

Une objectivité kaléidoscopique : construire l'image scientifique du monde

Pierre-Alain Braillard, Alexandre Guay, Cyrille Imbert & Thomas Pradeu

Philosophie no. 110, p. 46-71, été 2011

0. Introduction

Dans *Science, Perception and Reality*¹, Sellars distingue l'image manifeste de l'homme et l'image scientifique de l'homme. La première est obtenue à partir de la façon dont nous prenons conscience de nous-mêmes comme humains dans le monde. La seconde correspond à ce que les différentes sciences nous amènent à postuler sur la manière dont l'homme est constitué. Van Fraassen, lui, étend au monde ces concepts initialement élaborés pour décrire l'être humain². Dans cet article, nous discutons la façon dont on détermine quels sont les composants de l'image scientifique du monde.

Soulignons que nous parlons toujours de *représentations* dont on se demande si on peut les inclure dans une représentation générale du monde. Dans ce qui suit, un « objet » ou une « entité » désigne donc toujours une représentation. Nous n'utilisons jamais ce terme pour nommer les choses telles qu'elles peuvent être en soi (pour ces dernières, nous parlerons de « choses »). De même, les théories, modèles et comptes rendus d'expériences sont ici considérés comme des artefacts qui sont ou qui permettent de produire des représentations du monde.

Le physicien Eddington avait déjà souligné la différence entre le monde du sens commun et celui que décrit la science, à travers son exemple des deux tables³ : la table correspondant à notre perception habituelle, qui nous semble solide, stable, en un mot substantielle, diffère fortement de la table telle qu'elle est décrite par la physique moderne, qui est essentiellement constituée de vide. Néanmoins, dire que la science permet de produire l'image scientifique du monde ne nous renseigne nullement sur les objets qui la composent en un temps donné de l'histoire. Une question cruciale se pose alors : quels sont les objets qui à un moment donné composent l'image scientifique du monde ? Il s'agit d'une question philosophique à plus d'un titre. Premièrement, établir ce qu'est cette image est un préalable à tout projet métaphysique dans lequel on cherche à tenir compte sérieusement des énoncés scientifiques, que ce soit dans une perspective forte comme celle de Sellars, pour qui la science a un rôle prépondérant dans l'entreprise métaphysique⁴, ou encore dans

¹ W. Sellars, *Science, Perception and Reality*, Routledge, 1963.

² Van Fraassen, B.C. (1980) *The Scientific Image*, Oxford University Press.

³ A. Eddington, *The Nature of the Physical World*, Kessinger Publishing, 2005 (1929 pour l'édition originale).

⁴ W. Sellars (*op. cit.*, p. 173) écrit : « Dans sa dimension descriptive et explicative du monde, la science est la mesure de toute chose, de ce qui est en tant qu'il est et de ce qui n'est pas en tant qu'il n'est pas » (*notre traduction*).

une perspective plus modérée, qui se contente d'une compatibilité entre image scientifique et proposition métaphysique. Deuxièmement, déterminer de quelle façon on doit *construire* l'image scientifique du monde est également une question philosophique. Prendre acte du discours scientifique n'est en effet pas suffisant. « Le » discours scientifique fournit au mieux une multitude d'images scientifiques, celle du physicien théoricien, celle du biochimiste, celle du physiologiste, etc. La construction de l'image scientifique nécessite de déterminer ce que sont ces images partielles, mais aussi de se permettre parfois d'aller au-delà de leur interprétation littérale, et enfin de voir comment on doit intégrer ces différentes images à l'image globale. On trouve un exemple d'un tel travail dans les écrits de Quine. Ce dernier est connu pour avoir proposé un critère permettant d'identifier les entités vis-à-vis dans lesquelles une théorie scientifique s'engage : « Le problème est aujourd'hui plus clair que jadis, car nous avons maintenant une norme explicite pour décider dans quelle ontologie s'engage une théorie ou une forme de discours : une théorie est engagée pour les entités, et celles-là seules, que ses variables liées [par des quantificateurs existentiels] doivent avoir comme références possibles pour que les affirmations faites dans la théorie soient vraies »⁵. Quine défend donc la thèse selon laquelle l'ontologie est subordonnée aux assertions théoriques. Selon notre lecture, il fait, à sa manière, une proposition concernant la façon dont on doit identifier les composants de l'image scientifique du monde.

Notre article vise à étudier comment se construit l'image scientifique du monde. En cela, nous ne nous demandons pas quels objets particuliers devraient aujourd'hui être inclus dans l'image scientifique du monde, mais selon quelles procédures, à toute époque, cette image peut être construite, et comment peuvent être élaborés les objets qui en font partie. À cette question, la tradition philosophique a majoritairement répondu que les objets appartenant à l'image scientifique sont ceux dont parlent les théories scientifiques. Une position de ce type nous semble trop restrictive. De fait, les théories ne sont pas toujours formalisées et admettent souvent de multiples descriptions. L'insistance sur une lecture littérale des théories, que défend par exemple van Fraassen, ne règle que les cas les plus simples, où les théories sont exprimées dans un langage formel au sens de la logique. Dans cet article, l'un des aspects les plus importants de notre propos sera de montrer que les objets qui peuvent prétendre être inclus dans l'image ne sont pas exclusivement fournis par les théories et peuvent être construits à partir d'autres sources. Plus précisément, nous défendons la thèse selon laquelle les objets qui peuvent être candidats à une inclusion dans l'image scientifique du monde sont produits par différents modes d'objectivation,

⁵ W.V.O. Quine, *Du point de vue logique*, Paris, Vrin, 2003, p. 41.

l'un de ces modes reposant sur l'utilisation de l'expérience⁶. Les objets qu'on doit inclure dans l'image ne sont donc pas toujours construits en faisant appel aux seules théories.

Dans cet article, notre argumentation comporte deux étapes :

1) Tout d'abord, nous proposons la notion de *mode d'objectivation* pour décrire les démarches conceptuelles permettant de construire des objets susceptibles de faire partie de l'image scientifique. Nous présentons les deux modes principaux que nous avons identifiés (à savoir le mode théorique et le mode expérimental) et nous illustrons comment ces deux modes sont chacun utilisés dans les deux sciences empiriques que sont la physique et la biologie.

2) Dans un second temps, nous tirons une conséquence de l'existence de différents modes : s'il existe au moins deux modes d'élaboration des objets de l'image scientifique du monde, alors il est possible que, dans certains cas, il existe des conflits entre les objets que produisent ces deux modes, au sens où il ne serait pas logiquement possible d'inclure dans l'image scientifique les objets produits sous peine d'inconsistance. Nous montrons à partir de deux études de cas tirées de la physique et de la biologie qu'il en va effectivement ainsi et que des conflits similaires entre mode théorique et mode expérimental peuvent avoir lieu au sein de sciences aussi différentes que la physique et de la biologie. Pour finir, nous soulignons que le conflit n'est pas toujours tranché en faveur du mode théorique, ce qui légitime notre expression d'« objectivité kaléidoscopique ».

1. Comment construire l'image scientifique du monde à partir des sciences expérimentales?

Notre but est de déterminer comment l'image scientifique du monde est élaborée. Pour clarifier cette question, nous proposons d'abord de diviser schématiquement l'élaboration de cette image en quatre étapes logiquement distinctes :

1) Le point de départ est l'ensemble des entités qui composent l'image manifeste du monde, par exemple les chats, les maisons, mais aussi les sentiments ou les désirs. Une partie de ces entités peuvent ne pas être conservées dans les étapes ultérieures.

2) Le second ensemble correspond à toutes les entités que les scientifiques mentionnent dans leurs productions scientifiques et envers lesquelles ils ont un minimum d'engagement ontologique⁷. Appartiennent par exemple à cette classe les entités que les scientifiques posent de manière

⁶ Notre approche n'est pas sans rappeler celle de Harré, qui prend en compte la pratique scientifique : « Une entité existe si (mais pas seulement si) elle est le référent d'un acte public de démonstration et que les caractéristiques du référent satisfont le critère d'identification pour une entité de ce type » (R. Harré, *The Principles of Scientific Thinking*, The University of Chicago Press, 1970, p. 74, notre traduction). Comme nous le verrons, une « démonstration » réussie est, dans notre terminologie, une application appropriée de l'un des modes d'objectivation.

⁷ Les scientifiques peuvent parfois se référer à des entités de l'image manifeste du monde afin de mieux se faire comprendre, tout en considérant que ce n'est justement qu'une façon de parler.

hypothétique dans le cours de leur recherche, comme les gènes, les particules, les champs, etc. Il est à noter que des entités de l'image manifeste peuvent faire partie de cet ensemble. Certaines de ces entités seront conservées comme composants de l'image scientifique partielle produite par telle ou telle science, d'autres continueront à être considérées comme des entités opérationnelles. Cette étape n'est pas proprement philosophique, mais scientifique.

