



Michael Esfeld

PHYSIQUE ET MÉTAPHYSIQUE

Une introduction à la philosophie de la nature

Presses polytechniques et universitaires romandes

PHYSIQUE
ET MÉTAPHYSIQUE

Michael Esfeld

PHYSIQUE ET MÉTAPHYSIQUE

Une introduction à la philosophie de la nature

*L'auteur et l'éditeur remercient l'École polytechnique fédérale
de Lausanne pour le soutien apporté à la publication de cet ouvrage.*

Parus chez le même éditeur

Philosophie des sciences

Une introduction

Michael Esfeld

Philosophie de la biologie

Enjeux et perspectives

Christian Sachse

Faussement vrai & vraiment faux

La logique au quotidien

Solange Cuénod

Morale et évolution biologique

Entre déterminisme et liberté

sous la dir. de Christine Clavien et Catherine El-Bez

Mythe & Science

sous la dir. d'Andreas Dettwiler et Clairette Karakash

Les Presses polytechniques et universitaires romandes sont une fondation scientifique dont le but est la diffusion des travaux de l'École polytechnique fédérale de Lausanne ainsi que d'autres universités et écoles d'ingénieurs francophones. Le catalogue de leurs publications peut être obtenu par courrier aux Presses polytechniques et universitaires romandes, EPFL – Rolex Learning Center, CH-1015 Lausanne, par E-Mail à ppur@epfl.ch, par téléphone au (0)21 693 41 40, ou par fax au (0)21 693 40 27.

www.ppur.org

Première édition

ISBN 978-2-88074-982-8

© Presses polytechniques et universitaires romandes, 2012

Tous droits réservés

Reproduction, même partielle, sous quelque forme ou sur quelque support que ce soit, interdite sans l'accord écrit de l'éditeur.

Imprimé en Italie

Avant-propos

La philosophie occidentale est, depuis ses origines dans la Grèce ancienne, liée aux sciences de la nature. Ce livre a pour but de mettre en évidence que physique et métaphysique demeurent inséparables encore aujourd'hui, montrant comment on peut employer les théories des sciences de la nature et les outils conceptuels de la réflexion philosophique pour développer une vision argumentée des traits fondamentaux de la nature. Ce livre a la prétention d'être une introduction à cette recherche, retraçant le parcours philosophique à partir de la mécanique de Newton jusqu'aux questions de la compréhension du monde que la physique quantique soulève. Il se base sur la deuxième partie de la deuxième édition de mon livre *Philosophie des sciences. Une introduction* (Presses polytechniques et universitaires romandes 2009, épuisé depuis 2011); j'ai révisé tout le texte, réarrangé la matière et introduit beaucoup de nouveaux éléments de sorte que le présent livre est un nouveau texte autonome, se focalisant entièrement sur la philosophie de la nature.

Ce livre se veut accessible aux étudiants, avec un appareil pédagogique à la fin de chaque chapitre et un glossaire à la fin du livre. Il résume l'état actuel de recherches dans le domaine de l'intersection entre physique et métaphysique, en présentant les différentes positions philosophiques et en proposant une évaluation des résultats fondés ainsi que des questions majeures qui restent ouvertes. Cette évaluation indique la position de l'auteur. Une introduction qui incite le lecteur à la réflexion en prenant position est à mon avis préférable à une simple juxtaposition de points de vue. Ce livre est complété par celui de Christian Sachse sur la philosophie de la biologie, paru aux Presses polytechniques et universitaires romandes en 2011, qui adopte la même conception pédagogique.

Ce livre se base sur des cours que j'ai donnés à l'Ecole polytechnique fédérale de Lausanne pour des étudiants en sciences et à l'Université de Lausanne pour des étudiants en lettres. Pour des commentaires sur le texte, j'aimerais remercier Jean Bricmont et Michel Ghins ainsi que mes collaborateurs Matthias Egg, Marion Hämmerli, Vincent Lam, Tim Rätz et Pietro Snider. De plus, je suis reconnaissant à Laurent Cordonier pour la correction de l'expression française et à Jamil Alioui pour la préparation du texte pour l'impression. Finalement, ma reconnaissance s'adresse aux Presses polytechniques et universitaires romandes – à Olivier Babel pour la proposition de rédiger un livre sur la philosophie de la nature ainsi qu'à Christophe Borlat pour l'aide technique.

