes d'objets, mais nous nous représentons le monde directement en termes de possibilités d'actions. Remarquons à ce sujet que la plupart des objets de la vie courante sont identifiés fonctionnellement : le type d'un objet n'est jamais associé à une constitution physique précise (une porte peut être en bois ou en métal), mais à sa fonction (elle doit s'ouvrir), et nos représentations, loin de se ramener à de simples perceptions visuelles, incorporent des inférences sur le fait que cette fonction peut être réalisée (on s'attend à ce qu'une porte puisse s'ouvrir).

Notons également que les possibilités d'action qu'on attribue aux objets

pourront être contextuelles. Un même objet pourra avoir des affordances différentes suivant l'environnement dans lequel il se situe, ou suivant nos buts, ou notre perspective. Il faudrait comprendre la cognition non pas en termes de traitement computationnel de type entrée-sortie, mais en termes de compétition entre différentes affordances (Cisek, 1999), avec une rétroaction continue entre perception et actions motrices (ce qui est analogue à l'idée que les conditions d'application des modèles, donc les propriétés mesurées, soient une affaire d'intervention autant que d'observation). Enfin ces possibilités d'action dépendent évidemment de nos propres capacités motrices, de notre constitution, de notre propre situation par rapport à ces objets.

Si la correspondance entre l'image manifeste du monde et le monde peut se comprendre de cette manière (puisque après tout, il est légitime de penser que les sciences cognitives nous informent sur ces questions), alors une ontologie de dispositions et d'événements peut en rendre compte assez directement, et peut-être mieux qu'une ontologie d'objets localisés dans l'espace. La localisation des objets elle-même peut être réduite à des aspects dispositionnels (des capacités motrices). On peut associer le fait que, suivant ce package métaphysique, les propriétés mesurées soient tenues pour fixes dans l'identification des situations, au fait que les possibilités d'action qu'on peut envisager sont sélectionnées contextuellement en fonction de nos buts. Nos possibilités d'action, contextuelles, constituent un cadre interprétatif au même titre que les propriétés mesurées constituent un cadre pour identifier une situation et lui attribuer des dispositions, et nous obtenons une certaine uniformité entre l'image scientifique et l'image manifeste du monde, qu'on peut associer, généralement, à un pragmatisme.

Cependant rappelons que ce cadre interprétatif n'a pas à être subjectif, même s'il est conceptuellement dépendant de nous (voir la section 9.2.4). Étant donné nos capacités et nos buts, nos possibilités d'action peuvent être objectives, et selon la théorie des affordances, ces dernières ne sont pas situées dans le sujet, mais concernent les relations entre un sujet et un environnement : la théorie des affordances vise également à naturaliser la cognition. Enfin on peut envisager l'existence de buts partagés par différents agents, et comprendre ainsi la communication verbale (Clark et Schaefer, 1989), en conséquence de quoi ces « cadres interprétatifs » sont a minima intersubjectifs. Ce type de vue permet en outre d'établir un lien avec la pragmatique en philosophie du langage, et l'idée que des intentions et un contexte partagés entrent en compte dans l'interprétation du langage (donc selon nous de la manière dont on applique une théorie à l'expérience), en cohérence avec nos remarques du chapitre 8.

Si donc la mécanique quantique pose tant de problèmes d'interprétation, ce peut être simplement parce qu'on se fourvoie à penser que les théories scientifiques doivent nécessairement décrire des objets existant de manière autonome, et dotés de propriétés intrinsèques, plutôt que des configurations appréhendées depuis une perspective et dotées de certaines dispositions à produire des événements. Cette façon de voir est certainement moins réaliste, en ce qu'elle associe de manière assez étroite les modèles théoriques à la cognition. L'aspect qui tranche le plus avec un réalisme est la relativité au contexte qu'elle implique : les propriétés mesurées sur une situation, même si ce sont bien des caractéristiques objectives des situations, n'en sont pas des caractéristiques intrinsèques, mais ont plutôt à voir avec la façon dont une situation est reliée à son environnement. En outre, on pense généralement que plusieurs perspectives peuvent cohabiter sur un même objet, ce dont il nous faudra rendre compte. Nous allons développer ces aspects dans la section suivante.

10.3 Perspectives

Nous avons défendu dans la section précédente un certain package métaphysique, qui consiste à identifier les situations du monde par le type de système et les propriétés qui y sont mesurées, faisant abstraction des conditions initiales (conçues comme des contingences, au même titre que les résultats de mesure obtenus ensuite). Selon nous c'est l'option qui est la plus compatible avec l'esprit de l'empirisme modal : les autres options mènent à des problèmes de sous-détermination, et n'éclairent pas vraiment le contenu de la physique contemporaine et son rapport à l'image manifeste du monde, quand le fait de relativiser ce contenu cognitif à notre position épistémique (et donc de ramener nos représentations de situations particulières à certaines propriétés mesurées) permet de dissoudre ces difficultés.

Ce package nous amène à adopter une ontologie d'événements de mesure et de dispositions : les situations, ainsi identifiées comme perspectives, peuvent être décrites sous forme d'un ensemble de dispositions entre événements de mesure possibles, les événements étant les stimuli et manifestations de ces dispositions. Pour terminer ce chapitre, nous souhaitons en dire plus, à titre programmatique, sur l'image du monde qui se dégage de cette proposition, et sur la manière de résoudre certaines difficultés qu'elle peut poser.

10.3.1 *Les situations comme perspectives*

Une des principales difficultés de cette ontologie tient à ce que les situations du monde, ainsi identifiées, s'apparentent à des perspectives. Il en découle une composante qui peut paraître arbitraire.

Prenons un objet quelconque du monde : par exemple un arbre. Il m'est possible de mesurer cet arbre depuis une certaine perspective. Je peux par exemple placer un appareil photo à un endroit particulier. Mais il me serait possible de le placer à un autre endroit, et il est même possible qu'une autre personne le fasse ; dans ce cas, nous disposons de deux perspectives sur le même objet, qui sont chacune des images en deux dimensions : les photos obtenues. Dans le cadre de notre ontologie, il faudrait en conclure qu'il existe au moins deux situations qui cohabitent dans le monde. Intuitivement, on serait tenté d'affirmer que nous avons choisi de décrire notre arbre d'un point de vue, et que ce point de vue est arbitraire, ou que l'arbre pourrait en principe être décrit d'une manière indépendante de tout point de vue (par une représentation en trois dimensions), et que les perspectives sur cet arbre devraient être dérivées de cette description « absolue ». Mais ceci reviendrait à adopter le package métaphysique que nous avons rejeté dans la section précédente : faire abstraction des propriétés mesurées. Nous souhaitons affirmer que seuls ces différents points de vue existent. Cependant nous pourrions toujours vouloir rendre compte de ce type d'intuitions, qui sont efficaces dans notre vie commune. Mais alors une question se pose : qu'est-ce qui nous permet d'affirmer que ces différents points de vue portent sur le *même* objet si cet objet n'existe pas vraiment ?

Commençons par remarquer que ce qui soutient ces intuitions communes, c'est le fait qu'on considère généralement que les différentes mesures qu'on peut faire sur un objet pourraient en principe être menées de front. Nous pourrions en principe placer des appareils photo tout autour de l'arbre, donc synthétiser tous les points de vue possible sur cet arbre en une seule représentation. Mais ce type de considération échoue en mécanique quantique : on ne peut généralement mener de front toutes les mesures possibles sur un système microscopique. Certaines mesures sont incompatibles : elles ne sont pas pratiquement réalisables, et si l'on voulait les considérer simultanément comme « propriétés mesurées » pour construire un modèle dispositionnel comme proposé plus haut, nous obtiendrions des contradictions logiques : les dispositions ainsi obtenues ne respecteraient plus le calcul standard des probabilités (il faudrait passer à une logique quantique). Pour autant, ce type de considérations reste valide en approximation à propos des objets macroscopiques, car à notre échelle, un large

ensemble de mesures possibles sont toutes compatibles. C'est ce dont rend compte la théorie de la décohérence.

Cet aspect est analysé en détail par Griffiths (2003), dans le cadre de l'interprétation des histoires consistantes de la mécanique quantique : étant donné un système quantique, on peut définir une famille d'histoires consistantes, c'est-à-dire compatibles entre elles, ou encore un « framework », qui correspond à ce que nous appelons propriétés mesurées. Les frameworks possibles (les propriétés mesurables compatibles entre elles) dépendront de la dynamique du système. Or si l'on distingue un système et son environnement, on peut montrer, avec la théorie de la décohérence, que l'ensemble des mesures macroscopiques « classiques » qu'on peut réaliser sur un système, par exemple des mesures de position et de vitesse macroscopiques (ayant une précision limitée), constituent un framework : ces mesures « classiques » sont toutes compatibles entre elles (Schlosshauer, 2005). La décohérence permet de rendre compte de la manière dont des frameworks dits quasi-classiques émergent des interactions entre un système et son environnement. Elle est liée au fait qu'il existe des enregistrements stables de « l'état » d'un système dans son environnement (c'est-à-dire des corrélations persistantes entre le système et l'environnement), et elle est donc nécessairement impliquée quand on mène des expériences dont on veut pouvoir enregistrer les résultats.

On peut donc comprendre que nos intuitions communes, selon lesquelles toutes mesures pourraient en principe être menées de front, ne sont valables qu'en approximation, même si cette approximation est largement valide à notre échelle, à propos des objets de la vie courante et des mesures macroscopiques que nous effectuons sur eux. L'ontologie d'états physiques autonomes que nous avons rejeté sur la base de considérations physiques est parfaitement praticable au quotidien : on pourrait la concevoir comme une ontologie émergente.

Ceci nous amène à la question que nous nous sommes posée plus haut : qu'est-ce qui nous permet d'affirmer que plusieurs expériences portent sur le « même objet » ? Dispose-t-on, dans notre ontologie, des ressources suffisantes pour pouvoir relier entre eux ce qu'on concevrait par exemple comme des points de vue différents sur une même situation ? Si ce n'est pas le cas, c'est le lien entre notre ontologie et l'image manifeste du monde qui serait mise en péril.

Rappelons que selon nous, les modèles n'épuisent pas nécessairement ce qu'il y a à dire d'une situation (section 5.2.1), mais représentent seulement les caractéristiques objectivables accessibles depuis un point de vue sur elle. Si les situations sont elles-mêmes des entités perspectivales, et non

des objets, nous pourrions dire que ces points de vue représentés dans nos modèles sont en quelque sorte des perspectives partielles. On peut alors proposer une réponse à cette question, en remarquant que quand deux frameworks (deux ensembles de propriétés mesurées) sont compatibles, il est possible de définir un framework de grain plus fin qui combine les deux frameworks. Nous avons évoqué cet aspect dans le chapitre précédent, en prenant l'exemple d'un dé : si une situation correspond à la mesure de la parité du dé, et une autre à la mesure du fait que le résultat soit ou non inférieur à 4, il est possible de définir une situation à grain plus fin qui mesure ces deux propriétés simultanément, et dont les valeurs possibles seront : « pair et inférieur à 4 », « impair et inférieur à 4 », « pair et supérieur ou égal à 4 », « impair et supérieur ou égal à 4 ». C'est également le cas en mécanique quantique (nous renvoyons à l'ouvrage de Griffith pour les aspects techniques) : quand deux frameworks sont compatibles, il est toujours possible de définir un framework consistant qui combine les deux.