3) La troisième étape correspond à la sélection d'entités dont il est rationnel de considérer qu'elles peuvent être des composants de l'image scientifique partielle produite par une science particulière, voire de l'image scientifique globale du monde. Nous appelons « objets » les entités ainsi sélectionnées. Un objet est obtenu, comme nous le verrons, par l'application d'un mode d'objectivation. Bien que nous ne parlions que de l'image scientifique du monde et donc de représentations, l'utilisation d'un terme à caractère objectif, comme « objet », nous paraît ici justifié, car une image scientifique, même partielle, se veut une proposition ontologique sur ce que le monde en soi pourrait être (autrement dit sur les *choses* du monde). L'image scientifique est donc, dans ce sens limité, une façon de voir le monde, d'où notre utilisation d'un mot comme objet d'où notre utilisation du mot « objet ». Toutes les entités décrites à l'étape précédente n'en font pas partie, puisque souvent les scientifiques nomment des entités ou utilisent des variables purement opérationnelles pour simplifier leur travail. Cette étape consiste donc à identifier les objets scientifiques qui peuvent légitimement être *candidats* à l'intégration dans les images scientifiques partielles, puis dans l'image scientifique du monde. Différents objets peuvent souvent être candidats, car même dans le cas où l'on possède une seule théorie, l'objectivation peut être faite de plusieurs façons. S'il existe plusieurs formulations d'une théorie et si elles ne peuvent pas être unifiées dans une formulation plus large, l'application d'un mode d'objectivation peut ne pas donner un résultat unique.

4) La dernière étape, strictement philosophique, consiste à sélectionner, parmi les objets obtenus à l'étape précédente, ceux qui doivent finalement composer l'image scientifique globale, *cohérente* et peut-être *unifiée*, du monde. Nous réservons le terme de « composants de l'image scientifique » à ces objets. La sélection peut se faire en utilisant des critères ou des arguments comme l'abduction, la simplicité, l'économie, la cohérence, etc., le choix de ces critères ou arguments étant lui-même un objet de discussion philosophique. Cette dernière étape est cruciale, car une fois que l'on a pris en compte les objets obtenus à l'étape 3, il est fort possible qu'il existe des conflits ou, à tout le moins, des incohérences entre les différentes images locales et partielles produites par différentes disciplines, ainsi qu'entre les objets produits par l'application des différents modes au sein de ces disciplines (notre analyse permet de mettre en lumière ce dernier

point). Bien que notre article se concentre sur la troisième étape, la question de la résolution des conflits entre objets produits par différents modes (quatrième étape) sera abordée dans la section 4.

Notre article a donc pour objectif de recenser les différentes manières de sélectionner, mais aussi, dans certains cas, d'élaborer, à partir du matériel fourni par les différentes productions scientifiques, des objets susceptibles de faire partie de l'image scientifique du monde. Nous appelons ces manières des « modes d'objectivation ». Un mode d'objectivation est ainsi une méthode justifiée qui permet d'obtenir des objets distincts à partir des productions scientifiques. Ces productions sont aussi bien théoriques qu'expérimentales : théories et modèles, descriptions de dispositifs expérimentaux, rapports d'expérience (graphes, données, analyses statistiques de données), résultats de simulations, etc. Comme nous le verrons, la différence entre les modes réside notamment dans le type de justification qu'ils utilisent pour légitimer la possible inclusion de tel ou tel objet dans l'image. Appliquer un mode consiste à se demander : parmi toutes les entités dont parlent les scientifiques à une époque, quelles sont celles dont, en tant que philosophes, nous considérons qu'elles sont susceptibles d'être intégrées à l'image scientifique du monde ? Recourir aux modes permet de réaliser la *troisième* étape de l'élaboration de l'image scientifique du monde décrite ci-dessus.

Dans cet article, nous distinguons les deux modes d'objectivation dominants, qui correspondent à deux types de justification, par des arguments reposant principalement sur des théories (mode théorique) et par des arguments reposant principalement sur des expériences (mode expérimental). Nous défendons par ailleurs la thèse que ces deux modes d'objectivation apparaissent chacun dans deux sciences aussi différentes que la biologie et la physique (section 3). Dans sa description des sciences, la littérature philosophique postérieure à l'empirisme logique a marqué à juste titre la différence, autrefois négligée, entre physique et biologie. Cette tendance s'est néanmoins développée au point que les débats sur les questions traditionnelles de la philosophie des sciences ont maintenant presque disparu des discussions des philosophes de la biologie⁸. Contre cette tendance, nous essayons de montrer que la notion de mode d'objectivation est un concept transversal qui s'applique aussi bien en physique qu'en biologie, même si la façon dont les modes sont appliqués peut différer d'un champ à l'autre.

2. Images scientifiques partielles, image scientifique globale et unité de la science

⁸ Un bon exemple en est l'ouvrage de référence de philosophie de la biologie de K. Sterelny et P.E. Griffiths (*Sex and Death*, University of Chicago Press, 1999) dans lequel on chercherait en vain une discussion sur la question du réalisme, sur la nature des théories, sur le concept de loi, etc. Voir T. Pradeu, « Philosophie de la biologie » in A. Barberousse, D. Bonnay et M. Cozic (dir.), *Précis de philosophie des sciences*, Paris, Vuibert, 2010.

L'image scientifique globale est une production philosophique élaborée à partir des objets produits par les modes d'objectivation. Il est cependant important de noter que l'utilisation des modes d'objectivation n'est pas l'apanage des seuls philosophes. Ils sont en effet utilisés par les scientifiques quand ceux-ci produisent des images partielles de tel ou tel domaine de la réalité. Dans la plupart de leurs activités (faire des projets de recherche, produire des articles adressés aux revues d'un domaine, discuter entre théoriciens et expérimentateurs), les scientifiques ont besoin de parler du monde en partageant des représentations communes. Ils doivent donc, pour leur propre usage, produire des images scientifiques partielles adaptées à leurs activités et à leur domaine. Ces images partielles ne sont pas une production marginale de l'activité scientifique, mais sont réellement impliquées dans l'accomplissement des différentes fonctions scientifiques.

Tout d'abord, en effet, parler d'une entité de l'image manifeste sert dans certains cas de point d'appui à la comparaison des images scientifiques partielles. Par exemple, un physiologiste et un écologue pourraient voir un avantage à comparer leur représentation respective du sapin (entité de l'image manifeste), le premier amenant une perspective à l'échelle de l'organisme, des tissus ou des cellules, le second voyant l'arbre comme un élément dans un écosystème.

Ensuite, la production d'images partielles peut aussi permettre de tester la cohérence interne entre différentes branches d'une discipline. Par exemple, la représentation du vide produite dans le contexte de la physique des hautes énergies ne semble pas compatible avec celle qui est le résultat des recherches en cosmologie. Cette incohérence entre images est considérée comme un problème par les physiciens et peut être une incitation à chercher de nouvelles hypothèses permettant de produire une image plus unifiée.

Enfin, la production d'images partielles peut permettre l'indispensable collaboration entre des communautés différentes devant de fait s'associer pour pouvoir produire de nouveaux résultats, voire de nouvelles hypothèses. Ainsi les théoriciens, expérimentateurs et numériciens en physique des hautes énergies (CERN) doivent, à partir de cultures scientifiques en partie différentes, trouver un langage et une représentation communs pour pouvoir mener ensemble leur activité scientifique.⁹

La construction de l'image scientifique globale est, pour sa part, logiquement postérieure à l'activité scientifique. Cette construction est avant tout un travail philosophique, qui laisse une part non négligeable à la discussion argumentée. À ce titre, elle n'est pas nécessairement soumise aux mêmes critères de production et d'évaluation que les productions scientifiques. Comme nous l'avons vu, la production de l'image scientifique globale ne se fait pas à partir de rien. Les scientifiques sont les principaux producteurs des éléments qui peuvent à terme constituer cette

⁹ P. Galison, *How Experiments End*, The University of Chicago Press, 1987.

image, puisque, d'une part, en proposant des expériences, ou des théories, ils fournissent le matériau de base sur lequel opèrent les modes et, d'autre part, en produisant des images partielles, ils doivent eux-mêmes procéder à des objectivations – même si leurs critères sont ensuite purement internes à un domaine. Néanmoins, la production d'images partielles ne suffit pas. Certaines images partielles peuvent disparaître de l'image finale, si l'on considère qu'un domaine se réduit théoriquement à un autre. De plus, le philosophe a le droit de considérer que certaines images partielles ne sont pas satisfaisantes d'un point de vue global et donc de revenir lui-même aux théories sources afin de produire une nouvelle objectivation permettant d'obtenir un résultat plus cohérent. Par exemple, il n'est pas certain que l'image partielle produite par l'interprétation usuelle de la mécanique quantique¹⁰ (adoptée pour des raisons en partie historiques et contingentes) soit celle qui convienne le mieux aux philosophes. En effet, l'interprétation habituelle de la mécanique quantique ne définit pas de manière transparente et cohérente le concept de mesure, ce qui est d'ordinaire considéré comme inacceptable par les philosophes.

S'il existe des interprétations conflictuelles au sein d'une même science, peut-on vraiment espérer parvenir à construire une image du monde cohérente, et si possible unifiée, à partir de *plusieurs* sciences (physique et biologie par exemple), c'est-à-dire ce que nous appelons une « image globale » ? En effet, il n'est pas évident que, dans le cas où l'on réussirait à dégager une image cohérente et unifiée pour *chacune* des disciplines scientifiques, on parviendrait aussi à organiser le *tout* en une image cohérente et unifiée. La mise en commun au sein d'une même image d'une multiplicité de savoirs engendrés par des méthodes différentes devrait en effet *a fortiori* multiplier d'autant les possibilités de tensions et de conflits. À côté de la possibilité de conflits intra-disciplinaires quant aux composants des images partielles, il y a donc celle de conflits interdisciplinaires quant aux composants de l'image globale.