Table des matières

| | |
|--|------------|
| Avant-propos | v |
| Table des matières | vii |
| 1 Qu'est-ce que la philosophie de la nature ? | 1 |
| 1.1 Physique et philosophie entremêlées | 1 |
| 1.2 Les sciences modernes et le réalisme scientifique | 4 |
| 1.3 Organisation du présent ouvrage | 6 |
| 1.4 Résumé | 7 |
| 1.5 Suggestions de lecture | 7 |
| 1.6 Questions de contrôle | 8 |
| 1.7 Proposition de travail | 8 |
| 2 Matière en mouvement : le paradigme des particules | 9 |
| 2.1 Les particules et leur mouvement | 9 |
| 2.2 L'espace et le temps absolus | 13 |
| 2.3 L'objection de Leibniz | 15 |
| 2.4 Résumé | 17 |
| 2.5 Suggestions de lecture | 18 |
| 2.6 Questions de contrôle | 18 |
| 2.7 Propositions de travail | 19 |
| 3 La métaphysique dispositionnaliste des propriétés et des lois physiques | 21 |
| 3.1 Les propriétés des particules | 21 |
| 3.2 La métaphysique des propriétés comme dispositions | 22 |
| 3.3 Les dispositions comme relations | 26 |
| 3.4 Résumé | 28 |
| 3.5 Suggestions de lecture | 29 |
| 3.6 Questions de contrôle | 29 |
| 3.7 Propositions de travail | 30 |

| | | |
|----------|--|-----------|
| 4 | La métaphysique humienne | 33 |
| 4.1 | Les propriétés comme qualités pures | 33 |
| 4.2 | Les lois comme théorèmes du meilleur système | 35 |
| 4.3 | Les objections de quidditisme et d’humilité | 40 |
| 4.4 | Résumé | 43 |
| 4.5 | Suggestions de lecture | 43 |
| 4.6 | Questions de contrôle | 44 |
| 4.7 | Propositions de travail | 44 |
| 5 | De Newton à Einstein : la physique des champs | 47 |
| 5.1 | Le problème de l’action à distance | 47 |
| 5.2 | La solution de la théorie des champs | 49 |
| 5.3 | La théorie de la relativité restreinte d’Einstein | 51 |
| 5.4 | Résumé | 55 |
| 5.5 | Suggestions de lecture | 55 |
| 5.6 | Questions de contrôle | 56 |
| 5.7 | Propositions de travail | 56 |
| 6 | La théorie de la relativité générale et le statut ontologique de l’espace-temps | 57 |
| 6.1 | La théorie de la relativité générale comme théorie de la gravitation | 57 |
| 6.2 | L’espace-temps substantiel | 59 |
| 6.3 | L’espace-temps relationnel | 61 |
| 6.4 | Résumé | 65 |
| 6.5 | Suggestions de lecture | 65 |
| 6.6 | Questions de contrôle | 65 |
| 6.7 | Propositions de travail | 66 |
| 7 | Physique et métaphysique de l’univers-bloc | 69 |
| 7.1 | La vision temporelle vs. la vision atemporelle de ce qui existe | 69 |
| 7.2 | L’univers-bloc | 71 |
| 7.3 | Substances et événements | 73 |
| 7.4 | Résumé | 77 |
| 7.5 | Suggestions de lecture | 77 |
| 7.6 | Questions de contrôle | 77 |
| 7.7 | Propositions de travail | 78 |