On pourrait donc dire que deux situations sont à propos du même objet, ou qu'il s'agit en fait de la même situation abordée de deux points de vue, s'il existe une situation de grain plus fin à partir de laquelle nous pouvons dériver les deux premières. Les descriptions plus grossières ne seraient alors que des descriptions approximatives et sélectives de cette situation plus fine, c'est-à-dire qu'elles incorporent une incertitude épistémique. De plus, il est possible de comprendre les relations entre ces situations, et l'introduction d'une incertitude épistémique, en termes méréologique : la situation de grain plus fin sera contenue dans des situations plus englobante. Si on mesure un objet de manière indirecte, depuis une situation englobante, on perd généralement en précision. La description d'une situation « à gros grain » peut alors être reconceptualisée comme partie propre d'une situation englobante dans laquelle on mesure un système avec une précision imparfaite. Le fait de mesurer cette partie propre de manière indirecte introduit une incertitude épistémique, qui fait que notre représentation est imparfaite : il pourrait, en principe, exister une description plus fine de cette même situation, mais elle ne nous est pas accessible.

On peut donc postuler qu'il existe dans le monde des situations correspondant aux mesures les plus fines effectuées sur un système par l'environnement complet de ce système. On peut attribuer à ces situations des dispositions, et elles instancient des événements. Cette situation existe objectivement si un agent épistémique compétent pourrait en principe savoir qu'une telle situation, mesurée ainsi par son environnement, existe. Cependant, ces situations idéales ne sont pas nécessairement accessibles en

pratique : nous accédons à des situations macroscopiques plus englobantes qui les contiennent, ce qui nous permet de nous les représenter de manière imparfaite (ce à quoi pourrait correspondre l'usage des matrices densités et des mesures faibles, généralement interprétés comme incorporant une incertitude épistémique). Enfin le découpage méréologique lui-même (ce qui distingue cette situation de son environnement) ne nous est pas nécessairement entièrement accessible, et peut n'être connu qu'approximativement.

Dans ce cadre, les perspectives sur une situation que l'on décrit ne sont pas arbitraires : elles correspondent précisément à certaines situations englobantes, qui existent objectivement. L'aspect apparemment arbitraire tient à ce que plusieurs situations englobantes distinctes peuvent contenir une même situation plus fine. Il s'agit de perspectives partielles en ce sens qu'elles correspondent non pas à la situation la plus fine elle-même, mais à cette situation « vue depuis » une situation plus englobante.

10.3.2 Le problème de la mesure, version dispositionnaliste

Évoquons une autre difficulté, plus sérieuse, qu'on peut rencontrer suivant cette approche, qui tient à ce que les dispositions attribuées à une situation dépendent de ce qui est mesuré sur cette situation. Le problème est le suivant : les mesures faites sur une situation sont contemporaines des résultats obtenus. Or le stimulus d'une disposition, qui sera par exemple l'événement de détection associé à une mesure préparatoire, précède dans le temps les mesures qui sont ensuite faites sur ce système, y compris le choix des propriétés mesurées, comme l'illustrent les expériences à choix retardé en mécanique quantique. Nous avons donc la situation suivante : les dispositions que possède une situation ne peuvent être attribuées que rétrospectivement, une fois la mesure effectuée, et donc une fois le résultat de la mesure obtenu, c'est-à-dire une fois que la disposition s'est manifestée.

C'est ici qu'on retrouve tous les problèmes liés à l'interprétation de la mécanique quantique. Pour autant, de manière pragmatique, la théorie quantique est bien prédictive : nous pouvons décider par avance de mesurer certaines propriétés sur un système, et alors nous pouvons lui attribuer par avance certaines dispositions. Le problème est que nous ne sommes jamais certains de pouvoir mener à bien notre projet, par exemple, de ne pas changer d'avis et finalement mesurer autre chose sur le système, ou qu'un coup de vent ou un tremblement de terre dérègle nos appareils de mesure. Ces perturbations ne font pas partie de la situation que nous nous représentons, et elles ne sont donc en aucun cas quantifiées dans nos modèles. En conséquence, nous ne pouvons disposer d'aucune certitude

par avance sur les dispositions que possède réellement une situation.

Du point de vue d'un agent épistémique qui déciderait volontairement de mesurer un système d'une certaine façon, le fait d'attribuer par avance certaines dispositions à une situation du monde s'apparente en quelque sorte à une prophétie auto-réalisatrice. Le fait que la situation possède en effet ces dispositions est tributaire du fait que nous allons la mesurer d'une certaine façon, et si nous le faisons, alors notre attribution sera confirmée, et ces dispositions se manifesteront. Mais, intuitivement, nous voudrions dire que nous *aurions pu* ne pas faire ces mesures, et alors la situation *n'aurait pas eu* les mêmes dispositions si bien que les dispositions ne peuvent être attribuées qu'a posteriori, une fois la situation terminée. Mais quel sens y a-t-il à attribuer des dispositions si tous les événements ont été instanciés ? Pourquoi ne pas se contenter d'assimiler une situation à une suite d'événements ?

Remarquons toutefois que, de manière implicite, nous identifions dans ce raisonnement une situation indépendamment de ce qu'on en mesure au moment d'affirmer que nous aurions pu faire d'autres mesures. Or c'est précisément ce que nous refusons de faire dans notre approche : si nous avons mesuré autre chose, ç'aurait été une situation différente. Si nous nous trompons quant à ce qui sera mesuré sur une situation (faute d'avoir prévu un coup de vent inopportun), ce n'est pas dans notre attribution de dispositions que nous nous trompons, mais dans notre identification de la situation : nous avons effectué nos prévisions sur une situation qui, en fait, n'a pas eu lieu.

Dans notre cadre, la bonne façon d'interpréter un énoncé du type « d'autres choses auraient pu être mesurées » est de considérer une situation englobante, incluant notre appareil de mesure (voire des perturbations externes), et qui pourrait évoluer de différentes façons. Mais alors le problème est dissout : au sein de cette situation englobante, nous pouvons attribuer des dispositions à notre système et à notre appareil de mesure sans violer le calcul des probabilités tout en envisageant qu'une perturbation puisse affecter notre appareil de mesure.

Mais un problème insidieux apparaît alors : en faisant référence à une situation plus englobante, nous ne faisons qu'entamer une régression à l'infini, puisque cette situation englobante elle-même ne pourra se voir attribuer des dispositions que si l'on sait ce qui y sera mesuré, et alors, le même problème se pose de nouveau : nous ne disposons d'aucune certitude sur ce qui y sera mesuré. En outre, s'il faut toujours faire référence à une situation englobante pour savoir ce qui est mesuré, aucune situation ne semble localement identifiable avant la fin de son déroulement, puisque son

identité dépend, en quelque sorte, des dispositions de son environnement.

Résoudre ces difficultés pourra être l'objet de futures recherches qui dépassent le cadre de cette étude. Nous nous en tiendrons à quelques perspectives. On pourrait envisager qu'en effet il existe toujours une incertitude radicale (non quantifiable) sur ce qui sera mesuré dans une situation, mais qu'il s'agit d'une incertitude épistémique, et qu'en pratique, nous vivons dans un environnement suffisamment stable pour permettre ce type de projection. La position spatiale pourrait jouer à ce titre le rôle de framework « privilégié », c'est-à-dire que ce sont les mesures de position qui jouissent de plus de stabilité. En pratique, mener à bien une expérience suppose d'isoler le système étudié de perturbations externes : on pourrait aussi mettre l'emphase sur la notion de contrôle. Enfin, on pourrait ramener cette idée de contrôle à l'idée suivant laquelle nous possédons une connaissance de première main sur « ce qui sera mesuré » dans les situations macroscopiques, mais locales, que nous rencontrons : il s'agit, en fait, de ce que nous *souhaitons* mesurer. Nous pourrions ainsi avoir un accès privilégié, dans notre expérience, aux propriétés mesurées sur certaines situations, même quand elles concernent le futur. Nous pourrions disposer d'une certitude à cet égard que ne possède pas un observateur extérieur, qui devrait se contenter de nous attribuer des dispositions à vouloir mesurer le système d'une façon ou d'une autre. Il s'agirait d'assimiler les propriétés mesurées à une nécessité non pas physique, mais normative, et en effet, on peut juger que la façon d'identifier les situations du monde possède une composante normative. Ce pourrait être un moyen d'intégrer des aspects intentionnels au cœur même de notre représentation du monde physique. Certes, nous semblons ici réintroduire une composante subjective dont nous avons insisté qu'elle ne devait pas être associée aux propriétés mesurées dans une situation, conçues comme objectives. Cependant, il nous est généralement possible, dans la vie courante, d'attribuer des intentions aux autres agents cognitifs, même si cette attribution est généralement faillible (mais peut se révéler rétrospectivement, une fois l'action achevée), et on pourrait en dire de même des propriétés mesurées à la lumière des observations que nous venons de faire. Ce type d'association entre intentions et propriétés mesurées ne revient évidemment pas à doter les objets inertes des capacités cognitives complexes qui caractérisent les êtres humains, plutôt à naturaliser l'intentionnalité de manière non réductive (dans une optique éventuellement proche des positions panpsychistes, ou du monisme neutre ⁶).

6. On trouve en effet, dans notre ontologie, des aspects intentionnels associés aux

Si tous ces aspects semblent bien métaphysiques, il s'agit toujours selon nous de ramener notre interprétation du contenu cognitif des théories à l'expérience. Or on peut juger que notre expérience revêt des aspects intentionnels, qui peuvent être intégrés dans notre interprétation.

10.3.3 *L'exclusion causale revisitée*

Pour terminer ce chapitre, nous souhaitons évoquer à titre programmatique la façon dont l'ontologie de dispositions et d'événements proposée pourrait dissoudre certains problèmes liés au réductionnisme et à l'émergence. En particulier, nous souhaitons analyser la manière dont le problème d'exclusion causale (Kim, 1999) pourrait être revisité à la lumière de cette ontologie. Notre ontologie possède une certaine forme de holisme (l'identification relationnelle des situations par ce qui est mesuré par leur environnement, le fait que les événements considérés peuvent correspondre à des valeurs de propriétés macroscopiques) qui peut être mise à profit. Nous souhaitons montrer ici que l'argument de Kim ne s'appliquerait pas à notre ontologie.

L'argument d'exclusion causale est fondé sur différentes prémisses, dont on retiendra les deux principes centraux suivant :

La survenance des entités de haut niveau sur les entités de niveau inférieur : une propriété de haut niveau ne pourrait être différente sans une différence dans les propriétés de bas niveau

La complétude causale du niveau inférieur : tout effet physique a une cause physique suffisante (auquel on peut ajouter l'absence de surdétermination systématique : cette cause est généralement unique).