Cette question de l'unité de l'image scientifique globale du monde, n'est pas sans rapport avec celle de l'unité de la science, discutée au XX^e siècle dans le cadre du programme réductionniste des théories. Si l'on défend une forme ou une autre d'unité de la science, on sera enclin à admettre la possibilité d'une image scientifique unifiée. Par exemple, si l'on croit à l'unification théorique, c'est-à-dire à la possibilité d'une réduction de toutes les théories scientifiques à une ou des théories fondamentales, typiquement à celles de la physique, alors il semble naturel de construire l'image unifiée à partir de l'image partielle que nous donnent ces théories fondamentales.

Même si la question de l'unité théorique des sciences a des conséquences sur la façon dont on

¹⁰ Cette interprétation correspond pour l'essentiel à l'interprétation dite de Copenhague. Elle constitue une image car elle propose une ontologie compatible avec les équations de la mécanique quantique.

peut concevoir ce qu'est l'image scientifique globale du monde et ce que sont ses caractéristiques, nous n'avons nullement ici à prendre position sur cette question pour notre propos. L'existence d'une image globale est indépendante de la réponse que l'on adopte sur la question de l'unité de la science. Dans l'hypothèse où la biologie ou les sciences spéciales ne se réduisent pas à la physique, l'image globale est construite comme une mosaïque de sous-images indépendantes et juxtaposées correspondant à différents domaines et à différentes échelles, ce qui a pour conséquence d'éviter les conflits – sauf, bien sûr, dans les cas où il y a un recouvrement entre ces domaines, cas dans lesquels, à défaut d'une unification, un choix s'avère nécessaire afin de maintenir la cohérence de l'image.

Le projet d'élaboration d'une image scientifique du monde ne nous engage pas non plus à adopter une approche réaliste envers les sciences. Assurément, la construction d'une image du monde est un passage obligé pour le réaliste car elle lui permet de dire quelles choses du monde extérieur le discours scientifique découvre et désigne. Néanmoins, la question de l'élaboration de l'image est aussi pertinente dans le cadre de l'anti-réalisme, elle permet de cerner de façon précise ce que la science affirme du monde. En effet, le réaliste essaie non seulement de construire l'image scientifique globale du monde, mais aussi de s'engager sur la correspondance entre cette image et le monde. Or, on n'est nullement obligé de le suivre dans cette deuxième étape et l'on peut se contenter de constituer l'image scientifique sans s'engager ontologiquement sur la « réalité » des référents des composants de cette image.

Les modes d'objectivation sont donc des outils logiquement indépendants de la question du réalisme. On peut donc considérer la constitution de l'image comme faisant partie d'une *philosophie de la nature* au sens que Godfrey-Smith¹¹ donne à ce terme, c'est-à-dire une philosophie qui traite de l'image globale du monde que nous offre la science. Une philosophie de la nature peut très bien être proposée dans un cadre anti-réaliste.

3. Les modes d'objectivation

Comme nous l'avons déjà mentionné dans la section 1, le choix final des composants qui formeront l'image scientifique est fait à partir des objets sélectionnés ou construits par les modes d'objectivation. Nous décrivons dans cette section le mode théorique et le mode expérimental.

Le mode théorique repose sur l'utilisation de productions de la science déjà obtenues, à savoir les théories. Le mode expérimental repose pour sa part sur l'interaction avec le monde empirique, qui est le propre de l'expérimentation. Un mode d'objectivation se caractérise donc par un type de

¹¹ P. Godfrey-Smith, *Darwinian Populations and Natural Selection*, New York, Oxford University Press, 2009.

justification qui nous incite à considérer telles ou telles entités comme des objets susceptibles d'être intégrés à l'image scientifique du monde. Comme nous allons l'illustrer, une dose de création est nécessaire pour obtenir un objet à partir des matériaux scientifiques. Un mode n'est en effet pas associé immédiatement à un type d'objet particulier. De plus, les entités qui sont objectivées ne sont pas nécessairement identifiées littéralement dans le discours scientifique (théories ou comptes rendus d'expérience). Ce dernier peut n'être utilisé que comme une contrainte sur les objets possibles. Dans ce qui suit, nous décrivons les deux modes d'objectivation qui nous paraissent largement dominer en physique et en biologie.

Le mode théorique

Le mode théorique consiste à construire des objets à partir des formulations des théories. Par « théories », nous entendons des productions langagières privilégiées pour exprimer de manière synthétique les connaissances dans les sciences naturelles et qui sont fondées sur des principes généraux et/ou des lois. S'appuyer sur les théories scientifiques pour produire une image scientifique cohérente et unifiée semble raisonnable. En effet, les théories sont d'ordinaire considérées comme ce sur quoi les explications scientifiques doivent reposer. De plus, elles organisent en un tout cohérent un ensemble de phénomènes souvent en apparence hétérogènes, ce qui les rend à même de produire une description cohérente du monde.

Comme nous l'avons déjà mentionné, pour élaborer une image même partielle, une lecture littérale des théories n'est souvent pas suffisante. En fait, les seules contributions directes des théories à l'image scientifique du monde semblent être négatives, au sens où une théorie exclut implicitement de l'image toutes les entités incompatibles avec elle. Prenons l'exemple de la théorie de la relativité restreinte. Il n'est nullement évident de savoir si cette théorie décrit des relations spatio-temporelles entre choses (thèse relationniste) ou bien la structure d'une chose particulière, à savoir l'espace-temps (thèse substantialiste). En revanche, on peut affirmer avec certitude que cette théorie est incompatible avec toutes les conceptions classiques d'espace-temps newtoniens, c'est-à-dire des espaces-temps où le temps et l'espace sont des dimensions disjointes et où il existe un référentiel privilégié (celui qui est immobile par rapport à l'espace) par rapport auquel les mesures du mouvement peuvent être considérées comme absolues¹².

La possibilité d'une contribution positive des théories à l'image scientifique du monde semble souvent compromise par la diversité des formulations de ces mêmes théories. Il existe rarement *une* formulation unique et unanimement acceptée d'une théorie scientifique. C'est pourquoi l'approche

¹² Pour plus de détails, voir J. Earman, *World Enough and Space-Time*, MIT Press, 1989, chapitre 2.

ontologique de Quine, décrite ci-dessus, connaît des difficultés. Par exemple, on peut formuler la mécanique classique de façon globale, en utilisant le principe de moindre action, ou de manière locale, en utilisant la notion de champ de force. Selon la formulation que l'on choisit, la théorie, prise littéralement, semble conduire à l'obtention d'objets différents, même si le contenu empirique des deux formulations est en fait identique. Face à cette difficulté, deux voies sont envisageables pour qui tente d'établir quels sont les composants potentiels de l'image scientifique du monde¹³ : la réification et le structuralisme. Illustrons ces deux voies par la théorie de l'électromagnétisme (ici identifiée aux équations de Maxwell).

La première stratégie est celle de la réification. Elle consiste à objectiver certaines entités que semble décrire la théorie. En l'occurrence, on peut défendre l'idée que les champs de vecteurs présents dans les équations de Maxwell réfèrent à un champ physique, le champ électromagnétique. Le processus de réification, pour ne pas être arbitraire, doit répondre à certaines conditions. En effet, pour être convaincante, une réification doit se fonder sur l'invariance des entités réifiées par des transformations jugées scientifiquement significatives. Hermann Weyl¹⁴ soutient ainsi que ce qui est objectif dans une description scientifique est ce qui est invariant relativement à toute transformation du groupe d'automorphismes de l'espace-temps. Par exemple, la description de ce qui est obtenu par réification doit se transformer d'une manière appropriée, soit par invariance soit par covariance, selon le contexte¹⁵. Dans notre exemple, le champ électromagnétique (représenté par le tenseur de force) est covariant par une transformation de référentiel inertiel, ici un changement du système de représentation. Il faut néanmoins noter que de telles contraintes d'invariance permettent rarement d'identifier un objet de manière univoque ; des arguments supplémentaires sont nécessaires pour cela. Dans notre exemple, il faut ajouter que le champ électromagnétique est l'objet le plus approprié pour maintenir un principe de conservation locale de l'énergie.

La deuxième stratégie est celle du structuralisme. Plus agnostique ontologiquement, elle consiste à affirmer que les équations de Maxwell décrivent (au moins partiellement) la forme ou la structure d'un ou de plusieurs objets inconnus. Cette approche suppose que les théories scientifiques décrivent essentiellement des relations, processus ou structures, c'est-à-dire qu'elles ne nous

¹³ B.C. Van Fraassen, « Structure : Its Shadow and Substance » *The British Journal for the Philosophy of Science* 57, 2006, p. 275-307.

¹⁴ H. Weyl, *Symmetry*, Princeton University Press, 1952, p. 132.

¹⁵ Dans les cas qui nous occupent « invariant » signifie qui ne change pas sous transformation, tandis que « covariant » signifie « qui change de telle sorte que les relations avec une autre ou d'autres quantités demeurent inchangées ».

informent pas directement sur la nature des choses physiques¹⁶. Deux types d'arguments militent en faveur de cette approche : 1) On peut défendre que l'acte de mesurer en science est avant tout la mise en évidence de relations¹⁷. Une mesure n'est jamais que le rapport entre une quantité et une autre et, d'un point de vue cognitif, nous ne pourrions donc appréhender que des structures ou des relations. 2) Le langage mathématique, qui est au cœur de nombreuses théories scientifiques, n'est capable de décrire des entités qu'à un isomorphisme près. Le discours théorique de la science seule ne pourrait nous permettre d'aller, de manière justifiée, au-delà de ce qui est structurel¹⁸. Dans cette approche, la difficulté est *seulement* de donner des arguments permettant d'identifier la bonne structure.