| | | |
|-----------|---|------------|
| 8 | La géométrisation de la matière | 81 |
| 8.1 | Le super-substantialisme | 81 |
| 8.2 | La géomérodynamique | 85 |
| 8.3 | Un bilan intermédiaire | 89 |
| 8.4 | Résumé | 90 |
| 8.5 | Suggestions de lecture | 91 |
| 8.6 | Questions de contrôle | 91 |
| 8.7 | Propositions de travail | 92 |
| 9 | La non-localité quantique | 93 |
| 9.1 | Les principes de séparabilité et d'action locale | 93 |
| 9.2 | Les expériences de pensée d'Einstein, Podolsky, Rosen et de Bohm | 95 |
| 9.3 | Le théorème de Bell | 96 |
| 9.4 | Résumé | 101 |
| 9.5 | Suggestions de lecture | 101 |
| 9.6 | Questions de contrôle | 101 |
| 9.7 | Propositions de travail | 102 |
| 10 | La physique quantique et le problème de la référence | 103 |
| 10.1 | Le principe de superpositions et l'intrication quantique . . . | 103 |
| 10.2 | Le problème de la mesure | 106 |
| 10.3 | Le problème de référence | 108 |
| 10.4 | Résumé | 112 |
| 10.5 | Suggestions de lecture | 112 |
| 10.6 | Questions de contrôle | 112 |
| 10.7 | Propositions de travail | 113 |
| 11 | L'ontologie de la physique quantique | 115 |
| 11.1 | La théorie d'Everett | 115 |
| 11.2 | La théorie de Ghirardi, Rimini et Weber | 118 |
| 11.3 | La théorie de Bohm | 121 |
| 11.4 | Résumé | 124 |
| 11.5 | Suggestions de lecture | 124 |
| 11.6 | Questions de contrôle | 125 |
| 11.7 | Propositions de travail | 125 |

| | |
|--|------------|
| 12 Physique et métaphysique du temps, des propriétés et des lois | 127 |
| 12.1 La direction du temps et les processus irréversibles | 127 |
| 12.2 La non-localité quantique et les théories de la relativité restreinte et générale | 130 |
| 12.3 La physique quantique et la métaphysique des propriétés et des lois | 134 |
| 12.4 Résumé | 137 |
| 12.5 Suggestions de lecture | 138 |
| 12.6 Questions de contrôle | 138 |
| 12.7 Propositions de travail | 139 |
| Bibliographie | 141 |
| Glossaire | 159 |
| Index | 165 |
| Noms | 166 |
| Sujets | 170 |

Qu'est-ce que la philosophie de la nature ?

But du chapitre : saisir les enjeux de la philosophie de la nature, comprendre le lien entre physique et métaphysique.

1.1 Physique et philosophie entremêlées

Dans la mesure où la philosophie occidentale consiste premièrement en une réflexion théorique sur l'être, la philosophie de la nature se trouve au centre de la philosophie depuis ses origines dans la Grèce ancienne. Les premiers présocratiques, tels que Thalès (env. 640 avant J.-C.), Anaximandre (env. 611-549 avant J.-C.) et Anaximène (deuxième moitié du 6^e siècle avant J.-C.), sont considérés comme des philosophes de la nature puisqu'ils avancent des hypothèses audacieuses sur l'être des choses. De leurs réflexions naquirent les sciences de la nature ainsi que la philosophie, les deux demeurant inséparables de leur origine à aujourd'hui.

Notre concept « nature » vient du concept grec *physis*, lui-même dérivé du verbe *phyein*, qui peut être traduit par « être engendré, croître ». Selon la première philosophie de la nature systématique, la *Physique* d'Aristote (384-322 avant J.-C.), la *physis* est le domaine de ce qui est en soi, en tant qu'ayant en soi le commencement du changement et la continuation de son existence. La *physis* d'une chose est ce qui fait que cette chose existe par elle-même. Nous voyons ici comment les deux sens actuels du mot « nature » convergent : nature en tant qu'essence d'une chose et nature en tant qu'ensemble des choses qui existent par elles-mêmes. Par conséquent, Aristote n'oppose pas le domaine de la nature au domaine de l'esprit, mais plutôt au domaine de la technique, compris comme domaine des choses qui trouvent leur origine dans l'action de l'homme (voir, en particulier, *Physique*, livre 2, chap. 1). L'esprit – compris comme étant ce dont dispose un être doté de perceptions, d'émotions, de désirs, de croyances et d'intentions – existe par lui-même et, à ce titre, appartient à la nature.