Brièvement, l'argument de Kim (1999) peut s'exprimer ainsi. Posons b_1 et b_2 , des propriétés de haut niveau, qui surviennent sur a_1 et a_2 respectivement, et postulons que b_1 cause b_2 . Puisque b_2 ne pourrait être différent sans que a_2 soit différent, b_1 ne peut causer b_2 qu'en causant en même temps a_2 . Mais en vertu de la complétude causale, a_2 a une cause physique a_{*1} , qui, en l'absence de surdétermination, ne peut être qu'identique à a_1 . Toute la causalité se retrouve au niveau inférieur.

propriétés mesurées, des aspects causaux associés aux dispositions, voire des aspects qualitatifs associés aux événements : autant de possibilités pour rendre compte de l'articulation entre mental et physique. En outre, l'aspect holistique de cette ontologie, que nous abordons dans la sous-section suivante, pourrait être employé pour résoudre la principale difficulté du panpsychisme, à savoir le problème de combinaison.

Envisageons par exemple que notre haut niveau concerne une description de molécules bio-chimiques, identifiées non pas par leurs constitutions physiques, mais fonctionnellement : par exemple, la transcription de l'ARN en protéines par un ribosome. Ici, notre vocabulaire de haut niveau comprendra les différentes bases de l'ARN et les différents acides aminés qui constituent la protéine, et nous pouvons établir des liens causaux (telle séquence de base code pour tel acide aminé).

S'il est possible d'attribuer des liens causaux à cette situation, c'est que les propriétés mesurées sont correctement identifiées. En l'occurrence, nous nous intéressons à des propriétés bien particulières, comme le fait d'être un acide aminé ou une base d'ARN. Le fait que ce soient ces propriétés qui soient effectivement mesurées par l'environnement tient au fait que notre situation prend place dans un contexte cellulaire qui permet à ce type de processus d'avoir lieu : c'est bien le contexte qui fixe les propriétés mesurées, et hors d'un contexte cellulaire, la même molécule (avec la même constitution physique) ne serait pas réellement « mesurée » comment brin d'ARN puisqu'elle n'aurait pas pour fonction de coder pour une protéine. En effet, nous ne nous intéressons pas, en biologie, à des systèmes isolés, mais à des systèmes intégrés dans un environnement, et c'est cet environnement qui détermine leur fonction.⁷

Notre niveau inférieur sera le niveau physique : notre vocabulaire comprendra différents types d'atomes et d'électrons, et les propriétés mesurées seront par exemple la position et la vitesse de ces différentes particules. De nouveau nous pouvons décrire certains processus causaux : les atomes échangent des électrons, etc.

Nous avons donc deux descriptions de la même situation : une de bas niveau, qu'on supposera idéalement complète pour les besoins de l'argumentation, et une de haut niveau, qui est partielle. Ces deux descriptions diffèrent par les propriétés qui sont mesurées, et bien sûr par les conditions initiales associées. Pourtant elles sont à propos de la même situation. En l'occurrence, l'une est simplement une description à grain plus fin : la description physique est celle de la situation telle qu'elle est idéalement mesurée par l'ensemble de son environnement, quand la description micro-biologique la considère de manière partielle comme la partie d'une situation englobante incluant une partie seulement de cet environnement, en l'occurrence le milieu cellulaire.

Intéressons-nous maintenant aux principes à la base de l'argument d'ex-

7. Nous pourrions en principe élargir notre situation à la cellule dans son ensemble, mais nous courrions un risque de régression : le fait même d'être une cellule est relatif à un environnement plus large, a minima un milieu sans lequel la cellule ne pourrait survivre.

clusion causale. La survenance d'abord : est-ce qu'une molécule biologique donnée pourrait être autre chose que ce qu'elle est (avoir des propriétés mesurées différentes) sans que le niveau inférieur n'ait changé ? La réponse est oui. Il suffit que l'environnement cellulaire change pour qu'une molécule perde ses propriétés fonctionnelles. Rappelons que pour avoir une situation mesurée à grain moins fin, il faut concevoir une situation plus englobante au sein de laquelle elle est mesurée de manière imprécise. Mais on peut très bien envisager plusieurs situations englobantes incompatibles, et pourtant toutes deux compatibles avec la même situation de grain fin⁸. Si l'on place exactement la même constitution physique, mesurée de la même façon, dans un environnement autre qu'un environnement cellulaire, notre description micro-biologique n'est plus accessible, puisque nous ne mesurons plus des propriétés telles que « être un brin d'ARN ». Pourtant le système « physique » est bien le même : ce sont les mêmes molécules dotées des mêmes dispositions physiques qui sont présentes. Donc la survenance échoue, puisqu'elle est relative à l'environnement. Mais si l'on tient pour fixe l'environnement, c'est-à-dire qu'on considère notre situation biologique englobante, identifiée par ce qui y est mesuré (certaines fonctions biologiques), et pas une autre situation, alors on peut parler de survenance : au sein de cet environnement, une molécule donnée ne peut avoir une fonction différente sans que sa constitution physique (les conditions initiales de la description physique) soit modifiée. Autrement dit, nous avons bien une survenance des conditions initiales de la description de haut niveau sur celles de la description de bas niveau, pour toutes les conditions initiales possibles, mais cette survenance est relative à un environnement de haut niveau tenu pour fixe. La description de haut niveau, pour partielle qu'elle soit, est relative à un point de vue qui n'est pas spécifié par la description de bas niveau.

Venons-en maintenant à la complétude causale du niveau inférieur : est-ce qu'un effet physique a une unique cause physique suffisante ? Oui, mais encore une fois, ceci dépend des propriétés mesurées sur le système, cette fois au niveau inférieur. Des dispositions physiques ne peuvent être attribuées qu'à une situation dont les propriétés mesurées sont spécifiées, et donc, il n'y a de sens à parler de complétude causale que si ces propriétés mesurées sont tenues pour fixes. Si l'on ne fixe pas les propriétés mesurées sur un système, la notion même de causalité physique devient problématique. Selon notre interprétation, les dispositions et rapports causaux

8. dans l'approche des histoires consistantes, on peut envisager plusieurs grossissements incompatibles d'un même framework.

d'un système physique sont relatives à l'environnement de bas niveau qui mesure ce système. Nous avons donc bien complétude causale du niveau physique, mais cette complétude est relative à un environnement de bas niveau tenu pour fixe.

Nous avons donc la situation suivante : l'argument d'exclusion causale peut fonctionner uniquement si l'on tient pour fixe les propriétés mesurées à la fois pour la description de haut niveau et celle de bas niveau. Le problème est qu'une contrainte supplémentaire vient s'ajouter pour que l'argument fonctionne : il faut que ces deux environnements, ces deux ensembles de propriétés mesurées à des niveaux de grain différents, soient compatibles entre eux, puisqu'ils sont à propos de la même situation. Or il n'y a aucune garantie générale à cela si l'on choisit arbitrairement les propriétés physiques et biologiques. Il se peut que, par exemple, fixer les positions exactes des atomes et électrons de notre situation avec une certaine précision soit incompatible avec le fait que la transcription de notre ARN en protéine se déroule correctement : en particulier si, comme le montrent certaines recherches, les processus biologiques tirent profit de phénomènes d'intrication quantique, certaines particules peuvent ne pas avoir de position bien définies. Mais alors, si toutes les propriétés physiques mesurées ne sont pas compatibles avec les propriétés biologiques mesurées, l'histoire causale du niveau inférieur dépend fortement de l'environnement du niveau supérieur, qui vient contraindre les propriétés mesurées, donc les dispositions de la situation de grain plus fin.

En effet, si nous avons une survenance des conditions initiales de haut niveau sur celles de bas niveau quand l'environnement est fixé, la survenance des propriétés mesurées a lieu dans l'autre sens : du haut niveau vers le bas niveau. L'environnement qui mesure les propriétés biologiques est une partie de l'environnement qui mesure les propriétés physiques, et on ne peut concevoir de variation dans ce qui est mesuré au niveau physique sans variation dans ce qui est mesuré à des niveaux supérieurs (par exemple biologique), alors qu'on peut très bien concevoir une variation des propriétés mesurées aux niveaux supérieurs sans variation des propriétés physiques mesurées.

Nous pouvons concevoir une situation de haut niveau qui est contrôlée (soit par un agent épistémique, soit par des processus biologiques), c'est-à-dire dont les propriétés mesurées sont fixes et prévisibles. Cette situation possède des dispositions. Dans ce cadre, ce qui est mesuré dans la situation de grain fin dépendra de la manière dont ces dispositions vont se manifester, et les processus causaux physiques qui auront cours dans un environnement cellulaire pourront être pratiquement imprévisibles, si ce

n'est rétrospectivement, une fois que la situation aura fini de se dérouler, quand bien même les dispositions biologiques sont parfaitement connais-sables. C'est une manière de penser la causalité descendante qui échappe à l'argument de Kim.

On voit ainsi comment rendre compte de l'articulation de différents niveaux, en comprenant qu'il existe une dépendance entre les niveaux, mais celle-ci agit dans les deux sens : la manifestation des dispositions de bas niveau détermine l'évolution du niveau supérieur, mais ces dispositions elles-mêmes, étant relatives à ce qui est mesuré, sont contraintes par l'environnement de niveau supérieur. Ou encore, les conditions initiales décrites à un niveau inférieur déterminent celles décrites à un niveau supérieur, mais ce sont les propriétés mesurées décrites au niveau supérieur qui contraignent les propriétés mesurées décrites au niveau inférieur.

Il s'agit d'une esquisse, et l'argument devrait être approfondi, mais on voit que l'ontologie proposée dans ce chapitre peut s'avérer fructueuse à certains égards, notamment en permettant d'éviter les arguments d'exclusion causale.

Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons analysé les différents « packages métaphysiques » qu'il est possible de dériver si l'on choisit d'attribuer des propriétés modales aux situations du monde sur la base de l'adéquation empirique des modèles qui les décrivent. Ces packages dépendent de la façon dont on identifie une situation, ce qui peut se concevoir sous un angle pragmatique : si l'on pense que le but de la science est de décrire ce qui existe indépendamment de nous, les propriétés mesurées en situation ne constitueront pas des critères d'identification pertinents, mais si l'on pense que son but est de permettre le développement de techniques, ce sont les conditions initiales qui en seront exclues. Dans un cas, nous obtenons une ontologie d'états physiques et de lois d'évolution, dans l'autre une ontologie d'événements et de dispositions.

Nous avons défendu le second choix : une ontologie d'événements et de dispositions semble plus appropriée, d'une part parce qu'elle rend mieux compte de la pratique scientifique, de ses succès techniques, de son pouvoir explicatif, et d'autre part parce qu'une ontologie d'états physiques rencontre de nombreuses difficultés dans le cadre de la mécanique quantique. L'ontologie que nous proposons ne résout pas d'emblée tous les problèmes d'interprétation de la mécanique quantique, notamment parce que les dis-

positions qu'on peut attribuer à une situation dépendent de caractéristiques qui ne sont fixées qu'une fois le déroulement de la situation terminé. Cependant, nous avons proposé, à titre programmatique, plusieurs pistes pour résoudre cette difficulté. Enfin, nous avons évoqué la possibilité que cette ontologie puisse permettre de revisiter le problème de l'exclusion causale et les problématiques de réduction et d'émergence.