Il faut noter que les deux approches (réification justifiée par des invariances et structuralisme) permettent à leur façon de répondre au problème posé par la multiplicité des formulations des théories. En définitive, malgré la diversité des formulations, on peut admettre la possibilité d'une contribution positive des théories à l'image, mais une analyse conceptuelle fine des théories est nécessaire pour cela. On doit en effet à la fois identifier le cœur commun au sein des différentes formulations empiriquement équivalentes et avoir souvent recours à des considérations extra-théoriques, par exemple si on élabore des arguments métaphysiques à partir des notions de causalité ou de localité.

Le mode théorique existe également dans des disciplines qui, comme la biologie, ne possèdent pas un discours aussi formalisé que celui de la physique contemporaine. L'exemple de la théorie de l'évolution par sélection naturelle (TESN) l'atteste. Cette théorie se donne pour objectif de comprendre pourquoi et comment des espèces évoluent. Comme l'a montré Richard Lewontin¹⁹ dans un article fondateur sur les unités de sélection, le noyau de la théorie de l'évolution par sélection naturelle peut être exposé comme suit : une population d'individus évolue par sélection naturelle si et seulement si les trois propositions suivantes sont vérifiées :

1. Différents individus dans la population ont des morphologies, des physiologies et des comportements différents (*variation phénotypique*).
2. Des phénotypes différents ont des taux de survie et de reproduction différents dans des environnements différents (*valeur adaptative différentielle*).

¹⁶ Une telle approche structuraliste est souvent attribuée à Poincaré. Voir à ce sujet E. Zahar, *Poincaré's Philosophy: From Conventionalism to Phenomenology*. Carus Publishing, 2002.

¹⁷ H. Krips, *The Metaphysic of Quantum Theory*, Oxford University Press, 1987.

¹⁸ Il faut noter que cette seconde raison ne s'applique pas aux sciences dont les théories ou modèles ne sont pas mathématisés, comme peut l'être, par exemple, une vaste partie des théories en biologie. Voir P. Godfrey-Smith, « The strategy of model-based science » *Biology and Philosophy* 21, 2006, 725-740.

¹⁹ R. Lewontin, « The Units of selection » *Annual Review of Ecology and Systematics* 1, 1970, 1-18.

3. Il existe une corrélation dans la contribution des parents et des enfants aux générations futures (*hérédité de la valeur adaptative*)²⁰.

Le noyau de la TESN affirme donc que toutes sortes d'entités sont susceptibles d'évoluer par sélection naturelle, à condition seulement de respecter ces trois principes. En particulier, on constate qu'aucun mécanisme d'hérédité n'est spécifié, seule est requise une corrélation entre la valeur adaptative des parents et celle de leurs descendants. Ainsi, la TESN peut être formulée de manière abstraite, sans mention des organismes – sur lesquels pourtant elle portait initialement. Le noyau de la TESN nous donne seulement des conditions nécessaires et suffisantes pour qu'une population d'entités évolue par sélection naturelle. Il existe donc une très grande diversité d'« individus évolutionnaires » potentiels, c'est-à-dire d'entités biologiques sur lesquelles peut s'exercer la sélection naturelle. Il peut s'agir de tout organisme (animaux, plantes, champignons, bactéries...), mais aussi d'espèces tout entières, de groupes, etc., ou encore d'entités microscopiques (cellules, mitochondries, plastes). On peut même aller au-delà de ce qu'on appelle généralement « le vivant » en appliquant la TESN à la *culture*. Par exemple, Richard Dawkins²¹ a proposé d'interpréter la transmission d'idées (les *mêmes*) à l'aune de la TESN. Il est, bien entendu, possible d'exprimer des réserves sur ce projet, mais il ne s'oppose pas en droit à la structure logique de cette théorie²².

On trouve dans les travaux de David Hull une autre manière de circonscrire et de caractériser les entités impliquées dans les processus évolutifs²³. Il propose de distinguer entre deux types d'entités. Le terme *réplicateur* désigne toute entité qui transmet sa structure directement lors d'un processus de réplication. Le terme *interacteur* désigne toute entité qui, en tant que tout cohésif, interagit directement avec son environnement de telle façon que la réplication est différentielle.

La proposition de Hull distingue des entités théoriques, les réplicateurs et les interacteurs, mais ne précise pas ce qui remplit ces rôles. Nous avons vu que la TESN pose qu'il y a hérédité de la valeur adaptative, ce qui amène à poser comme objets les réplicateurs. De même, la théorie exige l'existence d'une valeur adaptative différentielle, qui se situe au niveau des interacteurs. Les notions d'interacteur et de réplicateur sont donc définies par leur fonction dans un processus identifié par la théorie. On peut même envisager toute une hiérarchie d'interacteurs et de réplicateurs et considérer que la sélection peut jouer à plusieurs niveaux²⁴. Dans ce contexte, tous les réplicateurs et les

²⁰ Pour un compte rendu critique sur l'ensemble de ce projet, voir P. Godfrey-Smith (2009), *op. cit.*

²¹ R. Dawkins, *The Selfish Gene*, Oxford University Press, 1976. Traduction française *Le Gène égoïste*, Paris, Odile Jacob, 2003.

²² Pour une autre approche, voir D. Sperber and N. Claidière, « [Why Modeling Cultural Evolution Is Still Such a Challenge](#) » *Biological Theory* 2006 1(1), p. 20-22.

²³ D. L. Hull, « Individuality and Selection » *Annual Review of Ecology and Systematics* 11, 1980, p. 311-332.

²⁴ R. Brandon, « The Levels of Selection: A Hierarchy of Interactors », in H. Plotkin (ed.) *The Role of Behavior in Evolution*, MIT Press, 1988, p. 51-71.

interacteurs sont alors à inclure dans l'image scientifique du monde.

On voit donc qu'il y a différentes façons de formuler la structure ontologique de la TESN, ce qui explique la persistance de nombreux débats à ce propos. Quoi qu'il en soit, retenons que, comme nous l'avons vu en physique, il est possible de procéder à différentes objectivations à partir d'une théorie biologique, en l'occurrence la TESN.

Le mode expérimental

Le mode expérimental consiste à construire des objets à partir des résultats de multiples manipulations expérimentales et de leur interprétation. Plus précisément, ce mode consiste à réifier un ensemble structuré de propriétés relativement stables découvertes et retrouvées à travers une succession d'expériences distinctes. Ainsi, l'objet électron est construit à travers une telle succession en considérant que le terme « électron » représente le X possédant des propriétés intrinsèques $P_1, \dots, P_n$ permettant d'expliquer au mieux les chaînes causales ou les corrélations observées lors de ces mêmes expériences.

Conférer à l'expérience un rôle distinct dans la constitution de l'image scientifique revient à s'inscrire en faux contre des positions donnant une place exclusive aux théories dans la description du monde et donnant à l'expérience le seul rôle de falsifier ou de confirmer les théories et leur contenu scientifique²⁵. Notre but n'est pas ici de réévaluer le rôle clef de l'expérience, ce qui a déjà été fait par des historiens des sciences²⁶. Notre thèse est que, dans le mode expérimental, les objets de l'image sont obtenus de manière relativement directe et singulière à partir des résultats empiriques. Dans le mode théorique, à l'opposé, les objets sont obtenus à partir de constructions générales et unificatrices (les théories) sélectionnées par l'expérience, mais ces objets, pris individuellement, n'auraient parfois jamais été construits sur la base de l'expérience seule. Examinons rapidement les arguments principaux en faveur de cette thèse.

On peut d'abord remarquer, à la suite de Hacking ou Galison, que, d'une façon générale, les expériences possèdent une vie propre, c'est-à-dire que, du fait de l'indépendance de leurs procédures, de l'existence de nombreuses lois expérimentales en attente de théories, du développement indépendant des appareils de mesure, etc., elles possèdent une certaine autonomie par rapport aux théories²⁷.

²⁵ L'une des références classiques défendant l'autonomie relative de l'expérience est I. Hacking, *Representing and Intervening*, Cambridge University Press, 1983.

²⁶ Par exemple voir L. Daston et P. Galison, « The image of objectivity » *Representations* 40, 1992, p. 81-128 à propos de l'objectivité expérimentale et P. Galison, 1987, *op. cit.* sur l'autonomie relative des procédures expérimentales.

²⁷ Voir I. Hacking (*op. cit.*) chapitre 9 pour le détail de ces arguments.