Quand on parle aujourd'hui d'une philosophie de la nature, on entend par « nature » les objets qui existent dans le monde indépendamment de

nous. Le but de la philosophie de la nature est de révéler leurs traits fondamentaux – leur essence, pour ainsi dire. On peut envisager le thème du rapport entre l'esprit et le corps comme faisant partie de la philosophie de la nature. Il est pourtant de coutume de considérer que ce thème est l'objet d'une discipline particulière, à savoir la philosophie de l'esprit (pour une introduction, voir Esfeld 2012b).

Aristote commence le traité qui nous est transmis sous le titre de *Métaphysique* en avançant que tous les êtres humains aspirent au savoir (livre 1, chap. 1). Le savoir trouve son origine dans les perceptions sensorielles d'événements particuliers. Ces perceptions conduisent à la constitution de la mémoire, comprise comme mémorisation de séquences d'événements particuliers, telles que la succession du jour et de la nuit, ou la succession des saisons (printemps, été, automne, hiver). De telles mémorisations constituent de l'expérience (« *empeiria* » en grec). L'expérience est un savoir de faits, de ce qui se passe dans le monde, mais elle ne répond pas à la question de savoir *pourquoi* ces faits ont lieu. Si on cherche à répondre à cette question, on passe de l'expérience à la science (« *epistémé* » en grec) : cette dernière ne se réduit pas à la constatation de faits, elle cherche à les expliquer en formulant des propositions générales de lois de la nature. Par exemple, la loi générale de la gravitation explique la succession des saisons ainsi que celle du jour et de la nuit. Après la science de la nature (la physique) vient la métaphysique. La métaphysique est la science qui traite l'être en tant qu'être, c'est-à-dire qui cherche à dégager les traits caractéristiques qui appartiennent à tout ce qui est (voir *Métaphysique*, livre 4).

Pour Aristote, donc, la métaphysique ne porte pas sur des objets dont on suppose qu'ils existeraient au-delà de la nature – autrement dit, il ne faut pas confondre la métaphysique avec la théologie. La métaphysique étudie le même sujet que la physique, à savoir la nature au sens des objets qui existent dans le monde indépendamment de nous, mais elle le fait à un niveau plus général et fondamental que la physique : elle ne s'occupe pas de certains objets en particulier (tels que les astres, les corps solides, ou encore la question de savoir quels sont les constituants microphysiques de la matière), mais de ce qui caractérise tous les objets. Ainsi, il y a continuité entre physique et métaphysique – les deux sont inséparables.

D'une part, en effet, les hypothèses métaphysiques doivent tenir compte des résultats des sciences pour avoir une chance d'atteindre une compréhension de l'être de la nature – il n'y a pas d'accès privilégié à l'être qui se dégage par la réflexion pure sans passer par l'examen scientifique de la nature. D'autre part, chaque théorie scientifique requiert une *interprétation* par laquelle on cherche à déterminer ce que la théorie dit sur la nature. Toute interprétation de ce type doit tenir compte des hypothèses sur l'être de la nature qui entrent dans la formulation de la théorie scientifique en question, hypothèses qui peuvent être remises en question par le développement ultérieur de la science, notamment par des résultats d'ex-

périences scientifiques. Par exemple, l'atomisme constitue l'hypothèse métaphysique de la philosophie présocratique de la nature de Leucippe (env. 450 avant J.-C.) et de Démocrite (env. 460-370 avant J.-C.), longtemps avant d'être redécouvert à l'époque moderne et transformé en une théorie physique (la mécanique classique) par Isaac Newton (1642-1727). Les problèmes qui émergent lorsque Newton cherche à élaborer l'atomisme en une théorie scientifique précise constitueront la motivation au développement d'une autre théorie scientifique, menant à ce qu'on peut appeler le paradigme des champs, tel qu'il est mis en évidence dans les théories de la relativité d'Einstein. On ne peut pas comprendre les questions d'interprétation que suscitent les théories physiques fondamentales contemporaines (la théorie quantique, la théorie de la relativité générale) si on ne se rend pas compte des enjeux métaphysiques que ces théories soulèvent.