Dans ce chapitre, nous avons proposé et défendu une voie possible, et même si nous pensons que c'est celle qui s'accorde mieux avec l'empirisme modal (et qui permet le mieux de soutenir les arguments épistémologiques que nous avons développé dans la partie II de cette étude), ces arguments ne sont pas requis pour adopter l'empirisme modal. Finalement, on voit que la force de l'empirisme modal tient surtout à sa capacité à ouvrir le champ des possibilités interprétatives : loin d'être incompatible avec la métaphysique, il nous permet d'envisager plusieurs métaphysiques, réalistes ou non réalistes (au sens où l'on postule ou non l'existence d'aspects des situations subsistant indépendamment de leur environnement), là où une position d'emblée réaliste rejetant la notion de mesure, ou un empirisme traditionnel rejetant les modalités, limiteraient nos perspectives. Il s'agit selon nous du meilleur compromis : accepter le pouvoir expressif des modalités, mais sans limiter nos options à une métaphysique qui se voudrait la description d'une réalité transcendante – bien au contraire, en ancrant la métaphysique dans l'expérience.

Conclusion de la partie III

L'empirisme entretient traditionnellement une défiance envers la métaphysique, et cette dernière est souvent conçue comme une entreprise requérant une adhésion préalable au réalisme. Nous avons essayé de montrer, dans cette partie, qu'il était possible d'aborder la métaphysique dans un esprit pragmatiste et empiriste.

En effet, l'empirisme modal a tout d'un réalisme si l'on adopte une certaine conception de la signification des termes théoriques, en restreignant celle-ci, de manière pragmatiste, au rôle inférentiel qu'ils jouent dans la confrontation à l'expérience. Alors on peut voir en quoi l'intension des termes théoriques se construit en miroir des rapports de nécessité physique dans le monde, nos termes théoriques venant se fixer sur les prédicats projectibles, c'est-à-dire ceux qui regroupent des caractéristiques objectives des situations auxquelles il est possible d'attribuer, de manière pragmatique, des rapports de nécessité physique justifiés par induction. Pour autant, tout ceci ne revient aucunement à ériger les propriétés physiques ainsi délimitées en classes naturelles. Il n'est pas besoin de croire en une correspondance entre nos représentations et une réalité indépendante de notre situation épistémique, en une hypothétique « vue de nulle-part », pour considérer que nos théories sont pragmatiquement vraies.

C'est sans aucune doute la richesse conceptuelle qu'apportent les modalités qui nous permet de suggérer ce type de position, quand un empirisme traditionnel serait plus austère. Mais ces modalités, justement, demandent à être interprétées, et nous avons vu que plusieurs options s'offrent à nous en la matière. Nous avons opté pour un actualisme, qui considère que les situations actuelles possèdent des propriétés modales, qu'on peut représenter par des situations possibles conçues comme alternatives de ces situations actuelles. L'actualisme est en phase avec la sémantique des situations possibles (par opposition aux mondes possibles). En outre, il ouvre la voie à une véritable interprétation, en termes ontologiques, des modèles abstraits de nos théories : on peut considérer que ces modèles attribuent des propriétés

modales aux situations qu'ils représentent. Mais alors un deuxième choix se présente, qui concerne cette fois la façon de regrouper ces situations possibles au sein de modèles.

Ce regroupement s'effectue naturellement en fonction de caractéristiques objectives des situations qui entrent en compte dans les conditions d'application des modèles, et en particulier, les propriétés mesurées sur les systèmes physiques et leurs conditions initiales, dont nous avons proposé une analyse formelle à partir de la notion d'espace des phases. Selon nous, le fait de concevoir certaines de ces caractéristiques comme possédées nécessairement par les situations et d'autres comme contingentes amène à attribuer différents types de propriétés modales : des propriétés nomologiques quand on considère des variations de conditions initiales, et des propriétés intrinsèques pour les variations de propriétés mesurées. Envisager de manière a priori que ces variations sont physiquement possibles s'accompagne de présupposés métaphysiques (l'objectualité, l'indéterminisme) et de certaines conceptions de ce que sont les situations qu'on peut ou non accepter. Tout ceci nous a permis de proposer une taxinomie des propriétés modales, en distinguant quatre catégories : états, événements de mesure, lois et dispositions, retrouvant ainsi, grâce aux modalités, la richesse de la métaphysique traditionnelle, tout en ancrant celle-ci dans l'expérience.

Enfin, dans le dernier chapitre, nous avons défendu, dans une optique pragmatiste, une ontologie d'événements et de dispositions, associée à une interprétation fonctionnelle des modèles scientifiques, plutôt qu'une ontologie d'états et de lois qui correspondrait à une interprétation descriptive. Selon nous, elle correspond mieux au fonctionnement de la science, dont le succès technique est plus probant que sa capacité à nous fournir une métaphysique univoque. Elle est plus en phase avec la capacité des théories à produire des explications causales, et est en lien assez direct avec l'image manifeste du monde, notamment si on l'envisage en termes d'affordances. Enfin elle pourrait permettre d'éviter les difficultés notoires rencontrées par l'interprétation de la mécanique quantique, et de s'attaquer efficacement aux problématiques de réduction et d'émergence.

Par ces développements, nous souhaitons avant tout montrer par l'exemple que l'empirisme modal offre une certaine ouverture vers la métaphysique, et vers une métaphysique potentiellement plus ouverte que celle traditionnellement conçue, puisqu'elle n'est pas subordonnée au réalisme. Il s'agit surtout, dans un esprit pragmatiste, d'ancrer l'entreprise métaphysique dans l'expérience en replaçant la fonction pratique des sciences au cœur des questions d'interprétation.

Conclusion

Que nous apprennent les théories scientifiques sur la réalité ? C'est par cette question que nous avons entamée cette étude. Notre objectif était de proposer un cadre pour interpréter les théories scientifiques qui évite deux écueils : l'austérité d'un instrumentalisme strict qui se refuserait à tirer de quelconques enseignements des sciences, en dépit de leur impressionnant succès empirique, et l'extravagance d'une métaphysique spéculative déconnectée de l'expérience. L'approche que nous avons souhaité suivre pour atteindre cet objectif était, dans un esprit pragmatiste, de replacer l'expérience et la confrontation empirique des théories au cœur des questions d'interprétation.

Nous avons vu, dans la partie I de cette étude, consacrée aux débats sur le réalisme scientifique, que la question du statut de la représentation scientifique revêt de multiples facettes. On y trouve les questions sémantiques, relatives aux conceptions de la signification et de la vérité, et les questions épistémiques, qui concernent nos capacités à savoir si nos théories sont vraies. Ces questions se déclinent ensuite en plusieurs aspects quand elles s'appliquent à différentes composantes du contenu des théories : le vocabulaire théorique, et sa prétention, pour les réalistes, à faire référence à des entités autonomes de la réalité, à de véritables propriétés physiques dans le monde, et la structure nomologique portée par les équations des théories. Une synthèse de ces débats a permis de montrer les limites d'un instrumentalisme ou d'un empirisme fondationnaliste, confronté à des arguments comme l'indispensabilité des termes théoriques, le holisme de la confirmation et la charge théorique de l'observation, mais aussi celles d'un réalisme, qui fait face aux problèmes de la sous-détermination par l'expérience et du changement théorique. Enfin cette synthèse a montré les difficultés qu'il peut y avoir à formuler une position de compromis à même de répondre à ces différents arguments sans les ramener à l'une ou l'autre de ces positions.

C'est pourtant une telle position de compromis que nous avons proposé dans ce travail avec l'empirisme modal. Cette position consiste à assumer l'empirisme, refusant d'adhérer à l'idée d'une mystérieuse relation de correspondance entre nos représentations et la réalité, qui introduirait un fossé infranchissable entre le contenu de nos représentations et nos capacités à le savoir vrai. Elle suggère, au contraire, d'associer étroitement les questions sémantiques et épistémiques, en faisant de l'expérience notre seul guide pour l'interprétation. Mais elle consiste également, pour dépasser les apories du fondationnalisme, à adopter un cadre suffisamment riche pour penser l'expérience, à même de rendre justice à la pratique scientifique et d'ouvrir la voie à une interprétation qui ne soit pas réductrice : à

une véritable métaphysique empiriste. Ce qui lui offre cette richesse interprétative, et la distingue des versions traditionnelles d'empirisme, est un engagement assumé envers les modalités naturelles, ou l'idée qu'il existe du possible dans la nature, et des contraintes sur ce qui est possible. Comme tout empirisme, l'empirisme modal affirme seulement que nos théories sont empiriquement adéquates, mais cette adéquation empirique ne concerne pas uniquement notre expérience effective, passée, présente ou future, mais toutes les expériences possibles.

L'intégration des modalités naturelles au sein d'une position empiriste, qui peut sembler à première vue contradictoire, demande bien sûr à être défendue. Notre défense de l'empirisme modal s'est déployée en deux volets : un volet épistémique, consistant à démontrer la capacité de cette position à répondre aux différents arguments des deux camps dans le débat sur le réalisme scientifique, à rendre compte de la pratique scientifique comme d'une activité rationnelle, mais aussi à démontrer la compatibilité d'une adhésion aux modalités naturelles avec un empirisme, et un volet sémantique et métaphysique, consistant à montrer, par l'exemple, sa fructuosité quand il s'agit d'interpréter les théories scientifiques.

Sur le plan épistémique, auquel la partie II de cette étude était consacrée, notre approche pragmatiste nous a amené à examiner en premier lieu, de manière détaillée, le contenu des théories scientifiques et la manière dont elles sont confrontées à l'expérience. C'est bien ces aspects qui doivent constituer le cœur de notre position. Nous avons mis en avant à cette occasion deux idées principales :

- la confrontation empirique est située : elle est mieux comprise en termes d'application de modèles à des situations concrètes, auxquelles nous accédons depuis notre position épistémique, plutôt qu'en termes d'hypothétiques modèles de l'univers ou d'une « vue de nulle-part » ;
- l'expérience n'est pas passive, mais relève autant de l'intervention que de l'observation : appliquer une théorie demande d'ajuster par l'intervention modèles et situations concrètes, et en particulier de faire correspondre les types de systèmes, conditions initiales et propriétés mesurées spécifiées par nos modèles aux caractéristiques objectivables des situations que nous rencontrons.

À la lumière de ces aspects, une théorie est mieux conçue comme un système conceptuel abstrait, confronté à l'expérience par l'intermédiaire de modèles, que comme une description du monde dans son ensemble. Nous inspirant de la pragmatique en philosophie du langage, et en particulier de la sémantique des situations et de la notion d'indexicalité, nous nous

sommes appuyés sur ces idées pour formuler une conception de l'adéquation empirique d'une théorie en termes de succès prédictif des modèles lors de leur application à des situations concrètes. L'avantage de cette conception de l'adéquation empirique, outre le fait de coller au plus près à la pratique effective des scientifiques, est de permettre d'envisager différentes versions d'empirisme, et en particulier, de formuler un empirisme modal : la position suivant laquelle nos théories sont empiriquement adéquates pour toutes les situations possibles.