On peut également noter que, même dans un domaine où la théorie occupe le devant de la scène (par exemple la dynamique des fluides où on considère souvent que la théorie générale est identifiée), on ne retrouve jamais par l'analyse théorique la riche diversité des phénomènes qu'on découvre par l'expérience. Cela peut être dû à la complexité des phénomènes étudiés, aux limites du pouvoir de calcul, aux difficultés à modéliser et simplifier le système ou encore à localiser les causes précises de certains effets, à la nécessité d'une médiation par des modèles intermédiaires entre théories et expériences, etc. Tout cela fait que, dans de nombreux cas, il est besoin de modèles qui servent de médiateurs entre l'expérience et la théorie, ce qui atteste de l'autonomie au moins partielle de l'expérience.²⁸

La relative indépendance des procédures est manifeste en ce qui concerne certaines entités de base, comme les électrons, dont on se sert dans nos appareils de mesure. La possibilité des expériences s'enracine dans notre capacité à manipuler ces entités, étalonner leurs propriétés expérimentalement et sur le fait que l'on connaisse leur comportement dans des situations complexes. Nous ne prétendons ici nullement que l'électron n'est pas également une entité mentionnée et décrite par nos théories. La connaissance que nous avons de cette entité est fortement théorique. Mais la calibration de nos appareils et l'établissement des propriétés des électrons dans des situations complexes sont en général des opérations qui vont bien au-delà de ce que nous pouvons établir théoriquement. De plus, même si nos théories de l'électron finissent par changer, l'électron restera un invariant expérimental (correspondant à l'entité électron expérimental avec ses propriétés expérimentalement établies) qui demeurera en tant que tel inchangé. Et c'est sur cet invariant que se fonde la technologie actuelle des microscopes utilisant l'électron. Les entités ainsi posées sur la base de l'expérience sont ainsi plus résistantes au changement historique que leur image théorique correspondante. Comme le défend Peter Galison : « les résultats expérimentaux ont une obstination qui n'est pas aisément annulée par un changement théorique. Et c'est cette solidité face aux conditions changeantes, qui impressionne les expérimentateurs – même quand ils sont en désaccord. »²⁹ En d'autres termes, les résultats expérimentaux sont relativement robustes par rapport aux changements théoriques, ce qui justifie l'utilisation du mode expérimental.

Le fait de devoir insérer dans l'image scientifique du monde des objets construits grâce à l'expérience ne nous informe pas pour autant sur les critères spécifiques qui doivent être employés pour parvenir à ces objets. Pour cela, des arguments supplémentaires sont nécessaires. L'un de ces

²⁸ M. Morgan et M. Morrison (éd.), *Models as Mediators*, Cambridge University Press, 1999.

²⁹ P. Galison (*op. cit.*), p. 259 (notre traduction).

critères semble être la manipulabilité³⁰. L'électron, qui joue un rôle clef dans le fonctionnement du microscope à effet tunnel, ou les enzymes de restriction, qui sont utilisés comme outil en génie génétique, ne peuvent se voir attribuer le même statut dans l'architecture de nos discours scientifiques qu'une entité postulée pour expliquer des observations expérimentales n'impliquant pas une manipulation. La stabilité forte que requiert la manipulabilité justifie cette confiance. Par exemple, dans le cas des électrons, le fait qu'on puisse les projeter, les focaliser, les polariser, etc. nous amène à les considérer comme des objets.

D'autres critères d'objectivation expérimentale existent, mais leur identification nécessiterait des travaux plus poussés. On peut néanmoins citer l'étude de Peter Galison³¹ sur le domaine plus restreint de la microphysique expérimentale. Galison distingue notamment deux traditions expérimentales dans ce domaine. Dans la tradition homomorphique, l'objectif est de produire des représentations (souvent des photographies) dans lesquelles on identifie de façon récurrente des formes, qui sont presque toujours attribuées à l'action d'une entité causalement efficace. La seconde tradition est l'homologique qui s'appuie sur l'enregistrement d'événements ponctuels et sur l'usage des statistiques, dans le but d'identifier des relations logiques récurrentes entre ces événements³². Ces traditions sont bien une illustration du mode expérimental car l'identification de formes ou de structures se fait sur la base de données expérimentales et de pratiques développées en partie indépendamment des théories.

Nous avons illustré l'application du mode expérimental dans le cadre de la physique. Voyons maintenant son application dans une sous-discipline importante de la biologie, la biologie moléculaire. Différents philosophes ont montré que la biologie moléculaire pouvait être conçue dans un cadre mécanistique³³. Celle-ci, en effet, étudie des mécanismes particuliers dans des organismes particuliers, en ayant recours à différentes approches expérimentales, avec comme but de construire un ou des modèles de ces mécanismes. En conséquence, la biologie moléculaire se fonde sur les techniques expérimentales et la manipulation plutôt que sur des propositions théoriques.

Prenons l'exemple de la transcription, qui est la première étape de l'expression des gènes. Ce mécanisme a d'abord été étudié chez les bactéries, puis chez d'autres organismes, des plantes à

³⁰ I. Hacking, *op. cit.*, chapitre 16. Hacking utilise ce critère pour défendre un réalisme des entités, en contraste avec un réalisme des théories. Nous restons pour notre part agnostiques sur la question du réalisme, mais croyons tout de même à la pertinence du critère de la manipulabilité.

³¹ P. Galison, *Image and Logic*, The University of Chicago Press, 1997.

³² Il est à noter que, dans la microphysique actuelle, ces deux tendances ont fusionné, en grande partie à cause de l'usage systématique de l'ordinateur et du développement de nouveaux instruments.

³³ Voir le numéro spécial de la revue *Studies in History and Philosophy of Biological and Biomedical Sciences* sur les mécanismes en biologie, coordonné par Carl Craver et Lindley Darden (numéro 36, 2005).

l'homme. On sait maintenant qu'il existe une assez grande variabilité dans le mécanisme de la transcription d'une espèce à l'autre, mais qu'il est néanmoins possible d'en proposer un schéma général. Ce dernier décrit comment une protéine nommée ARN polymérase synthétise un brin d'ARN complémentaire à partir d'une certaine séquence d'ADN. Ce processus commence par l'attachement d'un complexe de protéines (complexe d'initiation) à une région de l'ADN appelée promoteur. La formation de ce complexe peut être régulée positivement ou négativement par des protéines appelées facteurs de transcription qui s'attachent à des régions régulatrices de l'ADN. Du fait que la plupart de ces objets sont définies fonctionnellement, ce schéma général est valide, bien que ses manifestations particulières puissent varier de manière importante.

Selon l'approche mécanistique qui domine la biologie moléculaire, les biologistes essaient d'expliquer un phénomène en postulant des entités qui, par leurs propriétés et leurs activités, produisent ce phénomène. Dans ces modèles, les entités sont décrites fonctionnellement c'est-à-dire qu'elles sont identifiées à partir de l'analyse de systèmes perturbés. En effet, c'est souvent en modifiant ou en supprimant expérimentalement un composant et en examinant les effets de cette perturbation sur le fonctionnement du système que l'on infère la fonction de ce composant. En outre, c'est souvent la convergence de plusieurs approches expérimentales qui nous amène à considérer comme légitime la postulation d'une entité particulière. Par exemple, un facteur de transcription peut être isolé en partie grâce à des analyses génétiques et ses propriétés être données par des études biochimiques et physiques, comme la détermination *in vitro* de constantes d'affinité ou la détermination de sa structure tridimensionnelle par cristallographie. Pour résumer, ce serait ainsi la convergence de plusieurs approches expérimentales qui nous permettrait d'obtenir nos objets dans le cadre de la biologie moléculaire³⁴. Les modèles de la biologie moléculaire sont en général issus d'un processus constant de comparaison avec les résultats expérimentaux et, contrairement à la physique, peu de travail théorique est fait en restant au niveau des principes et des modèles généraux. Dans l'état actuel des recherches, on semble donc toujours être totalement dépendant du mode expérimental pour parvenir aux objets susceptibles de faire partie de l'image que l'on peut dériver de la biologie moléculaire.

L'identification des modes d'objectivation majeurs, à laquelle nous avons procédé dans cette section, présente un double intérêt philosophique. Elle permet d'abord de clarifier la façon dont est obtenue l'image scientifique du monde et ce qu'est son contenu. Cela est un travail philosophique important, non seulement pour la philosophie des sciences mais également dans toutes les discussions politiques ou éthiques dans lesquelles on a besoin de prendre acte de ce que la science

³⁴ M. Weber, *Philosophy of Experimental Biology*, Cambridge University Press, 2004, p. 286.

dit du monde. De plus, l'analyse au moyen des modes d'objectivation permet de mieux saisir certains aspects communs (méthodologiques, épistémologiques ou ontologiques) aux différentes disciplines. Par exemple, avoir montré que les discussions concernant ce que dit la TESN sur les objets biologiques ont davantage à voir avec les discussions que l'on retrouve dans le cadre des théories les plus mathématisées de la physique qu'avec les discussions sur ce que dit la physiologie à propos du monde est un résultat important de notre argumentation.

4. Conflits en physique et en biologie

Si notre analyse à propos de la notion de mode d'objectivation est correcte, alors il doit y avoir des cas dans lesquels les modes entrent en conflit quant à l'inclusion d'objets dans l'image scientifique du monde. Ces cas sont particulièrement significatifs philosophiquement, car ils attestent l'indépendance des différents modes. Par ailleurs, le fait que le conflit rencontré ne soit pas aisément résolu atteste également que ces modes indépendants ont chacun leur légitimité et leur robustesse. Dans cette section, nous montrons que des tels conflits existent. Nous présentons pour cela des objectivations faites à partir de modes différents et montrons comment elles entrent en conflit.

Un tel conflit peut essentiellement survenir quand, au sein des recherches d'une même discipline, on obtient des images partielles incompatibles, lorsqu'on applique tour à tour les deux modes d'objectivation. Cette situation se rencontre en physique et en biologie, comme nous allons le montrer à présent, en explicitant deux cas de figure où le mode théorique et le mode expérimental entrent en conflit lorsque le philosophe cherche à construire l'image scientifique du monde.

Nous avons choisi le cas de la particule comme illustration d'un conflit entre modes en physique³⁵. Cette entité est souvent incluse dans l'image scientifique du monde et, pour cette raison, il s'agit d'un cas particulièrement approprié pour discuter des problèmes que peut susciter son inclusion dans l'image scientifique. Nous verrons que l'application du mode théorique exclut la présence de particules dans l'image scientifique, tandis que l'application du mode expérimental amène à être moins catégorique et même tend à militer pour leur inclusion.