La philosophie était dès son origine liée aux sciences, et ces dernières – notamment à l'époque moderne – se sont développées à partir de la philosophie. La plupart des grands philosophes de notre tradition étaient également des scientifiques – comme Platon, Aristote, Descartes, Leibniz. Il n'est pas possible de séparer la philosophie de la physique dans l'œuvre de Descartes ou de Leibniz. De même, il n'y a aucune raison de ne pas compter Newton ou Einstein parmi les grands philosophes de l'époque moderne. Ce n'est qu'à partir des 19^e et 20^e siècles que s'opéra une séparation entre les sciences et la philosophie, et ceci au détriment des deux. En effet, cette séparation eut pour conséquence que des physiciens, même éminents, mais manquant de la rigueur conceptuelle offerte par la philosophie, proposèrent des interprétations confuses de théories scientifiques, comme ce fut notamment le cas dans le cadre des débats autour de la mécanique quantique. Du côté des penseurs qui ignorent les sciences, on trouve des nombreuses prononciations de la mort de la métaphysique énoncées par des gens qui se posent comme des philosophes sans avoir en rien compris ses enjeux. Ce serait une perte de temps que d'essayer de discuter directement de telles interprétations ou de telles prononciations. Il s'agit plutôt de les réfuter en faisant de la métaphysique comme l'ont fait les présocratiques, Platon, Aristote, Descartes, Leibniz, Newton, ou encore Einstein, c'est-à-dire en cherchant à dégager les traits fondamentaux de l'être sans que dans cette recherche une séparation entre physique et métaphysique, entre sciences et philosophie soit possible.

Ce livre a la prétention d'être une introduction à cette recherche, retraçant le parcours philosophique à partir de la mécanique de Newton jusqu'aux questions de la compréhension du monde que soulèvent les théories physiques fondamentales actuelles. Bien que cette recherche soit purement théorique, il faut être conscient de ses implications pour la société. La proposition avec laquelle Aristote ouvre le traité qui nous est transmis sous le nom de *Métaphysique* est toujours vraie : « Tous les êtres humains aspirent au savoir. » Si on abandonnait cette recherche, on céderait la place que devrait occuper la philosophie de la nature aux spéculations de scien-

tifiques qui manquent souvent de discipline argumentative ou, pire encore, à des dilettantes vulgarisant les résultats des sciences pour en tirer des conséquences idéologiques – une *Weltanschauung* – n'ayant aucune valeur cognitive.

1.2 Les sciences modernes et le réalisme scientifique

On peut caractériser les sciences modernes par les trois traits centraux suivants :

- 1) *La systématique* : la nature nous présente des phénomènes divers. On essaie de réunir autant de phénomènes divers que possible sous une même explication simple en utilisant la notion de loi de la nature. Dans le cas idéal, on disposera d'une seule théorie simple réunissant tous les phénomènes en posant des lois universelles.
- 2) *L'objectivité* : les théories scientifiques ne dépendent pas d'un point de vue particulier. Dans le domaine scientifique, on essaie de faire abstraction de tout point de vue particulier, l'objectivité consistant en un point de vue « de nulle part ». Le but des sciences est ainsi de révéler le caractère objectif de la nature indépendamment de notre pensée.
- 3) *La méthode expérimentale* : une théorie scientifique ne se borne pas à classer les phénomènes. En vertu de son caractère systématique, elle permet de déduire des prédictions sur le comportement des phénomènes. Ces prédictions sont soumises à des tests systématiques sous la forme d'expériences scientifiques.

On peut faire remonter les deux premiers traits caractéristiques de l'entreprise scientifique, la systématique et l'objectivité, à l'Antiquité. En effet, ce sont précisément ces deux caractéristiques qu'Aristote met en évidence au début de la *Métaphysique* en soutenant que la science, par contraste à l'expérience, cherche des explications. Celles-ci sont systématiques, réunissant autant de phénomènes que possible sous une même proposition générale de loi de la nature, et elles sont objectives, ne dépendant pas du point de vue particulier (ou des expériences) de telle ou telle personne. Le troisième trait, la méthode expérimentale, est toutefois propre aux sciences modernes. Le succès qu'ont connu ces dernières s'explique justement par le fait de ne pas se borner à une réflexion théorique qui cherche à réunir autant de phénomènes que possible sous une proposition générale de loi de la nature, mais de mettre ces propositions générales à l'épreuve en en déduisant des prédictions de phénomènes particuliers et en vérifiant (ou falsifiant) ces prédictions au moyen d'expériences systématiques.