Penser l'adéquation empirique en termes de succès prédictif des modèles d'une théorie permet de répondre aux arguments du débat épistémique sur le réalisme scientifique. L'induction sur les modèles, particulièrement impliquée dans la justification de l'empirisme modal, peut rendre compte de la capacité des sciences à unifier des phénomènes divers, sans pour autant faire appel au raisonnement abductif comme justification, et donc sans croire que nos théories correspondent à la réalité : les nouvelles prédictions couronnées de succès ne sont que la première étape d'une induction sur les configurations possibles du monde, et ce type d'induction nous permet d'affirmer que nos théories sont empiriquement adéquates pour toutes les configurations possibles auxquelles une théorie pourrait être appliquée. L'induction sur les modèles fonctionne comme une inférence vers la nécessité : poussée à son terme, elle nous amène à croire que nos théories sont modalement adéquates. Et puisque nos anciennes théories sont toujours adéquates en ce sens, au moins dans un domaine d'expérience restreint, ce type de vue n'est pas menacé par la méta-induction pessimiste et le changement théorique.

Nous avons ensuite répondu au scepticisme envers les modalités qui caractérise traditionnellement l'empirisme, en faisant valoir que s'il y a du possible dans le monde, et si les relations de nécessité sont connues à l'issue d'un processus inductif sur les possibles plutôt qu'elles ne sont postulées comme explication aux régularités observables, le contenu modal des théories n'est pas plus sous-déterminé par l'expérience que ne peuvent l'être les généralisations universelles. Les situations dont nous faisons l'expérience sont bien un échantillon des situations possibles et peuvent servir de base d'induction. L'intervention permet de départager les théories concurrentes qui diffèrent modalement. Les relations de nécessité n'ont pas pour but d'expliquer le succès empirique des théories : il s'agit seulement d'étendre l'adéquation empirique aux possibles, et l'empirisme modal est bien un empirisme. Enfin, nous avons fait valoir que cette épistémologie inductive, et le fait de s'engager envers les modalités naturelles, permet mieux que les autres formes d'empirisme de donner sens à la pratique scientifique.

Elle rend compte de la manière dont les scientifiques contrôlent et font varier les paramètres d'une expérience pour mettre au jour des rapports causaux, et de la manière dont ils implémentent par intervention active des configurations d'intérêt pour confronter des hypothèses concurrentes. Elle permet également de rendre compte du discours causal et explicatif en science.

Nous avons ainsi proposé un cadre qui permet d'associer le contenu cognitif des théories scientifiques à l'expérience uniquement, évitant les difficultés du réalisme, tout en rendant justice à la pratique scientifique et au succès empirique des sciences, répondant ainsi à l'objectif que nous nous étions fixé.

La partie III de cette étude ne visait plus à justifier l'empirisme modal comme position épistémologique, mais à l'associer à une théorie sémantique et à en démontrer la fructuosité quand il s'agit d'interpréter le contenu des théories scientifiques. Il s'agissait en particulier de montrer que le recours aux modalités ouvre la voie à une métaphysique empiriste.

Nous nous sommes d'abord intéressé à l'interprétation du vocabulaire théorique, en défendant l'idée qu'une sémantique pragmatiste, associant la signification des termes à leur rôle quand il s'agit de fixer le domaine d'application des modèles théoriques, est appropriée pour l'empirisme modal. Le recours aux modalités évite d'assimiler, de manière trop étroite, la signification à l'extension des termes, évitant ainsi certains des problèmes rencontrés par les sémantiques réductionnistes telles que celle proposée par l'empirisme logique. On peut montrer en effet que l'interprétation des théories, comprise en termes d'intension, est testable empiriquement si elle fait une différence *possible*. On peut envisager alors que la signification des termes théoriques vient se fixer sur les prédicats projectibles : ceux qui permettent de regrouper les caractéristiques objectives des situations de manière à leur attribuer des rapports de nécessité. La signification peut être ajustée face à l'expérience, notamment lors des changements théoriques. En d'autres termes, la nécessité analytique associée à la structure de notre langage se construit en miroir de la nécessité physique. Dans ce cadre, l'empiriste modal peut employer le langage des sciences exactement comme le ferait un réaliste, mais il ne lui est pas nécessaire de postuler que nos termes font référence à de véritables propriétés dans le monde : ils restent relatifs à notre position épistémique. Suivant cette théorie sémantique, l'empirisme modal peut être pensé comme un réalisme interne, qui adhère à une conception pragmatiste de la vérité, et affirmer que nos théories sont modalement adéquates, c'est simplement affirmer qu'elles sont vraies.

Nous nous sommes ensuite attaqué à l'interprétation des modalités

en tant que telles. Que veut dire un empiriste quand il parle de possible dans le monde ? Nous avons proposé de répondre à cette question dans un cadre actualiste : seul le monde actuel existe, et les situations possibles doivent être pensées à partir des situations actuelles que nous rencontrons, comme alternatives de ces situations. Nous avons défendu que l'actualisme était plus en phase avec le langage des situations possibles. Dans ce cadre, la structure des modèles théoriques abstraits nous permet d'attribuer des propriétés modales aux situations actuelles du monde, dans la mesure où ces modèles synthétisent ces alternatives possibles. L'interprétation des modalités peut alors se comprendre sur la base de variations des caractéristiques objectives des situations qui entrent en compte dans l'application des modèles. En particulier, une variation des conditions initiales de ces situations permettrait d'attribuer des propriétés nomologiques au monde, en établissant ce qui est commun dans la dynamique de différents déroulements possibles, et une variation des propriétés mesurées permettrait de lui attribuer des propriétés intrinsèques, en révélant ce qui est commun à différentes perspectives et façons de mesurer le monde.

Envisager a priori que ces variations sont physiquement possibles s'accompagne cependant d'un engagement métaphysique et présuppose certaines conceptions de ce qu'est une situation, au-delà de la caractérisation minimale qu'on peut en faire : penser qu'une situation aurait pu être mesurée différemment suppose de la concevoir comme un objet plutôt qu'une perspective, et penser qu'elle aurait pu avoir des conditions initiales suppose de la concevoir comme une configuration, identifiée relationnellement, plutôt que comme un état de fait, assumant une forme d'indéterminisme métaphysique. Nous avons envisagé, par un recours à la méréologie des situations, d'amoindrir la charge métaphysique de ces présupposés pour en faire une question empirique, sans forcément amoindrir la force de l'adéquation modale des théories : les variations de propriétés mesurées ou de conditions initiales peuvent être obtenues en considérant des situations englobantes. Les propriétés modales ne sont plus alors attribuées aux situations elles-mêmes, mais concernent des régularités parmi les situations possibles incluses dans ces situations englobantes. Il en découle, suivant qu'on choisisse ou non d'employer cette stratégie, quatre catégories ontologiques qu'on peut attribuer au monde, que nous avons proposé de rapprocher de catégories traditionnelles de la métaphysique, ici interprétées pragmatiquement : lois et dispositions pour les variations de conditions initiales, événements de mesure et états physiques pour celles qui concernent les propriétés mesurées.

Cette approche actualiste pour interpréter les modalités nous permet

donc de retrouver dans un cadre empiriste certaines catégories de la métaphysique traditionnelle, qui sont ici réinterprétées de manière pragmatiste, en rapport à l'expérience, démontrant ainsi la richesse de l'empirisme modal pour interpréter les théories. Le problème est que nous retrouvons une caractéristique moins désirable de la métaphysique traditionnelle : la sous-détermination. En effet, le choix des catégories à attribuer dépend de conventions dans la manière dont on regroupe les situations possibles au sein des modèles qui les synthétisent, ce qui dépend de la façon dont conceptualise les situations.

Pour résoudre cette difficulté, nous avons proposé de nous en remettre de nouveau à une attitude pragmatiste : la bonne ontologie est celle qui permet le mieux de rendre compte du but de la science, et de ce qu'elle réalise avec succès. Or, le succès technique des sciences est bien plus probant que sa capacité à nous fournir une description univoque de ce qui existe indépendamment de nos mesures. Ce succès n'est pas remis en cause par les changements théoriques, et les approches, plus proche du réalisme, qui voient dans nos théories une description d'états physiques autonomes rencontrent de nombreuses difficultés pour interpréter la mécanique quantique. Pour cette raison, la bonne façon d'identifier les situations d'un possible à l'autre est, selon nous, de les penser comme des configurations, identifiées par la façon dont elles sont mesurées par leur l'environnement, plutôt que comme des états autonomes identifiés par des conditions initiales particulières. Le développement technologique nous demande en effet de penser les conditions initiales des situations du monde comme variables, de manière à faire face à toutes les contingences, mais les propriétés mesurées comme fixes, de manière à les associer aux buts qui motivent la technologie. C'est également ainsi qu'on peut rendre compte du discours causal et explicatif, qui se concentre sur des propriétés d'intérêt et pense les conditions initiales comme variables. Enfin c'est l'option qui, selon nous, s'accorde le mieux avec l'esprit de l'empirisme modal, et l'idée qu'il faudrait relativiser la représentation scientifique à notre position épistémique.

L'ontologie associée est une ontologie de dispositions et d'événements qui intègre une notion de perspective : une situation du monde se caractérise par ce qu'on en mesure, et les dispositions à produire des résultats pour ces mesures qu'on peut lui attribuer sont relatives à cette perspective. Cette façon de voir permet d'éviter les difficultés interprétatives de la physique moderne, en particulier la mécanique quantique, tributaires de l'escamotage de la notion de mesure opéré par les approches qui conçoivent nos théories comme des descriptions de la nature. Elle est en phase avec l'image manifeste du monde, en particulier si l'on analyse celle-ci en relation à la

théorie des affordances en sciences cognitives. Enfin elle pourrait renouveler les questions relatives à la réduction et à l'émergence, de par l'aspect holistique de la notion de perspective qu'elle emploie, et la contextualité des rapports causaux qu'elle introduit.

Nous voyons donc qu'une métaphysique empiriste, qui tire parti de son adhésion envers les modalités naturelles pour enrichir nos représentations, mais sans partir de présupposés réalistes sur le but de la science, et qui maintient systématiquement son rapport à l'expérience, nous offre une ouverture dont peut bénéficier la métaphysique des sciences pour s'attaquer à différentes questions. Elle s'accompagne d'une méthode pragmatiste qui peut être mise à profit pour régler les différents. L'empirisme modal n'est pas seulement une position vertueuse dans le débat épistémologique, il est aussi une position fructueuse pour la métaphysique.

Pour conclure, nous pouvons répondre à notre question de départ. Que nous apprennent les théories scientifiques sur le monde? Les théories nous dotent de concepts efficaces pour interagir avec la réalité. Elles nous fournissent des cadres conceptuels pour appréhender le réel. Les entités que postulent nos théories existent-elles?