Le meilleur cadre théorique que nous possédons pour modéliser les événements microscopiques est la mécanique quantique relativiste, plus souvent appelée théorie quantique des champs (TQC)³⁶. C'est dans ce cadre que s'insèrent les modèles particuliers (comme le modèle standard) qui

³⁵ Cette sous-section reprend plusieurs arguments de A. Guay, « Appareil, image et particule » in J.-L. Déotte, M. Froger et S. Mariniello (dir.), *Appareil et Intermédialité*, Paris, L'Harmattan, 2007, p. 97-120.

³⁶ Nous mettons ici de côté des théories plus récentes, comme celle des supercordes, car elles n'ont pas encore une assise empirique aussi solide que la TQC.

représentent tels ou tels domaines. C'est un cliché de dire que la physique quantique est remarquablement difficile à interpréter et ce même pour les spécialistes. Les implications métaphysiques de cette théorie sont loin d'avoir toutes été clarifiées. Dans les modèles de TQC, on quantifie des théories de champs classiques, autrement dit des théories où les objets sont des champs. Un processus de quantification est une série de règles formelles qui, appliquées à une théorie non quantique (classique), nous permet d'obtenir une théorie quantique décrivant le même domaine physique. Une théorie de champs n'étant pas une théorie de particules, on pourrait être tenté d'arrêter ici la discussion. Néanmoins, comme le fait remarquer Michael Redhead, une théorie de champs peut très bien avoir toutes les conséquences empiriques (et donc les apparences) d'une théorie de particules.³⁷ Une description en termes de champs permet en effet d'obtenir des représentations reproduisant le phénomène de localisation des particules. On ne peut donc exclure, à cette étape-ci, que l'ontologie d'une théorie particulière des champs soit en fait une ontologie de particules.

L'apport positif du mode théorique à l'image s'avère, sur cet exemple, limité. Sa contribution négative est en revanche indiscutable. La mécanique quantique relativiste donne ainsi de solides arguments pour exclure les particules de l'image scientifique du monde. Ces arguments prennent en général la forme de théorèmes. Par exemple, Malament et Hegerfeldt proposent un argument fondé, entre autres, sur la prémisse suivante : l'énergie de tout système a une borne inférieure³⁸. Renoncer à cette prémisse impliquerait que l'on puisse extraire une quantité d'énergie infinie d'un système. D'autres prémisses, inspirées de la relativité restreinte, sont associées à des symétries de l'espace-temps auxquelles on se verrait mal renoncer. De ces prémisses et de la théorie de la mécanique quantique relativiste, on déduit une conséquence qui est incompatible avec une ontologie de particules. Le point à retenir de tous ces théorèmes est que pour soutenir à la fois la validité de la mécanique quantique relativiste *et* une ontologie de particules nous sommes forcés de renoncer à des principes fondamentaux, par exemple, à la structure relativiste de l'espace-temps. Il paraît donc plus raisonnable de renoncer aux particules.

À la lumière de la sous-section précédente, on est en droit de douter de la possibilité de justifier l'inclusion des particules dans l'image scientifique. Cependant, une étude fine de la microphysique expérimentale montre que les choses ne sont pas aussi simples. À son apogée, l'approche homomorphique (voir section 3 ci-dessus), identifiée par Galison, a produit des images (i.e. des

³⁷ M. Redhead, « A philosopher looks at quantum field theory », in H.R. Brown et R. Harré (eds.), *Philosophical Foundations of Quantum Field Theory*, Oxford University Press, 1988, p. 9-23.

³⁸ H. Halvorson et R. Clifton, « No Place for Particles in Relativistic Quantum Theories » *Philosophy of Science* 69, 2002, p. 1-28.

photographies) de chambre à bulle censées représenter des trajectoires et des interactions de particules, appelées cascades d'événements. Une chambre à bulles contient un liquide maintenu juste à la limite du passage à la phase gazeuse. Tout dépôt d'énergie engendre une bulle. Les traces que l'on y voit sont donc constituées d'une multitude de petites bulles photographiées à un instant donné. L'organisation spatiale des bulles suggère fortement qu'elles sont des trajectoires, c'est-à-dire qu'une suite contiguë de bulles serait le résultat du passage d'une entité localisée (particule). De plus, sachant que la chambre est plongée dans un champ magnétique, la courbure des trajectoires nous donne des indications sur le rapport charge/masse de ces particules. Si l'on compile ces photographies et qu'on les analyse, on constate qu'il y a un nombre fini de types de particules ~~directement~~ détectables de cette façon. Un monde de particules en interaction est ainsi le produit-image de cette approche. Il est ensuite demandé à la théorie de nous renseigner d'avantage sur ces particules via une modélisation de leurs interactions.

Dans le contexte de l'approche homologique, en revanche, on met en évidence la corrélation entre deux ou plusieurs quantités ou paramètres. On peut, bien entendu, interpréter certains résultats en termes de particules mais ce n'est pas nécessaire. En ne visant pas à montrer directement la forme des choses, cette approche rompt avec une vision naïve de la physique expérimentale. De pures structures de relations sont ainsi le produit-image de cette approche. Le positivisme triomphant qui se dégage de la tradition homologique est néanmoins trompeur. En effet, depuis les années 1990, les deux traditions homomorphique et homologique ont fusionné. Aujourd'hui, les travaux expérimentaux contiennent des éléments homologiques et des éléments homomorphiques. Ces travaux sont souvent, dans ce contexte, des *reconstructions* par ordinateur d'événements. Les données expérimentales sont, dès leur production, sous forme numérique. Il n'y a pas, à proprement parler, de préservation de la forme comme dans le cas d'une photographie. Les algorithmes de reconstruction imposent, au moins partiellement, une forme. Dans le domaine qui nous occupe, on reconstruit les données en provenance de la chambre à fils comme des trajectoires car cette méthode semble efficace pour isoler des particuliers et les caractériser. Contrairement à l'approche homomorphique où les particules semblaient être induites de l'expérience, ici, l'ontologie de particules est projetée sur l'expérience dans le but d'organiser logiquement le flux de données. La réussite de cette projection s'expliquerait par la validité de l'hypothèse d'inclusion des particules, mais cela n'est pas la seule explication possible.

Face à cette apparente incohérence quant aux objets obtenus par l'application des modes théorique et expérimental en ce qui concerne les particules, trois attitudes, pas nécessairement exclusives, nous semblent envisageables : soit on considère que le conflit n'est qu'apparent, soit on

désubstantialise la physique et on change radicalement son cadre ontologique, soit on brise le rapport homomorphique que sont supposés avoir les résultats expérimentaux avec le réel. Voyons ces options un peu plus en détail.

i) Le conflit pourrait avoir pour source le fait même de vouloir construire une image à partir des théories. Par exemple, pour un instrumentaliste, le conflit est dissous si on considère que les théories physiques ne réfèrent pas, même hypothétiquement, à des choses du réel. Dans ce cas, le problème de la particule serait une illusion. Ainsi, si la théorie fait référence à des processus ou à des actions, le conflit pourrait n'être qu'apparent et la discussion serait close. Ce serait donc ces dernières entités qu'il faudrait inclure dans l'image scientifique du monde.

ii) Si l'on considère que la théorie a tout de même quelque chose à dire sur le contenu de l'image scientifique du monde, alors une désubstantialisation de la physique semble nécessaire. L'expérimentateur n'identifierait pas des choses présentes dans le réel mais les construirait de toutes pièces. Les structures théoriques mises en évidence par l'application du mode théorique devraient aussi être interprétées de même. Une telle position nous obligerait à réviser nos croyances sur le type d'objet appartenant à l'image du monde. En effet, même si notre connaissance physique des entités de moyenne grandeur (chaises, planètes, etc.), obtenue par exemple à partir de la mécanique classique, peut nous pousser à croire que nous devons les considérer comme des objets de l'image scientifique du monde, la mécanique quantique, qui ne réfère pas à de telles entités, nous obligerait à réviser cette croyance et à considérer qu'elles n'en font pas partie. Dans cette option, on reconnaît donc que le conflit ne peut être dissous et on tranche en faveur du mode théorique.

iii) Une autre réponse au conflit est de refuser à l'expérimentation la légitimité de toujours identifier des formes et implicitement des objets dans les phénomènes. Dans ce cas précis, il est affirmé que l'induction portant sur l'existence d'entités à partir d'images expérimentales (c'est-à-dire l'utilisation d'une approche homomorphique) est problématique. On accorde alors que l'expérimentateur peut identifier des particuliers, mais on reste sceptique quand il propose que ces particuliers correspondent à des particules, car cette induction dépend de la validité d'une approche reposant sur l'homomorphisme des résultats d'expérience avec les phénomènes. Si l'on renonce à l'homomorphisme, la chaîne des déductions doit être faite autrement. À partir de l'expérience et du concept de particule, nous construisons des événements-particules à la lumière desquels nous interprétons les résultats expérimentaux. Néanmoins, si on suit cette solution, le renoncement à notre conception naïve de l'expérimentation, ici représentée par la démarche homomorphique, est une conséquence de l'adoption de la physique quantique.

Nous ne prétendons ici nullement indiquer quelle est la bonne position sur cette question difficile

– cela reviendrait à prendre position sur le contenu actuel de l’image scientifique du monde. Tout au plus peut-on remarquer que la façon usuelle de sortir du conflit dans ce cas est d’accorder d’une façon ou d’une autre une suprématie à l’approche théorique. En dépit de cela, l’analyse que nous venons de mener montre que le conflit ici identifié n’est nullement artificiel ni facile à résoudre, ce qui atteste du fait que les deux modes utilisés ont chacun une légitimité réelle et sont indépendants.