Si on accepte la deuxième caractéristique de l'entreprise scientifique, celle de l'objectivité des sciences, on souscrit à une position philosophique qui est aujourd'hui connue sous le nom de *réalisme scientifique*. On peut

caractériser cette position – et ainsi préciser l'idéal de l'objectivité – par les trois propositions suivantes (voir Psillos 1999, introduction, ainsi que Sankey 2002) :

- 1) *Proposition métaphysique* : l'existence et la constitution de la nature sont indépendantes des théories scientifiques. L'indépendance est à la fois ontologique et causale : l'existence et la constitution de la nature ne dépendent pas du fait qu'il y ait ou non des personnes qui développent des théories scientifiques. S'il y a des personnes qui développent des théories scientifiques, l'existence de ces théories ne cause pas l'existence de la nature ou sa constitution.
- 2) *Proposition sémantique* : la constitution de la nature détermine lesquelles des théories scientifiques sont vraies (et lesquelles ne sont pas vraies). Par conséquent, si une théorie scientifique est vraie, les objets que postule cette théorie existent et leur constitution rend vraie la théorie en question. Autrement dit, leur constitution est le vérificateur (« truth-maker » en anglais) de la théorie en question.
- 3) *Proposition épistémique* : les sciences sont, en principe, capables de nous donner un accès cognitif à la constitution de la nature. En d'autres termes, elles sont en mesure de produire des théories vraies ou approximativement vraies.

La première proposition est métaphysique, parce qu'elle porte sur l'être. Elle ne se prononce pas sur la question de savoir si oui ou non nous pouvons connaître cet être. Il faut évidemment préciser l'indépendance ontologique et causale qu'impose cette proposition afin de tenir compte des objets techniques. Par exemple, on peut dire qu'en créant des objets techniques comme par exemple des bâtiments, nous ne pouvons pas changer la constitution de base des objets naturels, n'effectuant que des réarrangements de la matière.

La deuxième proposition concerne uniquement la valeur de vérité de nos théories (être vrai, être faux). Il s'agit d'une condition sémantique. Cette condition n'implique pas que nous puissions établir la valeur de vérité de nos théories au sujet de la nature. Il faut faire une distinction entre la question sémantique de savoir ce qui fixe la valeur de vérité des théories et la question épistémique de savoir comment nous pouvons vérifier les théories.

La troisième proposition est épistémique, parce qu'elle concerne nos connaissances et leur justification. La force logique de ces propositions augmente donc : la troisième implique la deuxième et la première, la deuxième implique la première – l'inverse n'étant pas vrai. Ces trois propositions sont chacune nécessaires et ensemble suffisantes pour définir le réalisme scientifique.

La proposition épistémique (3) laisse ouverte la question de savoir dans quelle mesure nous disposons en fait des connaissances fondées. Il n'appartient pas à la définition du réalisme scientifique de trancher cette question.

Néanmoins, la plupart des réalistes scientifiques vont jusqu'à dire qu'il y a un progrès dans l'histoire des sciences modernes, au sens où nos théories scientifiques sont approximativement vraies et s'approchent de plus en plus de théories vraies et complètes sur le domaine en question, voire sur la nature en entier. Une théorie est *vraie* si et seulement si la nature se comporte comme le décrit et le prédit la théorie en question. Une théorie est *complète* si et seulement si elle n'omet pas de propriétés qui entrent dans son domaine. Par exemple, la théorie quantique n'est pas, pour l'instant, une théorie complète des propriétés physiques fondamentales parce qu'elle n'inclut pas la gravitation. Pour le réaliste scientifique, le but de la science est de dévoiler la constitution de la nature, et les théories scientifiques sont le seul moyen que nous soyons capables de développer pour atteindre ce but.