En un sens, oui, tout comme les objets de la vie courante : ils existent, sinon comme entités véritablement autonomes indépendantes de nos concepts, au moins comme instanciant des potentialités objectives d'action relativement à notre perspective sur le monde. Cette porte, devant moi, existe objectivement, et c'est objectivement une porte parce que je pourrais l'ouvrir, la passer et la refermer. La porte n'est pas une pure construction de mon esprit : si je pense en voir une où il n'y en a pas, j'en ferai les frais... Elle existe et continue d'exister même si je ne l'utilise pas, et même si j'ai le dos tourné, car je *pourrais* l'observer ou l'utiliser. Mais ces aspects qui la caractérisent en tant que porte sont relatifs à ma propre constitution d'être humain doté de bras et de mains pour ouvrir les portes et de jambes pour les passer, et il faudrait être fou pour croire que le concept de porte fait partie de la constitution fondamentale de la réalité.

Nous pensons qu'il en va de même des électrons, des molécules, des protéines, des gènes, des espèces animales... Les électrons ont une charge négative. Ils peuvent absorber ou émettre des photons. Les molécules interagissent entre elles et se reconfigurent, par exemple en s'échangeant des électrons. Les gènes codent pour des protéines, qui sont manipulées par des enzymes. Les membres d'une espèce animale peuvent se reproduire. Ils partagent des comportements et des apparences communs. Toutes ces choses existent objectivement, et quiconque veut l'ignorer au moment où il doit y avoir recours en fera les frais.

Contrairement à la porte, peut-être, les concepts mêmes que nous employons pour parler de ces choses naturelles ne sont pas subordonnés à des intentions humaines très précises : ils peuvent plutôt se déployer de manière efficace pour servir les buts qu'on souhaite. On peut leur attribuer des dispositions relativement à plusieurs perspectives envisageables. La science en général, du moins dans l'idéal, ne sert pas de but précis, mais a plutôt pour but d'unifier ces perspectives diverses dans un même schème conceptuel, et l'étendue des perspectives disponibles elles-mêmes, de nos possibilités d'action, ne cesse de s'accroître au fil des développements techniques, quand elle étend son domaine d'application. Mais il serait bien présomptueux d'y voir une nature absolue qui existerait indépendamment de toute action ou expérience possible, et qui ne se ramènerait aucunement à notre propre situation dans le monde. Cette hypothétique nature absolue, sans plus de lien à l'expérience qui nous la fait connaître, ne peut être qu'une coquille vide.

On pourra se trouver insatisfait de ne jamais pouvoir atteindre par l'intellect la nature fondamentale des choses, un absolu qui nous serait radicalement indépendant et comblerait nos besoins d'explication. La science ne nous offrirait finalement rien de véritable, rien qui transcende nos perspectives. Mais son contenu n'est pas vide pour autant, et nous avons proposé une manière unifiée d'interpréter ce contenu qui s'applique en principe à toute représentation : en termes de dispositions, d'événements et de perspectives. Voilà déjà comment l'on peut caractériser la réalité. À bien y réfléchir, il est peut-être un enseignement plus profond à tout ça, tout du moins une hypothèse : la réalité ne serait finalement que ceci : un kaléidoscope de perspectives, de dispositions, d'intentions et d'expériences.

Bibliographie

- Ainsworth, Peter (2009). Newman's objection. *British Journal for the Philosophy of Science*, 60(1), 135–171.
- Allori, Valia, Goldstein, Sheldon, Tumulka, Roderich et Zanghì, Nino (2008). On the common structure of Bohmian mechanics and the Ghirardi–rimini–weber theory : Dedicated to Giancarlo Ghirardi on the occasion of his 70th birthday. *British Journal for the Philosophy of Science*, 59(3), 353–389.
- Arenhart, Jonas R. Becker et Bueno, Otávio (2015). Structural realism and the nature of structure. *European Journal for Philosophy of Science*, 5(1), 111–139.
- Armstrong, David (1983). *What is a Law of Nature?*, volume 96. Cambridge University Press.
- Ayer, Alfred (1936). *Language, Truth and Logic*, volume 47. V. Gollancz.
- Bailer-Jones, Daniela (2013). *Scientific Models in Philosophy of Science*, volume 43. University of Pittsburgh Press.
- Barwise, Jon et Perry, John (1983). *Situations and Attitudes*, volume 78. MIT Press.
- Bell, John (2004). Against "Measurement". In *Speakable and Unsayable in Quantum Mechanics*, pages 213–231. Cambridge University Press.
- Belot, Gordon (2012). Quantum states for primitive ontologists. *European Journal for Philosophy of Science*, 2(1), 67–83.
- Belot, Gordon (2016). Undermined. *Australasian Journal of Philosophy*.
- Bene, Gyula et Dieks, Dennis (2002). A Perspectival Version of the Modal Interpretation of Quantum Mechanics and the Origin of Macroscopic Behavior. *Foundations of Physics*, 32(5), 645–671.

- Bergson, Henri (1946). *La Pensée Et le Mouvant Essais Et Conférences*, volume 43. Presses Universitaires de France.
- Bird, Alexander (2007). *Nature's Metaphysics : Laws and Properties*. Oxford University Press.
- Bitbol, Michel (2010). *De l'intérieur du monde*. Champs-Flammarion, Paris.
- Bogen, James et Woodward, James (1988). Saving the phenomena. *Philosophical Review*, 97(3), 303–352.
- Boyd, Richard (1980). Scientific Realism and Naturalistic Epistemology. *PSA : Proceedings of the Biennial Meeting of the Philosophy of Science Association*, 1980, 613–662.
- Boyer, Thomas et Barberousse, Anouk (2013). Interpréter une théorie physique. *Methodos*, 13.
- Braillard, Pierre-Alain, Guay, Alexandre, Imbert, Cyrille et Pradeu, Thomas (2011). Une objectivité kaléidoscopique : construire l'image scientifique du monde. *Philosophie*, 3(110), 46–71.
- Brandom, Robert B. (1994). *Making It Explicit : Reasoning, Representing, and Discursive Commitment*, volume 183. Harvard University Press.
- Bridgman, Percy (1980). *The Logic of Modern Physics*. Arno Press.
- Bueno, Otavio (1997). Empirical adequacy : A partial structures approach. *Studies in History and Philosophy of Science Part A*, 28(4), 585–610.
- Bueno, Otávio (2008). Structural Realism, Scientific Change, and Partial Structures. *Studia Logica*, 89(2), 213–235.
- Butterfield, Jeremy (1992). David Lewis meets John bell. *Philosophy of Science*, 59(1), 26–43.
- Campbell, Scott (2001). Fixing a hole in the ground of induction. *Australian Journal of Philosophy*, 79(4), 553 – 563.
- Cao, Tian Yu (2003). Can We Dissolve Physical Entities into Mathematical Structures? *Synthese*, 136(1), 57–71.
- Carnap, Rudolf (1928). *Der Logische Aufbau der Welt*. Meiner Verlag.

- Carnap, Rudolf (1936). Testability and meaning. *Philosophy of Science*, 3(4), 419–471.
- Carnap, Rudolf (1956). The methodological character of theoretical concepts. *Minnesota Studies in the Philosophy of Science*, 1(1), 38–76.
- Carnap, Rudolf (1958). Beobachtungssprache und theoretische sprache. *Dialectica*, 12(3-4), 236–248.
- Carroll, John (2008). *Laws of nature*. Cambridge University Press, Cambridge.
- Cartwright, Nancy (1983). *How the Laws of Physics Lie*, volume 34. Oxford University Press.
- Cartwright, Nancy (1999). *The Dappled World : A Study of the Boundaries of Science*, volume 36. Cambridge University Press.
- Casati, Roberto et Varzi, Achille C. (2014). Events. In Ed N. Zalta, editor, *Stanford Encyclopedia of Philosophy*.
- Cassirer, Ernst (1923). *Substance and Function*. Dover Publications.
- Cassirer, Ernst (1937). *Determinismus Und Indeterminismus in der Modernen Physik Historische Und Systematische Studien Zum Kausalproblem*. Elanders Boktryckeri Aktiebolag.
- Chakravartty, Anjan (2001). The semantic or model-theoretic view of theories and scientific realism. *Synthese*, 127(3), 325–345.
- Chakravartty, Anjan (2003). The structuralist conception of objects. *Philosophy of Science*, 70(5), 867–878.
- Chakravartty, Anjan (2007). *A Metaphysics for Scientific Realism : Knowing the Unobservable*. Cambridge University Press.
- Chang, Hasok et Leonelli, Sabina (2005). Infrared metaphysics : the elusive ontology of radiation. Part 1. *Studies in History and Philosophy of Science Part A*, 36(3), 477–508.
- Churchland, Paul et Hooker, Clifford (1985). *Images of Science : Essays on Realism and Empiricism*. University of Chicago Press.
- Cisek, Paul (1999). Beyond the computer metaphor : Behaviour as interaction. *Journal of Consciousness Studies*, 6(11-12), 11–12.

- Clark, Herbert et Schaefer, Edward (1989). Contributing to Discourse. *Cognitive Science*, 13(2), 259–294.
- Collins, Harry (1985). *Changing Order: Replication and Induction in Scientific Practice*, volume 51. University of Chicago Press.
- Cruse, Pierre (2005). Ramsey sentences, structural realism and trivial realization. *Studies in History and Philosophy of Science Part A*, 36(3), 557–576.
- Dawid, Richard et Thébault, Karim (2014). Against the empirical viability of the Deutsch–Wallace–Everett approach to quantum mechanics. *Studies in History and Philosophy of Science Part B: Studies in History and Philosophy of Modern Physics*, 47, 55–61.
- Demopoulos, William et Friedman, Michael (1985). Bertrand Russell's the Analysis of Matter: Its Historical Context and Contemporary Interest. *Philosophy of Science*, 52(4), 621–639.
- Descartes, René et Picot, Claude (1647). *Les Principes de la Philosophie, Par R. Descartes, Tr. Par Vn des Ses Amis [C. Picot]*.
- Devitt, Michael (2011). Are Unconceived Alternatives a Problem for Scientific Realism? *Journal for General Philosophy of Science / Zeitschrift für Allgemeine Wissenschaftstheorie*, 42(2), 285–293.
- Dewey, John (1930). *The Quest for Certainty*. London, G. Allen & Unwin Ltd.
- Dicken, Paul (2007). Constructive empiricism and the metaphysics of modality. *British Journal for the Philosophy of Science*, 58(3), 605 – 612.
- Dieks, Dennis et Lubberdink, Andrea (2012). How Classical Particles Emerge from the Quantum World. *Foundations of Physics*, 41(6), 1051–1064.
- Duhem, Pierre (1906). *La théorie physique: son objet, et sa structure*. Chevalier & Rivière.
- Dummett, Michael (1978). *Truth and Other Enigmas*, volume 31. Harvard University Press.
- Earman, John (1993). Underdetermination, Realism, and Reason. *Midwest Studies in Philosophy*, 18(1), 19–38.