La biologie contemporaine offre également un exemple de conflit entre mode théorique et mode expérimental. Ce conflit concerne la question de savoir ce qui compte comme un individu biologique. Plus précisément, le problème est de déterminer si nous devons ou non intégrer les organismes dans notre image scientifique du monde³⁹. D’un côté, une certaine interprétation de la théorie de l’évolution par sélection naturelle (mais pas nécessairement, nous y reviendrons, la TESN elle-même) privilégie l’exclusion de l’organisme de l’image scientifique du monde, car notre définition commune de l’organisme ne serait pas scientifiquement fondée. Nous analysons ci-dessous cette interprétation, dite « interprétation génique de l’évolution », dont le représentant le plus influent est Richard Dawkins. D’un autre côté, la biologie expérimentale plaide pour l’inclusion de l’organisme. Dans cette section, nous expliquons les termes du conflit et montrons qu’il illustre parfaitement à la fois l’existence de différents modes d’objectivation et les possibles tensions entre eux.

La meilleure manière de présenter les arguments en faveur de l’exclusion de l’organisme de l’image scientifique du monde est de décrire l’interprétation que le philosophe David Hull fait des thèses du biologiste Richard Dawkins. Hull pose un problème de nature métaphysique, qu’il applique au monde du vivant : qu’est-ce qui compte comme *un* individu dans le monde du vivant ? Hull examine la réponse immédiate, celle du sens commun, selon laquelle l’individu biologique paradigmatique est l’organisme. Hull montre que l’on ne saurait se satisfaire de cette réponse issue du sens commun⁴⁰. Par exemple, dans un organisme colonial, comme les formes coloniales d’urochordés, faut-il compter comme un individu chaque petit « sac » ou bien la colonie tout entière ? Si l’on s’intéresse aux invertébrés et aux plantes, la manière que nous avons d’individualiser les organismes s’avère imprécise, et trop fortement dépendante de notre appareil perceptif et de notre taille. C’est seulement dans le cas des vertébrés supérieurs qu’identifier un organisme ne pose pas de difficulté. Or, ceux-ci nous sont certes très familiers, mais ils ne constituent qu’une fraction infime des êtres vivants.

³⁹ Voir T. Pradeu « Qu’est-ce qu’un individu biologique? », in P. Ludwig et T. Pradeu (dir.) *L’Individu. Perspectives contemporaines*, Paris, Vrin, 2008.

⁴⁰ D. Hull, « Individual », in E. F. Keller et E. Lloyd (eds.), *Keywords in Evolutionary Biology*, Harvard University Press, 1992.

Hull en déduit que le véritable individu biologique n'est pas ce qui apparaît comme tel au sens commun, mais ce que les scientifiques ont de bonnes raisons de considérer comme un individu. Hull radicalise donc ce que nous avons dit ici en affirmant que, pour décrire l'image scientifique du monde, nous devons nécessairement partir des entités auxquelles recourt le scientifique – quitte à nous demander ensuite si nous avons ou non de bonnes raisons de considérer qu'elles sont suffisamment solides pour être réellement intégrées dans l'image. L'étape suivante du raisonnement de Hull est d'affirmer qu'en science, ce sont nos théories qui nous disent ce qui compte comme un individu (et donc, ici, comme un objet). Or, selon Hull, une seule théorie biologique est suffisamment générale et structurée pour permettre l'individuation des êtres vivants, à savoir la TESN. Un individu biologique serait donc un « individu évolutionnaire », c'est-à-dire un être vivant tel qu'il est individué par la théorie de la sélection naturelle, c'est-à-dire encore ce que l'on appelle une « unité de sélection ».

La position de Hull ne consiste pas à dire qu'il existe deux types d'individus biologiques, l'individu évolutionnaire et l'individu de sens commun, mais bien à affirmer que le seul individu scientifiquement légitime est l'individu théorique, c'est-à-dire l'individu évolutionnaire. L'individu de sens commun ne reflète que la façon dont nous êtres humains, organismes de taille approchant les deux mètres, ayant cinq sens, etc. appréhendons le monde. L'individu évolutionnaire est le seul qui soit scientifiquement fondé, car théoriquement fondé. Selon Hull, l'une des tâches de la science est précisément d'aller au-delà du sens commun et de réviser notre ontologie commune.

Si l'on accepte le raisonnement de Hull, l'individu biologique qui doit être intégré à notre image scientifique du monde est l'individu évolutionnaire, c'est-à-dire ce qui compte comme une unité de sélection. Mais peut-on dire plus précisément quelles entités constituent une unité de sélection ? Plusieurs réponses à cette question ont été avancées⁴¹. La plus radicale est celle de Dawkins : selon lui, les véritables unités de sélection sont non pas les organismes, mais les gènes. Dawkins entend renverser la conception commune de l'évolution, selon laquelle la sélection naturelle se produit au bénéfice des organismes, au profit de la « conception génique de l'évolution », qui affirme que la sélection naturelle se fait au bénéfice des gènes⁴². L'argumentation de Dawkins peut se résumer comme suit :

1. Les phénomènes biologiquement les plus importants relèvent de la complexité adaptative, c'est-à-dire de questions de type « pourquoi ? ».

⁴¹ La question des unités de sélection est probablement la plus discutée de toute la philosophie de la biologie. Voir R. Brandon and R. Burian (eds.), *Genes, Organisms and Populations. Controversies over the units of selection*, MIT Press, 1984.

⁴² R. Dawkins, *Extended Phenotype*, Oxford University Press, 1982, p. 91.

2. Seule la biologie de l'évolution permet de répondre à ces questions de type « pourquoi ? ». L'évolution par sélection naturelle nous dit que les traits des êtres vivants présents sont le résultat d'une accumulation progressive de petits changements adaptatifs.

3. Or, à l'échelle du temps long de l'évolution, la durée de vie d'un organisme est brève, il n'a pas une stabilité suffisante pour être une unité de sélection, il est « comme un nuage dans le ciel ou une tempête de poussière dans le désert ».⁴³

4. Les gènes, eux, se maintiennent à travers le temps au sens où ils transmettent des copies d'eux-mêmes à leur descendance. Les gènes qui existent aujourd'hui existaient, aux mutations près, il y a des dizaines de milliers d'années. C'est donc à leur niveau que sont réalisés les petits changements cumulés qui permettent l'évolution par sélection naturelle.

Si l'on replace ce raisonnement dans l'analyse métaphysique proposée par Hull, on doit dire que l'organisme ne fait pas partie de l'image scientifique du monde, car il ne constitue pas un objet théoriquement fondé : si l'on en croit l'interprétation de la TESN proposée par Dawkins, quelles que soient les apparences, le monde du vivant n'est pas fait d'organismes, il est en réalité fait de gènes en compétition les uns avec les autres. Il s'agit pour Dawkins de « libérer le gène égoïste de l'organisme individuel qui a été sa prison conceptuelle »⁴⁴.

Nous voyons donc dans ce débat tous les éléments d'une application du mode théorique, qui conduit à l'exclusion d'un objet (en l'occurrence, l'organisme), de l'image scientifique du monde. Rappelons que ce n'est pas la TESN comme telle qui implique le rejet de l'organisme de l'image scientifique du monde, mais simplement une *interprétation* de cette théorie : comme nous l'avons déjà mentionné plus haut, les théories ne produisent pas immédiatement des images scientifiques partielles consensuelles.

L'utilisation du mode expérimental, au contraire de l'application que fait Dawkins du mode théorique, amène à pencher pour l'inclusion de l'organisme dans l'image scientifique du monde. Les biologistes expérimentaux refusent l'idée selon laquelle les phénomènes biologiques véritablement importants ne se passeraient qu'à l'échelle de l'évolution, et considèrent à l'opposé que le temps bref de la biologie fonctionnelle nous permet de rendre compte de caractéristiques importantes du vivant. Cela n'implique certainement pas que la biologie expérimentale puisse être coupée de la biologie de l'évolution, mais cela nous conduit à souligner que, comme l'avait vu Mayr⁴⁵, il y a deux questions principales que le biologiste peut poser :

i) La question « *pourquoi ?* », par exemple : pourquoi les poissons de telle espèce ont-ils des

⁴³ R. Dawkins (1976) *op. cit.*, p. 34.

⁴⁴ R. Dawkins (1982), *op. cit.*

⁴⁵ E. Mayr, « Cause and effect in biology » *Science* 134(3489), 1961, 1501-1506.

yeux ? La réponse tient à l'histoire évolutive de cette espèce : le fait de posséder des yeux a été favorisé par la sélection naturelle, car il représentait un avantage adaptatif. Cette question est posée par la biologie de l'évolution.

ii) La question « *comment ?* », par exemple : comment tel poisson voit-il ? La réponse tient à l'élucidation des mécanismes qui rendent compte du fonctionnement de l'œil, c'est-à-dire qui permettent de répondre à la question « comment ça marche ? ». Cette question est posée par la biologie dite *fonctionnelle*, qui inclut la physiologie, l'anatomie, une partie importante de la biologie cellulaire et moléculaire, etc.