Le débat contemporain autour du réalisme scientifique porte en premier lieu sur la proposition épistémique (3). Le réalisme scientifique est une position ambitieuse : d'après lui, il n'y a pas de limite de principe à la connaissance de la constitution de la nature. Ce livre est consacré à la philosophie de la nature, c'est-à-dire à la métaphysique, et non pas à la théorie de la connaissance. On ne traitera donc pas du débat autour du réalisme scientifique dans ce livre (pour une introduction à ce débat, voir Esfeld 2009a, première partie).

1.3 Organisation du présent ouvrage

Ce livre se compose de trois parties comportant quatre chapitres chacune. La première partie (chap. 1 à 4) propose une exposition des positions initiales, physiques et métaphysiques, du débat en philosophie de la nature moderne : on y présente le paradigme des particules sur la base de la mécanique de Newton (chap. 2) et l'on fait connaissance avec les deux positions métaphysiques qui sont mises en avant en rapport avec ce paradigme (le dispositionnalisme et la métaphysique humienne, chap. 3 et 4). Dans la deuxième partie (chap. 5 à 8), on montre comment un problème interne au paradigme des particules provoqua une évolution qui mena au développement d'un autre paradigme, celui des champs, associé au nom d'Einstein, et l'on examine ses enjeux métaphysiques. Dans la troisième partie (chap. 9 à 12), on montre comment les problèmes de compréhension de la signification de la physique quantique mettent en cause aussi ce paradigme, et l'on cherche finalement à tisser ensemble les fils conducteurs physiques et métaphysiques exposés dans ce livre par rapport aux sujets du temps et des propriétés et lois physiques.

Puisque ce livre cherche à montrer comment physique et métaphysique sont entremêlées, j'ai inséré des chapitres concernant des sujets généralement considérés comme purement philosophiques – tel que celui de l'essence des propriétés et des lois – entre les chapitres retraçant le développement

de la physique des particules de Newton à la physique quantique, via la physique des champs d'Einstein. De plus, j'ai mis un accent particulier sur un sujet qui est considéré comme étant situé à mi-chemin entre physique et philosophie : celui de la nature du temps.

1.4 Résumé

L'enjeu de la philosophie de la nature est d'établir une métaphysique de la nature qui unisse les catégories philosophiques aux connaissances apportées par les théories scientifiques afin d'en dégager des propositions pour une vision d'ensemble de la nature. La philosophie de la nature se situe dans le cadre de la position philosophique aujourd'hui connue sous le nom de « réalisme scientifique ». On peut caractériser le réalisme scientifique par les trois propositions suivantes :

- *Proposition métaphysique* : l'existence et la constitution de la nature sont indépendantes des théories scientifiques.
- *Proposition sémantique* : l'existence ou la constitution de la nature déterminent lesquelles des théories scientifiques sont vraies (et lesquelles ne sont pas vraies).
- *Proposition épistémique* : les sciences sont, en principe, capables de nous donner un accès cognitif à la constitution de la nature.

1.5 Suggestions de lecture

Parmi les livres d'introduction à la philosophie des sciences en général, on peut retenir : Chalmers (1987), Kremer-Marietti (1999), Barberousse, Kistler et Ludwig (2000), Soler (2000), Andler, Fagot-Largeault et Saint-Sernin (2002), Couvalis (1997) (en anglais), Ladyman (2002) (en anglais) et Godfrey-Smith (2003) (en anglais). Pour un exposé sommaire, voir l'article de Boyer (2000).

Pour les anthologies en philosophie des sciences en général contenant des textes importants avec de brèves introductions, on peut mentionner Jacob (1980) et (1989), Laugier et Wagner (2004a) et (2004b), Barberousse, Bonnay et Cozic (2011), Boyd, Gasper et Trout (1991) (en anglais), Papineau (1996) (en anglais), Newton-Smith (2000) (en anglais), Clark et Hawley (2000) (en anglais), Marsonet (2002) (en anglais).

Pour la philosophie de la physique, on peut mentionner les livres d'introduction de Torretti (1999) (en anglais), Lange (2002) (en anglais) et Rickles (2008) (en anglais) ainsi que les anthologies de Butterfield et Earman (2007) (en anglais) et Esfeld (2012a) (en allemand).