- Earman, John (2011). The Unruh effect for philosophers. *Studies in History and Philosophy of Science Part B*, 42(2), 81–97.
- Eddington, Arthur (1955). *The Nature of the Physical World*, volume 39. London, Dent.
- Egg, Matthias et Esfeld, Michael (2015). Primitive ontology and quantum state in the GRW matter density theory. *Synthese*, pages 1–17. Forthcoming.
- Ellis, Brian (1988). Internal realism. *Synthese*, 76(3), 409 – 434.
- Esfeld, Michael (2009). The modal nature of structures in ontic structural realism. *International Studies in the Philosophy of Science*, 23(2), 179 – 194.
- Field, Hartry (1977). Logic, meaning, and conceptual role. *Journal of Philosophy*, 74(July), 379–409.
- Fine, Arthur (1991). Piecemeal realism. *Philosophical Studies*, 61(1-2), 79 – 96.
- Franklin, Allan (1994). How to avoid the experimenters' regress. *Studies in History and Philosophy of Science Part A*, 25(3), 463–491.
- Franklin, Allan, Anderson, M., Brock, D., Coleman, S., Downing, J., Gruvander, A., Lilly, J., Neal, J., Peterson, D., Price, M., Rice, R., Smith, L., Speirer, S. et Toering, D. (1989). Can a theory-Laden observation test the theory? *British Journal for the Philosophy of Science*, 40(2), 229–231.
- French, Steven (1998). On the Whithering Away of Physical Objects. In *Interpreting Bodies*, pages 93–113. Princeton University Press.
- French, Steven (2014). *The Structure of the World : Metaphysics and Representation*. Oup Oxford.
- French, Steven et Krause, Décio (1995). A formal approach to quantum non-individuality. *Synthese*, 102, 195–214.
- French, Steven et Ladyman, James (2003). Remodelling structural realism : Quantum physics and the metaphysics of structure. *Synthese*, 136(1), 31–56.

- French, Steven et Redhead, Michael (1988). Quantum physics and the identity of indiscernibles. *British Journal for the Philosophy of Science*, 39(2), 233–246.
- French, Steven et Saatsi, Juha (2006). Realism about Structure : The Semantic View and Nonlinguistic Representations. *Philosophy of Science*, 73(5), 548–559.
- Frigg, Roman (2006). Scientific representation and the semantic view of theories. *Theoria*, 21(1), 49–65.
- Frigg, Roman et Votsis, Ioannis (2011). Everything You Always Wanted to Know About Structural Realism but Were Afraid to Ask. *European Journal for Philosophy of Science*, 1(2), 227–276.
- Gibson, James (1986). *The Ecological Approach To Visual Perception*. Routledge.
- Giere, Ronald (1989). Scientific rationality as instrumental rationality. *Studies in History and Philosophy of Science Part A*, 20(3), 377–384.
- Giere, Ronald (1991). Explaining Science : A Cognitive Approach. *Philosophical Review*, 100(4), 653–656.
- Giere, Ronald (2002). 15 Scientific cognition as distributed cognition. In Peter Carruthers, Stephen Stich et Michael Siegal, editors, *The Cognitive Basis of Science*, page 285. Cambridge University Press.
- Giere, Ronald (2006). *Scientific Perspectivism*. University of Chicago Press.
- Goodman, Nelson (1954). *Fact, Fiction & Forecast*, volume 25. [London]University of London.
- Griffiths, Robert (2003). *Consistent quantum theory*. Cambridge Univ. Press, Cambridge. OCLC : 249384976.
- Guay, Alexandre et Pradeu, Thomas (2017). Right out of the box : How to situate metaphysics of science in relation to other metaphysical approaches.
- Hacking, Ian (1983). *Representing and Intervening : Introductory Topics in the Philosophy of Natural Science*, volume 22. Cambridge University Press.
- Halvorson, Hans (2012). What Scientific Theories Could Not Be. *Philosophy of Science*, 79(2), 183–206.

- Hanrahan, Rebecca (2009). Consciousness and modal empiricism. *Philosophia*, 37(2), 281–306.
- Healey, Richard (1997). Nonlocality and the aharonov-Bohm effect. *Philosophy of Science*, 64(1), 18–41.
- Healey, Richard (2012). Quantum Theory : A Pragmatist Approach. *British Journal for the Philosophy of Science*, 63(4), 729–771.
- Healey, Richard (2013). Physical composition. *Studies in History and Philosophy of Science Part B*, 44(1), 48–62.
- Humphreys, Paul (2004). *Extending Ourselves Computational Science, Empiricism, and Scientific Method*. Monograph Collection (Matt - Pseudo).
- Hájek, Alan (2008). Interpretations of probability. In Edward N. Zalta, editor, *Stanford Encyclopedia of Philosophy*. [Urlhttp ://Plato.Stanford.Edu/Archives/Spr2010/Entries/Probability-Interpret/](http://Plato.Stanford.Edu/Archives/Spr2010/Entries/Probability-Interpret/).
- Israel-Jost, Vincent (2015). *L'observation scientifique : aspects philosophiques et pratiques*. Number 8 in Histoire et philosophie des sciences. Classiques Garnier, Paris.
- Jacob, Pierre (1980). *L'empirisme logique : ses antécédents, ses critiques*. Propositions. Editions de Minuit, Paris.
- Kastner, R. E. (2017). Demystifying Weak Measurements. *Foundations of Physics*, 47(5), 697–707.
- Kim, Jaegwon (1999). Making Sense of Emergence. *Philosophical Studies*, 95, 3–36.
- Kratzer, Angelika (2008). Situations in natural language semantics. In Angelika Kratzer, editor, *Stanford Encyclopedia of Philosophy*.
- Krause, Décio et Bueno, Otávio (2007). Scientific Theories, Models, and the Semantic Approach. *Principia*, 11(2), 187–201.
- Kripke, Saul (1980). *Naming and Necessity*. Harvard University Press.
- Kuhn, Thomas (1962). *The Structure of Scientific Revolutions*. University of Chicago Press, Chicago.

- Ladyman, James (1998). What is structural realism? *Studies in History and Philosophy of Science*, 29, 409–424.
- Ladyman, James (2000). What's really wrong with constructive empiricism? Van Fraassen and the metaphysics of modality. *British Journal for the Philosophy of Science*, 51(4), 837–856.
- Ladyman, James (2004). Constructive empiricism and modal metaphysics : A reply to Monton and Van Fraassen. *British Journal for the Philosophy of Science*, 55(4), 755–765.
- Ladyman, James et Ross, Don (2007). *Every Thing Must Go : Metaphysics Naturalized*. Oxford University Press.
- Lakatos, Imre (1978). *The Methodology of Scientific Research Programmes*. Cambridge University Press.
- LaPorte, Joseph (2004). *Natural Kinds and Conceptual Change*. Cambridge University Press.
- Laudan, Larry (1981). A Confutation of Convergent Realism. *Philosophy of Science*, 48(1), 19–49.
- Laudan, Larry (1990). Demystifying Underdetermination. In *Scientific Theories*, volume 14, pages 267–97. University of Minnesota Press.
- Laudan, Larry et Leplin, Jarrett (1991). Empirical Equivalence and Underdetermination. *Journal of Philosophy*, 88(9), 449–472.
- Leplin, Jarrett (1997). *A Novel Defense of Scientific Realism*, volume 40. Oxford University Press.
- Leroux, Jean (1989). La sémantique des théories physiques. *Revue Philosophique de la France Et de l'Etranger*, 179(4), 653–654.
- Lewis, David (1973). *Counterfactuals*. Blackwell Publishers.
- Lewis, Peter (2004). Life in Configuration Space. *British Journal for the Philosophy of Science*, 55(4), 713–729.
- Lutz, Sebastian (2012). On a Straw Man in the Philosophy of Science : A Defense of the Received View. *HOPOS*, 2(1), 77–120.

- Lutz, Sebastian (2015). What Was the Syntax-Semantics Debate in the Philosophy of Science About? *Philosophy and Phenomenological Research*, 91(2).
- Lyre, Holger (2011). Structural Invariants, Structural Kinds, Structural Laws.
- Magnus, Poppy et Callender, Craig (2004). Realist Ennui and the Base Rate Fallacy. *Philosophy of Science*, 71, 320–338.
- Maudlin, Tim (1995). Three Measurement Problems. *Topoi*, 14(1), 7–15.
- Maudlin, Tim (1996). Kuhn édenté : incommensurabilité et choix entre théories (translated by Michel Ghins). *Revue Philosophique De Louvain*, 94(3), 428–446.
- Maudlin, Tim (2007). *The Metaphysics Within Physics*. Oxford University Press.
- Maxwell, Grover (1970). Theories, Perception and Structural Realism. In *The Nature and Function of Scientific Theories*, pages 3–34. University of Pittsburgh Press.
- McGuire, James (1970). Atoms and the 'analogy of nature' : Newton's third rule of philosophizing. *Studies in History and Philosophy of Science Part A*, 1(1), 3–58.
- Melia, Joseph et Saatsi, Juha (2006). Ramseyfication and Theoretical Content. *British Journal for the Philosophy of Science*, 57(3), 561–585.
- Montague, Richard (1974). *Formal Philosophy; Selected Papers of Richard Montague*. New Haven, Yale University Press.
- Monton, Bradley (2002). Wave function ontology. *Synthese*, 130(2), 265 – 277.
- Monton, Bradley (2006). Quantum Mechanics and 3n-Dimensional Space. *Philosophy of Science*, 73(5), 778–789.
- Monton, Bradley et van Fraassen, Bas (2003). Constructive empiricism and modal nominalism. *British Journal for the Philosophy of Science*, 54(3), 405–422.
- Morganti, Matteo (2004). On the preferability of epistemic structural realism. *Synthese*, 142, 81–107.

- Mumford, Stephen (2004). *Laws in Nature*. Routledge.
- Myrvold, Wayne (2016). On the Evidential Import of Unification. *Philosophy of Science*.
- Newman, Maxwell (1928). Mr. Russell's Causal Theory of Perception. *Mind*, 5(146), 26–43.
- Ney, Alyssa et Albert, David (2013). *The Wave Function : Essays in the Metaphysics of Quantum Mechanics*. Oxford University Press.
- Nola, Robert (1980). Fixing the Reference of Theoretical Terms. *Philosophy of Science*, 47(4), 505–531.
- Norton, John (2007). Causation as folk science. In Huw Price et Richard Corry, editors, *Philosophers' Imprint*, volume 3. Oxford University Press.
- Norton, John (2008). Must Evidence Underdetermine Theory? In *The Challenge of the Social and the Pressure of Practice : Science and Values Revisited*, volume 14, pages 17–44. University of Pittsburgh Press.
- Nyrup, Rune (2015). How Explanatory Reasoning Justifies Pursuit : A Peircean View of IBE. *Philosophy of Science*, 82(5), 749–760.
- Pashby, Thomas (2012). Dirac's Prediction of the Positron : A Case Study for the Current Realism Debate. *Perspectives on Science*, 20(4), 440–475.
- Poincaré, Henri (1902). *La science et l'hypothèse*. Bibliothèque de philosophie scientifique. E. Flammarion.
- Poincaré, Henri (1905). La valeur de la science, 1 vol. *Revue de Métaphysique et de Morale*, 13(4), 2–3.
- Popper, Karl, Thyssen-Rutten, Nicole et Devaux, Philippe (1973). *La logique de la découverte scientifique*. Payot, [Paris].
- Post, Heinz (1971). Correspondence, invariance and heuristics : In praise of conservative induction. *Studies in History and Philosophy of Science Part A*, 2(3), 213–255.
- Pradeu, Thomas (2014). Regenerating theories in developmental biology. *Towards a Theory of Development*, page 15.
- Psillos, Stathis (1995). Is Structural Realism the Best of Both Worlds? *Dialectica*, 49(1), 15–46.