Aux yeux du biologiste expérimental, la question « comment ? » n'est pas moins légitime que la question « pourquoi ? », chacune constituant un versant de ce qu'est une explication en biologie. Comprendre le vivant, c'est être capable à la fois d'expliciter la manière dont il fonctionne présentement et la manière dont la sélection naturelle a favorisé, et favorise, la possession de certains traits. La biologie fonctionnelle est de part en part expérimentale. Commençons par expliquer pourquoi la biologie fonctionnelle expérimentale affirme que l'organisme doit être intégré dans l'image scientifique du monde, puis nous montrerons pourquoi l'approche expérimentale en biologie de l'évolution va dans le même sens.

Dans le cadre de la biologie fonctionnelle, plusieurs arguments convergent pour considérer que l'organisme est un objet de l'image scientifique du monde. Tout d'abord, la biologie fonctionnelle cherche à identifier des objets stables, « robustes » au sens de Wimsatt⁴⁶ : un objet est « robuste » lorsqu'on peut le connaître de plusieurs manières indépendantes⁴⁷. Comme Wimsatt l'a montré, ce qui est le plus robuste, dans la biologie expérimentale sont les *mécanismes*, c'est-à-dire des interactions entre des constituants produisant régulièrement les mêmes résultats. Or, certains mécanismes ne se comprennent qu'au niveau de l'organisme dans son ensemble. C'est le cas dans de nombreuses branches de la biologie : physiologie, éthologie, écologie, biologie du développement, etc. Dans l'un des meilleurs exemples de réflexion d'un biologiste physiologiste, Kurt Goldstein⁴⁸ a ainsi montré que l'on ne pouvait comprendre un phénomène en apparence local comme le réflexe qu'au niveau de l'organisme pris comme un tout⁴⁹. Le système nerveux doit lui-

⁴⁶ W. Wimsatt, « Complexity and Organization » *PSA, Proceedings of the Philosophy of Science Association*, 1972, p. 67-86.

⁴⁷ Ce concept de robustesse en biologie inclut le concept de manipulabilité expérimentale avancé par Hacking (*op. cit.*, 1983) mais ne s'y réduit pas. Voir sur ce point W. Wimsatt, « The ontology of complex systems : levels, perspectives, and causal thickets » dans *Biology and Society : Reflections on Methodology*, édité par M. Matthen and R. Ware, supplementary of the *Canadian Journal of Philosophy* 20, 1994, p. 207-274.

⁴⁸ K. Goldstein, *La Structure de l'organisme*, Paris, Gallimard, 1951 (1934 pour l'édition originale).

⁴⁹ Goldstein montre ainsi qu'il est faux de croire qu'en isolant un sous-système de l'organisme, comme le genou par exemple, le médecin obtiendrait toujours le même résultat physiologique en exerçant toujours le même mouvement

même être étudié comme un tout (un « réseau »), qui interagit avec d'autres systèmes, le système endocrinien en particulier. De même, Robert Richardson⁵⁰ a montré comment, en biologie du développement, la véritable unité d'analyse était l'organisme pris comme un tout, car les sous-systèmes étudiés par le biologiste ne prennent sens qu'au niveau du contexte d'ensemble de l'organisme. L'unité robuste d'analyse est donc, pour tout physiologiste, l'organisme dans son ensemble, car c'est à ce niveau de description, et à ce niveau seul, que les phénomènes physiologiques peuvent être expliqués.

D'autres mécanismes concernent plus directement des sous-systèmes locaux, souvent au niveau cellulaire et, plus encore, moléculaire (typiquement au niveau des protéines). On les trouve en génétique, en biologie moléculaire du développement, en neurologie, etc. Même un mécanisme moléculaire en apparence très circonscrit comme la neurotransmission ne peut se comprendre de manière satisfaisante qu'à la fois localement et en rendant compte des interactions entre différents neurones, donc au niveau du système nerveux global, voire en prenant en compte les interactions entre système nerveux et systèmes endocrinien, immunitaire, etc. En d'autres termes, pratiquement tous les mécanismes s'inscrivent dans une hiérarchie de niveaux fonctionnels, ce qui veut dire que l'objet d'investigation, en biologie fonctionnelle, est toujours l'organisme, car la compréhension complète de mécanismes moléculaires locaux se fait toujours dans le contexte global des interactions inter-systémiques. Comme l'écrit Ernst Mayr, « Un organisme n'est pas simplement un sac plein d'enzymes, [...] tout dans un organisme est partie d'un système et je partage l'avis de ces biochimistes qui pensent qu'une large part de la structure d'une enzyme a de l'importance pour l'interaction de la protéine avec d'autres protéines. »⁵¹

Qu'en est-il, à présent, de la biologie *évolutionniste* expérimentale ? Il est très significatif que les opposants les plus radicaux à la vision de Dawkins au sein de la biologie de l'évolution ont été des naturalistes de terrain, c'est-à-dire des biologistes travaillant sur les interactions précises des êtres vivants avec leur environnement. Nous pensons en particulier à Ernst Mayr⁵². Mayr montre que seul le phénotype est « visible » pour la sélection naturelle, et non les gènes, car ce qui interagit avec l'environnement, ce qui peut véritablement subir la pression sélective est l'organisme lui-même. Il en déduit que « l'évolution n'est pas un changement des fréquences des gènes, comme on le prétend si souvent, mais un changement des phénotypes [...] Les changements des fréquences des gènes

de marteau. Au contraire, le résultat final dépend d'un très grand nombre de conditions, et ne peut donc en réalité se comprendre qu'au niveau de l'organisme dans son ensemble.

⁵⁰ R. Richardson, « The Organism in Development » *Philosophy of Science* (Supplement), 67, 2000, S312-S321.

⁵¹ « From Molecules to Organic Diversity » dans E. Mayr, *Evolution and the Diversity of Life*, Harvard University Press, 1976 (notre traduction).

⁵² E. Mayr, *Animal Species and Evolution*, Harvard University Press, 1963.

sont le résultat d'une telle évolution, non sa cause ». Ailleurs, il est encore plus explicite : « de Darwin à aujourd'hui, la plupart des évolutionnistes ont considéré l'organisme individuel comme l'objet principal de la sélection »⁵³. Ainsi, quoi qu'en dise l'interprétation génique de la TESN, les biologistes expérimentaux affirment que l'organisme est un objet indispensable de l'image scientifique du monde. Ils retrouvent donc à leur manière le mot de Jean Rostand, cité par François Jacob : « Les théories passent. La grenouille reste »⁵⁴ (*Carnets d'un biologiste*). Nous pouvons donc conclure pour notre propos que l'application du mode expérimental (à la fois dans la biologie fonctionnelle et dans la biologie de l'évolution) entre clairement en conflit avec une application du mode théorique, c'est-à-dire une interprétation (très répandue) de la TESN.

5. Conclusion

Lorsqu'on réfléchit à la question de l'image du monde, on pense souvent que l'aspect qui mérite le plus d'être analysé est le conflit possible entre l'image manifeste, que le sens commun nous amène à former, et l'image scientifique, la constitution de cette dernière n'étant pas considérée comme problématique. Nous avons montré dans cet article que la question de la constitution de l'image scientifique est en fait un processus complexe nécessitant une analyse philosophique attentive et détaillée. Nous avons proposé pour cela le concept de *mode d'objectivation*, afin de mieux analyser la façon dont cette image scientifique est constituée et nous avons montré qu'il y a au moins deux modes d'objectivation indépendants, à savoir le mode théorique et le mode expérimental. Nous avons aussi illustré ces modes en physique et en biologie. Nous avons de plus vu que dans les deux cas, le processus d'objectivation était délicat et que ni les théories ni les expériences ne permettaient d'identifier aisément ce que sont les objets scientifiques. Nous avons enfin montré que les différents modes peuvent entrer en conflit, ce qui ajoute une complexité supplémentaire, jusqu'ici peu soulignée. De plus, les façons de produire des objets sont diverses, ce qui nous amène à qualifier l'objectivité de plurielle et donc de kaléidoscopique.

Les analyses que nous avons proposées mériteraient d'être poussées plus avant sur de nombreux points. Une première question consiste à se demander s'il existe d'autres modes d'objectivation – par exemple reposant sur les simulations. Il serait également intéressant de voir si des distinctions plus fines pourraient être faites dans chacun des modes. Nous avons par exemple repéré le structuralisme et la réification comme des façons de réaliser le mode théorique, mais il en existe peut-être d'autres. De même, une recension des différents critères ou arguments qui permettent de

⁵³ E. Mayr, *Après Darwin. La biologie, une science pas comme les autres*, Paris, Dunod, 2006. (2004 pour l'édition originale).

⁵⁴ F. Jacob, *Le Jeu des possibles*, Paris, Fayard, 1981.

produire une objectivation à partir du mode expérimental permettrait d'affiner nos analyses. Dans tous les cas, on peut déjà voir à travers les exemples que nous avons présentés que les types d'arguments utilisés dans chacun des modes (et donc la constitution et la justification des objets) sont significativement différents.

Insistons pour finir sur le fait que, même si nous défendons l'idée d'une objectivité plurielle, notre position n'a nullement pour conséquence un morcellement de l'image scientifique du monde en des domaines différents, obéissant chacun à un régime d'objectivité potentielle distinct. Nous insistons au contraire sur le fait que les modes peuvent entrer en conflit au sein de chacune des différentes disciplines scientifiques. Notre position ne va donc pas dans le sens d'un renforcement du régionalisme qui domine actuellement la philosophie des sciences. Nous avons au contraire essayé de montrer que les modes d'objectivation forment un cadre commun pour l'étude de la biologie et de la physique qui permet de poser des questions transversales à partir desquelles on peut comparer ces différents domaines de notre science.