- Psillos, Stathis (1999). *Scientific Realism : How Science Tracks Truth*. Routledge.
- Psillos, Stathis (2001). Is Structural Realism Possible? *Proceedings of the Philosophy of Science Association*, 2001(3), 13–24.
- Psillos, Stathis (2011). Is the History of Science the Wasteland of False Theories? In *Adapting Historical Knowledge Production to the Classroom*, pages 17–36. Sense Publishers.
- Psillos, Stathis (2012). Adding Modality to Ontic Structuralism : An Exploration and Critique. In *Structural Realism : Structure, Object, and Causality*. Springer Netherlands.
- Psillos, Stathis (2015). Broken structuralism : Steven French : The structure of the world : Metaphysics and representation. *Metascience*.
- Putnam, Hilary (1975a). *Mathematics, Matter, and Method*. Cambridge University Press.
- Putnam, Hilary (1975b). The meaning of 'meaning'. *Minnesota Studies in the Philosophy of Science*, 7, 131–193.
- Putnam, Hilary (1980). Models and reality. *Journal of Symbolic Logic*, 45(3), 464–482.
- Putnam, Hilary (1981). *Reason, Truth, and History*, volume 33. Cambridge University Press.
- Putnam, Hilary (1983). *Realism and Reason*, volume 3. Cambridge University Press.
- Quine, Willard (1951). Two Dogmas of Empiricism. *Philosophical Review*, 60, 20–43.
- Radder, Hans (2003). *The Philosophy of Scientific Experimentation*. University of Pittsburgh Press.
- Rebuschi, Manuel (2008). *Qu'Est-Ce Que la Signification?* Vrin.
- Recanati, François (2008). *Philosophie du langage (et de l'esprit)*.
- Redhead, M. L. G. (1975). Symmetry in intertheory relations. *Synthese*, 32(1-2), 77 – 112.

- Redhead, Michael (2001). The Intelligibility of the Universe. *Royal Institute of Philosophy Supplement*, 48, 73–90.
- Roca-Royes, Sonia (2014). Mind-Independence and Modal Empiricism.
- Rosaler, Joshua (2015). Local reduction in physics. *Studies in History and Philosophy of Science Part B : Studies in History and Philosophy of Modern Physics*, 50, 54–69.
- Rosen, Gideon (1994). What is constructive empiricism? *Philosophical Studies*, 74(2), 143 – 178.
- Rovelli, Carlo (1996). Relational Quantum Mechanics. *International Journal of Theoretical Physics*, 35, 1637–1678.
- Ruetsche, Laura (2013). *Interpreting Quantum Theories*. Oup Oxford.
- Russell, Bertrand (1912). *The Problems of Philosophy*. Barnes & Noble Books.
- Russell, Bertrand (1927). *The Analysis of Matter*. London : Kegan Paul.
- Russell, Bertrand (1968). The Autobiography of Bertrand Russell, 1872-1914. *Philosophical Quarterly*, 18(70), 87.
- Ruyant, Quentin (2016a). Le réalisme structural. In *L'encyclopédie philosophique*.
- Ruyant, Quentin (2016b). Le réalisme structural face au problème de la mesure. *Lato sensu*.
- Ruyant, Quentin (2016c). Primitive Ontology or Primitive Relations?
- Sanford, David (2008). Determinates vs. determinables. In *Stanford Encyclopedia of Philosophy*.
- Saunders, Simon (2003). Physics and Leibniz's Principles. In *Symmetries in Physics : Philosophical Reflections*, pages 289–307. Cambridge University Press.
- Schlick, Moritz (1932). *Forme & contenu : une introduction à la pensée philosophique*. Agone éditeur.
- Schlosshauer, Maximilian (2005). Decoherence, the measurement problem, and interpretations of quantum mechanics. *Reviews of Modern Physics*, 76(4), 1267–1305.

- Sellars, Wifried (1956). Empiricism and the Philosophy of Mind. *Minnesota Studies in the Philosophy of Science*, I, 253–329.
- Sidelle, Alan (2009). Conventionalism and the contingency of conventions. *Noûs*, 43(2), 224–241.
- Simons, Peter M. (1987). *Parts : A Study in Ontology*, volume 100. Oxford University Press.
- Smart, John (1963). *Philosophy And Scientific Realism*. Humanities Press.
- Sneed, Joseph (1971). *The Logical Structure of Mathematical Physics*. Springer Netherlands, Dordrecht.
- Stalnaker, Robert (1986). Possible worlds and situations. *Journal of Philosophical Logic*, 15(1), 109 – 123.
- Stanford, Kyle (2001). Refusing the Devil’s Bargain : What Kind of Underdetermination Should We Take Seriously? *Philosophy of Science*, 68(S3), S1–S12.
- Stanford, Kyle (2003). Pyrrhic victories for scientific realism. *Journal of Philosophy*, 100(11), 553 – 572.
- Stove, David (1986). *The Rationality of Induction*, volume 23. Oxford University Press.
- Suppe, Frederick (1972). What’s wrong with the received view on the structure of scientific theories? *Philosophy of Science*, 39(1), 1–19.
- Suppes, Patrick (1960). A comparison of the meaning and uses of models in mathematics and the empirical sciences. *Synthese*, 12(2-3), 287–301.
- Suárez, Mauricio (2005). The Semantic View, Empirical Adequacy, and Application (Concepción semántica, adecuación empírica y aplicación). *Critica*, 37(109), 29 – 63.
- Teh, Nicholas et Tsementzis, Dimitris (2016). Theoretical Equivalence in Classical Mechanics and its relationship to Duality. *Studies in History and Philosophy of Science Part B : Studies in History and Philosophy of Modern Physics*.
- Teller, Paul (1995). *An Interpretive Introduction to Quantum Field Theory : Paul Teller*. Princeton series in physics. Princeton University Press.

- Thomson-Jones, Martin (2012). Modeling without Mathematics. *Philosophy of Science*, 79(5), 761–772.
- Tiercelin, Claudine (2011). *Le ciment des choses : petit traité de métaphysique scientifique réaliste*. Collection Science & métaphysique. Ithaque, Paris.
- van Fraassen, Bas (1980). *The Scientific Image*. Oxford University Press.
- van Fraassen, Bas (1982). The charybdis of realism : Epistemological implications of bell's inequality. *Synthese*, 52(1), 25 – 38.
- van Fraassen, Bas (1989). *Laws and Symmetry*, volume 102. Oxford University Press.
- van Fraassen, Bas (2002). *The empirical stance*. The Terry lectures. Yale University Press, New Haven, CT.
- van Fraassen, Bas (2008). *Scientific Representation : Paradoxes of Perspective*, volume 70. Oxford University Press.
- Vetter, Barbara (2009). Nature's Metaphysics : Laws and Properties. *Logical Analysis and History of Philosophy*, 12, 320–328.
- Vorms, Marion (2011). *Qu'est-ce qu'une théorie scientifique ?* Collection "Philosophie des sciences". Vuibert, Paris.
- Votsis, Ioannis (2004). *The epistemological status of scientific theories : An investigation of the structural realist account*.
- Votsis, Ioannis (2015). Unification : Not Just a Thing of Beauty. *Theoria : Revista de Teoría, Historia y Fundamentos de la Ciencia*, 30(1), 97–114.
- Wallace, David (2007). Quantum Probability From Subjective Likelihood : Improving on Deutsch's Proof of the Probability Rule. *Studies in History and Philosophy of Science Part B*, 38(2), 311–332.
- Weyl, Hermann (1931). *The Theory of Groups and Quantum Mechanics*. New York : Dover.
- Williams, Donald Cary (1963). *The Ground of Induction*. New York, Russell & Russell.
- Worrall, John (1989). Structural Realism : The Best of Both Worlds? *Dialectica*, 43(1-2), 99–124.

Wright, Crispin (1986). Facts and Certainty. *Proceedings of the British Academy*, 71, 429–472.

Zahar, Elie (2000). *Essai D'Épistémologie Réaliste*. Vrin.

Zahar, Elie (2004). Ramseyfication and structural realism. *Theoria*, 19(1), 5–30.

Summary

The aim of this thesis dissertation is to propose a novel position in the debate on scientific realism, modal empiricism, and to show its fruitfulness when it comes to interpreting the cognitive content of scientific theories. Modal empiricism is an empiricist position, according to which the aim of science is to produce empirically adequate theories rather than true theories. However, it suggests adopting a broader comprehension of experience than traditional versions of empiricism, through a commitment to natural modalities. Following modal empiricism, there are possibilities in nature, and constraints on what is possible, and a theory is empirically adequate if it correctly delimits the range of possible experiences. The position rests on a situated and pragmatic conception of natural modalities and of empirical confrontation. We claim that it can do justice to the empirical success of science, while not falling prey to the problem of theory change that undermines scientific realism. We explain how constraints of necessity on phenomena can be known by induction, and how this modal epistemology fits with scientific practice. Finally, we claim that a commitment to natural modalities allows for a rich interpretation of the cognitive content of theories. Modal empiricism could renew some metaphysical debates within a pragmatist framework, by tying them to experience and not being constrained by realist prejudices.

Résumé

L'objet de cette thèse est de proposer une position originale dans le débat sur le réalisme scientifique, l'empirisme modal, et d'en démontrer la fructuosité quand il s'agit de tirer des enseignements du contenu cognitif des théories scientifiques. L'empirisme modal est une position empiriste, suivant laquelle le but de la science n'est pas de produire des théories vraies, mais des théories empiriquement adéquate. Cependant, il propose d'adopter un cadre plus large que les versions traditionnelles d'empirisme pour penser l'expérience, en incorporant un engagement envers les modalités naturelles, ou l'idée qu'il y a du possible dans la nature, et des contraintes sur les possibles. Nos théories sont empiriquement adéquates si elles délimitent correctement l'étendue des expériences possibles. Cette position s'appuie sur une conception située et pragmatique des modalités naturelles et de la confrontation empirique. Nous prétendons qu'elle est à même de rendre justice au succès empirique des sciences, sans pour autant faire face au problème du changement théorique qui mine le réalisme scientifique. Nous expliquons comment les contraintes de nécessité sur les phénomènes peuvent être connues à l'issue d'une induction, et en quoi cette façon de voir s'accorde avec la pratique scientifique. Enfin, nous affirmons qu'un engagement envers les modalités naturelles offre une richesse interprétative à même de renouveler, dans un cadre pragmatiste, plus ouvert que le réalisme, certaines questions métaphysiques tout en les ramenant à l'expérience.